



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

BACTERIAS ASOCIADAS A CORROSION DE METALES

296370

TRABAJO MONOGRAFICO DE ACTUALIZACION QUE PARA OBTENER EL TITULO DE: QUIMICA FARMACEUTICA BIOLOGA PRESENTA: OLIVOS CRUZ MA EUGENIA



MEXICO, D. F.

EXAMENES PROPRIOS DE LA FACULTAD DE QUIMICA

AÑO 2000



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme paciencia y fortaleza cada día en esta difícil carrera. Te doy gracias Señor porque fuiste mi luz que ilumino mi camino, aún cuando pensaba no terminar esta carrera. Tu me ayudaste a llegar a la cumbre depositando mi confianza solo en Ti Señor, Gracias Dios mio.

**A mis Padres Florentino Olivos Mancera finado
 Regina Cruz Alvarez**

Gracias por su apoyo moral y material, porque a pesar de no tener grandes conocimientos nos inculcaron el temor y amor a Dios , con su trabajo arduo y constante lucharon por mi y mis hermanos. Gracias por dar la vida por nosotros Padres.

A mis Hermanos: Esteban Olivos Cruz finado

**Cristina, Rigoberto, Marcelino, Evaristo, Mario Olivos Cruz
Gracias por su apoyo moral**

A mi Hermano: Evaristo Gracias por su apoyo en la computación

A mi Cuñada: Lucia Mendoza López Gracias por su apoyo moral

A mi Tia: Victoria Cruz Alvarez Gracias por su apoyo moral

A mi Cuñada : Sonia Jimenez y su bebe Ezequiel

A mis Sobrinos : Marlen y David Olivos Mendoza

**A la Parroquia de la Asunción de María por haber aprendido una educación en la Fe solida y fuerte, que me ha ayudado a no darme por vencida en la lucha por la vida
Gracias a mis Maestros : Humberto Jimenez , Alfredo Rosas y otros.**

A mi Amigo : Alfredo Ramirez Cruz Gracias por su apoyo moral

**A mi Amigo: Roberto Flores Gracias por su apoyo en material bibliografico
para la realización de este trabajo**

A mis Amigos del Servicio Social CIRAM, Laura Rodriguez, Angelica Delgado ,Martha Ruiz, Fernando Flores, Sarai Mancera, Gerardo Hernandez y mi Maestra Leticia Rodriguez Gracias por compartir amistad y conocimientos.

Bacterias asociadas a corrosión de metales**INDICE**

Objetivos

Introducción

Capítulo 1

¿Que es la corrosión

Corrosión química y electroquímica

Corrosión microbiana

Capítulo 2

Relación de los microorganismos con la corrosión de metales

Microorganismos involucrados en la corrosión

Bacterias sulfatorreductoras

Bacterias sulfuro oxidantes

Bacterias que utilizan hierro

Hongos asociados a la corrosión microbiana

Algas

Los diferentes mecanismos de acción utilizados por los microorganismos para el ataque de los metales.

Capítulo 3

Ambientes y condiciones que favorecen los procesos de corrosión microbiana

Capítulo 4

Efecto específico de los microorganismos en los diferentes metales

Capítulo 5

Protección de los metales para evitar la corrosión microbiana

Importancia actual económica y ambiental de la corrosión de los metales

Capítulo 6

Conclusiones

Sugerencias

Bibliografía

OBJETIVOS:

- Investigación bibliográfica de microorganismos asociados en la corrosión de metales**
- Revisión bibliográfica de diferentes microorganismos(bacterias,hongos y algas) que se asocian a los procesos de corrosión de metales.**
- La corrosión de metales es un proceso complejo que requiere de una atención profesional interdisciplinaria para disminuir lo más posible su efecto.**

INTRODUCCIÓN

La corrosión de metales, se caracteriza por un ataque uniforme sobre la superficie del metal en tanque , tubería o conducto. Puede ocurrir en todo el depósito o conducto o bien en una sección determinada tal como el fondo de un tanque.

En la corrosión de metales es muy importante tomar en cuenta que participan las bacterias, hongos y algas, las bacterias que más participan en esta corrosión son las bacterias sulfatorreductoras, siguiendo las sulfuro oxidantes, las reductoras de hierro y las algas y hongos por su producción de ácidos orgánicos participan en esta corrosión de metales. En la corrosión de metales es muy importante tomar en cuenta ;el ambiente donde se encuentra inmerso el metal ;que puede ser húmedo o seco, de las propiedades fisicoquímicas del metal va a depender su resistencia o fácil corrosión ,de las propiedades fisicoquímicas del metal es muy importante tomar en cuenta su pH, pureza, temperatura, actividad del metal, aleaciones y la presión de disolución, todas estas entidades son importantes en la resistencia o corrosión de metales.

Las bacterias sulfatorreductoras son productoras de H_2S ya que son anaerobias quimiolitotróficas, dependiendo del ambiente donde se encuentren, si hay diferencias de oxigenación este ácido sulfhídrico es oxigenado y se convierte en ácido sulfúrico que es corrosivo para varios tipos de metal y aleaciones, las bacterias sulfuro oxidantes por ser aerobias producen fácilmente el ácido sulfúrico que es corrosivo para varios tipos de metales y aleaciones, las bacterias reductoras de hierro tienen la propiedad de oxidar iones ferrosos a iones férricos por lo cual producen depósitos de hidróxido férrico en forma de tubérculos que perforan los conductos de agua potable, los hongos y algas por su fácil producción de ácidos orgánicos son corrosivos especialmente para el aluminio y aceros inoxidable.

En una serie de industrias , aparte de las pérdidas de los óxidos de los metales formados como resultado de la corrosión, impurifican los productos. La prevención de este fenómeno ocasiona gastos adicionales. Esto se manifiesta en la industria alimenticia, en la elaboración de reactivos químicamente puros, muchos metales y aleaciones tienen amplia aplicación en la industria química, farmacéutica y de productos alimenticios. La destrucción de metales y aleaciones por corrosión depende fundamentalmente, de la naturaleza del metal, de la composición química de la aleación, de la existencia de sustancias agresivas como ácidos inorgánicos y orgánicos en el medio ambiente y de su temperatura.

CAPITULO # 1

¿Que es la corrosión?

La corrosión de metales, en particular la del fierro, es más familiar y lo entendemos, como el proceso de herrumbre, termino que es sinónimo de corrosión, producto del fierro y sus aleaciones, refiriendose a óxidos de hidruros férricos.

La corrosión de metales no ferrosos es acompañado por la formación de sus óxidos respectivos, los cuales varían de azul verdoso a rojo en el caso de cobre, a blanco en el caso de zinc, **La corrosión ha sido definida por Uhlig (1963), como el ataque destructivo de un metal por una reacción química o electroquímica con su medio ambiente**

La causa de corrosión es la inestabilidad natural de metales en sus formas refinadas. Los metales tienden por consiguiente, a revertir a su estado natural a través del proceso de corrosión por el cambio de energía libre.

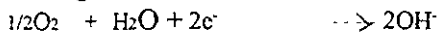
CORROSIÓN QUÍMICA

ASPECTOS ELECTROQUÍMICOS

La corrosión es un proceso electroquímico, esta definición fue alcanzada por Whitney (1903). El proceso básico, un flujo de electricidad entre ciertas áreas de superficie de un metal a través de una solución, la cuál tiene la capacidad de conducir una corriente eléctrica

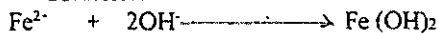
En general cuando un metal es inmerso en agua, se disuelve en ciertos sitios (sitios anódicos), migrando un exceso de electrones. $M \longrightarrow M^{2+} + 2e^{-}$

- El traslado de electrones, por está reacción anódica causa que la reacción al ser trasladada a la derecha, se incrementa la disolución del metal o la corrosión. En soluciones neutras o alcalinas simultáneamente ocurren dos reacciones principales (reacciones catódicas) en los cuáles los electrones son trasladados, involucrando el oxígeno.



y protones bajo condiciones ácidas.

$2H^{+} + 2e^{-} \longrightarrow H_2$ En las áreas del metal donde ocurren estas reacciones, de utilización de electrones son llamados sitios catódicos, por los productos de procesos del cátodo y ánodo que reaccionan, obteniendo productos de corrosión como en el caso del fierro.



En la presencia de oxígeno, el hidróxido ferroso es convertido en hidróxido férrico.

su aparición. Por consiguiente el oxígeno desempeña una doble misión de oxidante y de despolarizante, siendo capital el fenómeno de despolarización, porque regula el suministro de la pila y por consiguiente la velocidad de corrosión.

CAPITULO #2

PAPEL DE LOS MICROORGANISMOS EN LA CORROSIÓN DE LOS METALES

El rol de los microorganismos, en la corrosión aeróbica, fue postulado por Olsen y Szybalski, 1949, en parte debido, a la formación de tubérculos en conjunción con el crecimiento microbiano y la iniciación de concentración de oxígeno en las celdas, este mecanismo junto con otros, fue propuesto como la causa del problema, que se presenta en el mundo del aluminio y se asocia con los microorganismos. La corrosión de tanques de combustible de aviones, tanto en máquinas de vuelo comerciales como militares, fueron afectadas. Y muchos microorganismos fueron reportados, por estar presentes en cifras significativas, en el sedimento de los tanques de combustible, pareciendo indicar que los ácidos orgánicos producidos por hongos, fueron causantes de esta corrosión(Churchil, 1963y Miller, 1981.)

En los 1970s, un número, de fallas de equipo ocurridos por corrosión inducida, en las industrias de procesos químicos debidas a actividad de los microorganismos(Popey et al 1984), ocasionaron una serie de problemas resaltando los provocados por bacterias sulfatorreductoras.

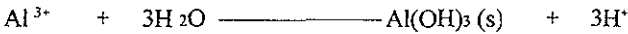
En adición a estos problemas de corrosión, otras dos cuestiones han surgido, debido al crecimiento bacteriano, presentandose en las estructuras e instalaciones, situados en mar adentro, por la producción de ácido sulfhídrico, convirtiendo en serio problema de seguridad personal, y también la producción de metabolitos bacterianos, que favorecen un deterioro acelerado del concreto(Wilkinson, 1983).La corrosión biológica acelerada, interna y externa de oleoducto subterráneo de gran capacidad, también parece ser un mayor problema.

Varios investigadores han demostrado, que las bacterias pueden causar la corrosión de los metales entre ellos. Gillaume1977, Von Wolzogen 1961, Miller 1970, Westlake 1978.

Han sido observados serios problemas de corrosión en sistemas de oleoducto de petróleo crudo en Pembina del Norte Central de Alberta Canada, y se ha demostrado que contribuyen en la corrosión de dicho gasoducto, los microorganismos

Durante el proceso de extracción, Obuekwe 1981-1983, y Westake, 1986. demostraron que la corrosión de acero inoxidable suave se debe al agua presente en el petróleo crudo, ya que en este contenido acuoso, está presente una alta concentración de minerales, lo que proporciona por su origen, el ambiente funcional donde pueden ocurrir las reacciones electroquímicas involucradas en la corrosión. En esta investigación se reporta el efecto de energía disponible en la corrosión microbiana en acero inoxidable suave, empleado en los gasoductos, como parte de investigaciones.Las muestras de agua en las que se realizó el estudio,fueron proporcionadas por la Mobil Oil, por separación de petróleo crudo de la planta, Drayton Valley Alberta, las muestras fueron colectadas en botellas de poli propileno de 2 litros, transportadas al laboratorio en 3h. y almacenadas a 4 grados centígrados de temperatura hasta su utilización, testigos de acero inoxidable suave con medidas de 50x12x1mm,fueron esterilizados previamente para las pruebas.

algunos metales hidrolizados y precipitados, como hidroxidos insolubles u óxidos, tal es el caso siguiente:



El U.S. Bureau de Minas investigaron el uso de reactores para el tratamiento de agua, conteniendo carbón y columnas con material orgánico, en los cuáles el sulfato es reducido y quedando retenido. Estos reactores empacados, bajan las concentraciones del fierro, manganeso y níquel. Estos resultados favorecen de 60 a 99% del drenaje de minas y la construcción de reactores de escala piloto con un diseño similar al utilizando su potencial, en el tratamiento de agua contaminada con metales y el diseño de estos reactores en escala piloto, sulfato reductores requieren:

- 1) La exclusión de oxígeno
- 2) Una fuente de sulfato (comúnmente presente en agua contaminada)
- 3) Una fuente de compuestos orgánicos simples, que sirvan como fuente de carbono bacteriano.
- 4) La presencia de bacterias sulfato reductoras, en una u otra fuente de carbono orgánico introducida.

5) Un soporte físico que retenga los precipitados de los sulfuros de metales

Los pHs menores de (5 a 6), inhiben la actividad sulfato reductora y aumentan la solubilidad de sulfuros del metal, por consiguiente fue necesario diseñar los reactores y operar con alcalinidad suficiente.

Por otra parte, la lixiviación bacteriana, es ampliamente investigada también, ya que es una área del conocimiento interdisciplinario, con importancia significativa para la industria minera.

El aspecto más dificultoso de lixiviación bacteriana, es el proceso interfacial de degradación de sulfato, en estado sólido y es consecuencia de cambios físicos, electroquímicos, semiconductores, bioquímicos, y los mecanismos específicos de superficie, están interactuando, además, de aspectos relacionados en la biología bacteriana, la cuál es complicada y no comprendida.

El control del crecimiento bacteriano de organismos sulfato oxidantes *Thiobacillus ferrooxidans* usando métodos convencionales, requiere ciertos conocimientos y destrezas, el cuál no puede ser proporcionado comúnmente en los laboratorios de las minas.

Un método estándar para cuantificación de concentración bacteriana y actividad, consiste básicamente en coleccionar agua de mina, contando bacterias por métodos directos, o propagando los líquidos estandarizados en medios de cultivo, en su forma sólida en una base de agarosa. En el conteo directo de bacterias en aguas de mina, frecuentemente encontramos problemas técnicos debido a la baja concentración de organismos no atacados, En la otra información el cultivo de *Thiobacillus ferrooxidans* en fierro Fe^{2+} , usualmente no da información relevante, en el límite de la razón real de las etapas de lixiviación, el cuál involucra sulfuros de metales comúnmente minados. *Thiobacillus*

Maldonado y Boden (1981) determinaron que el azufre elemental forma ácido sulfhídrico y ácido sulfúrico en agua demineralizada. Los mercaptanos producidos por una variedad de organismos resultan también corrosivos a ciertos metales. Tiller y Booth (1968) sugieren que el sulfuro de hierro puede ser involucrado en la corrosión de aluminio.

CICLO MICROBIANO DEL AZUFRE

La conversión bacteriana de compuestos del azufre presentes en agua y suelo deben considerarse, como uno de los procesos importantes, que ocurren en la naturaleza. Estos procesos deben empezar, con transformación de compuestos inorgánicos como: sulfatos, piritas, limonitas, o azufre, aunados a la descomposición de materia orgánica sedimentada, en los cuáles los compuestos que contienen azufre, por ejemplo: cisteína, metionina, y glutatión son degradados a compuestos de bajo peso molecular. Estos compuestos serán uno u otro absorbidos por los microorganismos, estos producirán compuestos de azufre inorgánico que pueden ser absorbidos por los microorganismos, y sintetizar sustancias orgánicas, que subsecuentemente los microorganismos transforman y desintegran, los compuestos de azufre serán convertidos en formas inorgánicas. en el curso de esta transformación el sulfuro de hidrogeno H_2S ácido sulfhídrico es formado.

Considerando el ciclo biológico del azufre, este debe ser asumido de acuerdo a la presente investigación, comenzando con el ácido sulfhídrico, como la fuente de azufre, para que varias bacterias que utilizan como fuente energética el azufre pertenecen a *Beggiatoales* (bacterias del azufre incoloras) y *Thiorhodaceae* (bacterias de azufre rojas), En estas bacterias el azufre es depositado, en el interior de la células, este azufre será dejado fuera de consideración, ya que el depósito de azufre, entrara nuevamente al ciclo del azufre, solamente después de la muerte de las bacterias, *Desulfovibrio desulfuricans*, pertenecientes al orden de *Pseudomonales*, familia *Spirillaceae*, debe ser mencionada, como una bacteria, la cuál es capaz de reducir anaerobicamente el sulfato a sulfuro de hidrogeno H_2S , esto puede ocurrir en el suelo, aguas residuales, y agua, con liberación de grandes cantidades de sulfuro de hidrogeno, lo que propiciaría el crecimiento de bacterias, que utilizan esta sustancia como fuente de energía.

Los microorganismos, que son importantes en el ciclo del azufre, son especies del genero *Thiobacillus*, familia Thiobacteriaceae, orden *Pseudomonales*. Dos especies de este genero: *Thiobacillus concretivorus*, y *Thiobacillus neapolitanus*, son capaces de utilizar el sulfuro de hidrogeno H_2S , tanto como el tiosulfato y azufre elemental, como fuentes de energía, estos compuestos son convertidos en: sulfatos y ácido sulfúrico.

Thiobacillus thioparus y *Thiobacillus thiooxydans*, no pueden utilizar sulfuro de hidrogeno, pero si tiosulfato o azufre, el azufre es oxidado a sulfato por *Thiobacillus thioarrus*, pero solamente cuando el tiosulfato es usado, el azufre es excretado al medio *Thiobacillus thiooxydans*, ambos casos producen ácido sulfúrico.

de la ductibilidad) e hidrogeno agrietante (agrietación espontanea) en este enlace, Walch y Mitchel(1986), han indicado que pequeñas cantidades de hidrogeno pueden ser absorbidas por el mismo metal, debajo de la película formada de producción de hidrogeno por bacterias tales como *Ruminococcus albus* .

CAPITULO # 3

AMBIENTES Y CONDICIONES QUE FAVORECEN LOS PROCESOS DE CORROSIÓN MICROBIANA.

COMPUESTOS DE FÓSFORO VOLÁTILES

En el experimento desarrollado se empezó a detectar la importancia de los compuestos volátiles de fósforo, como un importante coadyuvante en la corrosión del sulfato no fue, encontrado a remplazar el benyl viologen, como un aceptor de electrones en la depolarización catódica de hierro Iverson (1968) Un depósito negro de un compuesto de hierro, fue encontrado bajo el electrodo en contacto con células de *Desulfovibrio* (normalmente en el cátodo cuando el benyl viologen, fue usado como aceptor de electrones) Además las investigaciones revelan que el producto de la corrosión negra esta en el hierro amorfo conteniendo fósforo, después de un vacío en un horno de calefacción Iverson (1968).

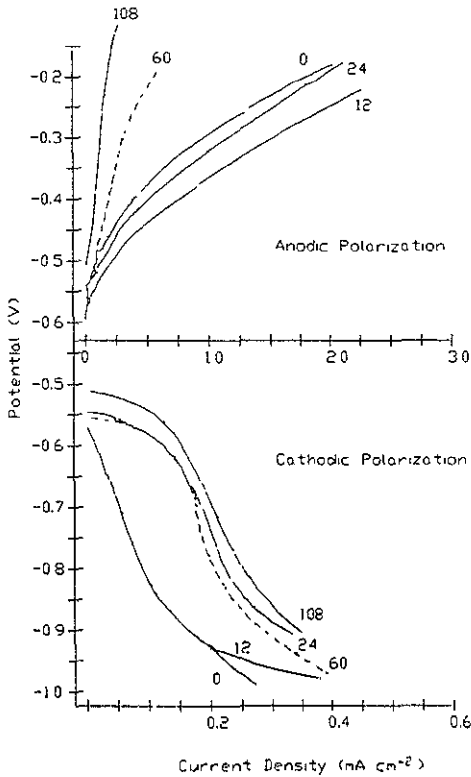
King *et al.*, (1973b) establecieron que la proporción de corrosión anaerobia esta relacionada con concentración del ion ferroso en el medio a grandes concentraciones de hierro en la proporción corrosión es mayor la corrosión extensiva de acero (1250 mg dm día) fue obtenido bajo condiciones anaerobias a partir de un filtrado de cultivo marino de *Desulfovibrio*, del cual todos los iones de sulfuro libres y las células bacterianas fueron removidas por filtración Seitz Iverson, 1974 -1981. Estos resultados indican que ningún sulfuro de hierro, iones sulfuro, ni células bacterianas fueron necesarias para la corrosión. El principal producto de corrosión encontrado, no fue parecido al fósforo de hierro amorfo, los resultados indican que el agente corrosivo fue un compuesto de fósforo volátil (Iverson y Olson 1983). producido por las bacterias sulfatorreductoras. Una acción similar corrosiva de compuestos de fósforo volátiles fueron también producidos por la acción del ácido sulfhídrico, en ciertos cristales de fosfato disódico e hipofosfito sodico Iverson et al (1985).

Iverson et al (1986) propusieron la estimulación de la corrosión por iones ferrosos; lo que también es notado por (King et al 1973b) fue debido a la prevención, por la formación de películas de sulfuro de hierro y por la precipitación de iones sulfuro, por los volúmenes de sulfuro de hierro en solución, por lo cuál permiten la corrosión por compuestos de fósforo, este llega en contacto con la superficie de hierro desnudo y la iniciación de corrosión. La iniciación de corrosión después del derrumbe de la película fue reportado por King et al (1973b).

Booth et al (1965), e Iverson y Olson (1983) La observación por Herbert y Stott (1983) con relación a altas corrosiones anaerobias en proporción a altas presiones (400 bar), donde la actividad hidrogenosa fue ausente y las concentraciones de sulfuro fueron bajas. pudo deberse a este compuesto de fósforo.

En el estudio realizado por Springer Verlag (1989). Se muestra la conexión del desarrollo de la bacteria *Desulfovibrio sp.* con la oxidación de hidrogeno catódico de acero inoxidable suave, fierro elemental y polvos de zinc, también se analizaron otros metales como; aluminio, estaño, vanadio, y titanio los cuáles no sirven como fuentes de hidrogeno

Las curvas de polarización de testigos de acero inoxidable en cultivos de *Pseudomonas sp* #200, en medio B10 carece de Fe^{2+} pero contiene tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3$). Los números 0, 12, 24, 60 y 108, denotan tiempos de incubación en horas a 25°C. Las curvas con líneas punteadas muestran la polarización de acero inoxidable, en la que se marca por periodos.



Una observación similar fue hecha por Booth y Tiller (1960), trabajando con cultivos de bacterias

sulfatorreductoras, estos investigadores observaron una estimulación inicial de la reacción anódica, seguida por la inhibición

sin importar si el organismo era hidrogenasa positiva o negativa.

Bajo condiciones de producción simultánea de azufre S^0 y hierro Fe^{2+} por la bacteria, las características de polarización mostraron que la reacción en el ánodo fue inicialmente ahogada por arriba de 60h, pero más tarde fue seguida por un incremento de disolución anódica (depolarización anódica). Esta observación fue el reverso de lo observado cuando el azufre S^0 es solamente producido en el medio. Una alta concentración de Fe^{3+} en forma de Fe_3PO_4 , inhibe la corrosión del acero inoxidable suave, y no fue hasta que el Fe^{2+} y el S^0 fue producido, cuando la corrosión se reanuda.



Fig. 2(b)

Aquí, se puede ver una redimalla extensiva de fibras extracelulares, que son probablemente glicocalix. La formación de glicocalix, ha sido reportado críticamente, para células a sujetarse a superficies expuestas y sobrevivir a fuerzas cortas de turbulencia hidrodinámica en el conducto. (Ridgeway y Olson, 1981)

El glicocalix ha sido reportado, también como una forma de protección de las células, por la acción de los desinfectantes

(Costerton y Geesey, 1979)

La tabla #1, resume la composición microbiana, del lugar llamado Cuchillo amarillo, en agua tratada y no tratada, también como en los depósitos de corrosión, se determinaron cuentas de bacterias psicófilas, de acuerdo con los microorganismos que crecen a temperaturas psicófilas,.

Debido a las experiencias de extremas temperaturas, en el Cuchillo amarillo (Facey y Smith, 1990) encontraron una alta proporción de microorganismos, psicotolerantes y psicófilos, por consiguiente, las cuentas psicófilas fueron más bajas, que las cuentas mesófilas a 20°C. Esto debe ser en parte; una función de la capacidad de la población microbiana, para crecer en condiciones de laboratorio así: como un largo tiempo de incubación de 10 días, un largo tiempo de incubación debe mostrar un incremento, en la total, cuenta obtenida. Se obtuvieron poblaciones altas de microorganismos, en donde fueron encontrados tubérculos. En los conductos de corrosión estos incluyen coliformes en su totalidad, los cuáles fueron tan altos en los depósitos de corrosión, como suministro de

Algunos géneros, tales como: *Aspergillus* y *Fusarium*, han sido encontrados como patógenos oportunistas para ciertos grupos de riesgo, especialmente en personas inmunocomprometidas e inmunodeficientes (Finegold y Baron, 1986), por consiguiente, estudios epidemiológicos; en la probabilidad y distribución de incidencia de infección.

Los sistemas podrían ser necesarios para determinar la significancia de éstos hongos, en un sistema de distribución. Especies de *Aspergillus*, han sido asociadas con corrosión de metales, debido a su capacidad de producir ácidos orgánicos corrosivos. Ford y Mitchel, (1990). La microflora de agua de beber, ha sido pobremente caracterizada. Hinzelin, (1985), a pesar, de la asociación de hongos y actinomicetos, con problemas de olor y sabor. Nagy y Olson, (1982).

CAPITULO #4

EFEECTO ESPECIFICO DE LOS MICROORGANISMOS EN LOS DIFERENTES METALES

MECANISMOS DE COMBINACIÓN

Bajo, condiciones naturales, un número de mecanismos de corrosión, probablemente opera simultáneamente o en sucesión. En el caso de biopelículas, las celdas de concentración de oxígeno, pueden operar a la larga, con gradientes de protones :como un resultado de las actividades metabólicas de los microorganismos En las biopelículas, el oxígeno llega a ser agotado, las bacterias sulfatorreductoras, pueden a llegar a establecerse, en adición a la acentuación del efecto de celdas de concentración de oxígeno, puede además estimular la corrosión, por la elaboración de compuestos corrosivos de fósforo.

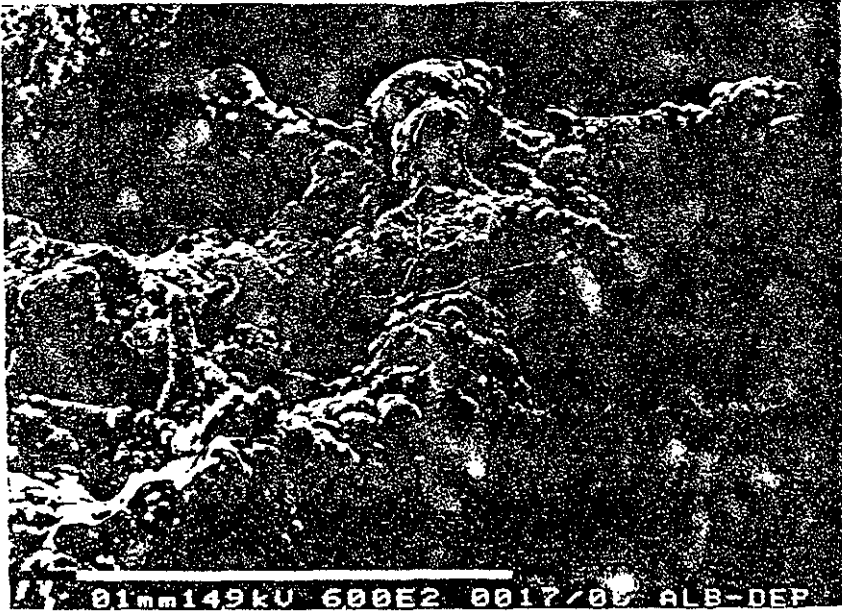
En ambientes ,donde hay considerable actividad sulfatorreductora, los sulfuros pueden ser oxidados a corrosión, el azufre elemental, si llega a ser oxigenado en estós ambientes. Otros ejemplos de mecanismos múltiples propuestos incluyen el estudio de laboratorio realizado por (Little et al,1986) en la corrosión de níquel 201 por colonización con *Bacterium thermophilicum*.Ellos sugieren, que la corrosión fue debido a 3 actividades simultáneas; la creación de aireación diferencial de celdas, la producción de metabolitos ácidos(ácidos; isobutírico e isovalérico), la formación de quelatos de metales pesados, los cuáles resultan de corrientes galvanicas.Como un resultado de estudios de laboratorio, Videla 1986, propone 3 mecanismos, para la corrosión de aluminio por *Cladosporium resinae*; 1)un incremento local, en la concentración de protones de producción de ácidos orgánicos,2) la producción metabólica de substancias, que decrecen la estabilidad de películas pasivas sobre la superficie del metal y 3) una disminución, en la concentración de inhibidores de corrosión en el medio por utilización microbiana.

MECANISMOS DE RESISTENCIA BACTERIANA A METALES PESADOS

Los elementos de la Tabla Periódica que interaccionan con las bacterias pueden dividirse en 3 grupos. El primer grupo comprende a los iones esenciales para el crecimiento celular(macronutrientes y micronutrientes; magnesio, potasio,sulfato,cobre,níquel,zinc).El segundo grupo incluye a los iones que, siendo abundantes en la naturaleza, no son indispensables para el desarrollo bacteriano aunque algunos de ellos, son utilizados en funciones accesorias o regulatorias (por ejemplo calcio y sodio). Finalmente, un tercer grupo de iones, abarca a aquéllos que, sin poseer una función biológica conocida, ejercen un efecto tóxico y en el que se incluyen, varios de los llamados metales pesados. Debe hacerse notar que algunos de los micronutrientes esenciales (por ejemplo cobre, zinc, cobalto), son sumamente tóxicos cuando sobrepasan las concentraciones relativamente bajas, requeridas por las células.

La mayoría de las especies bacterianas, estudiadas a la fecha, contienen elementos genéticos extracromosómicos o plásmidos que se pueden considerar, como un complemento del patrimonio genético que las bacterias poseen en el cromosoma. Las

Un sumario de modelos ambientales de *Thiobacillus ferroxidans* sobre pirita, visible a través de la observación de la transmisión de luz por hoyos de corrosión, es esquemáticamente mostrado en la fig. 10



El área de pirita ha sido completamente eliminada. En este caso las bacterias son vistas a atacar. Unas células bacterianas empiezan a ser visibles fuera del halo, el cual es gradualmente formado por la formación de un hoyo de tamaño desarrollado fig.10 toda la corrosión de pirita, empieza en la misma secuencia. En muchos instantes esto ha sido observado, en una célula bacteriana rodeada con halo muy pequeño, es aparecido directamente adyacente a otra célula bacteriana, célula con un halo claramente pronunciado. Esto significa que esta bacteria divide in situ y en aquellas otras bacterias empiezan a separarse nuevos hoyos fig.10. Otras interesantes clases de modelos, son aquellas en las cuales, dos o más bacterias son incluidas en el mismo hoyo fig 10 mostrando un agrupamiento de bacterias en la cual una parte es rodeada por un halo de luz, indicando un hoyo de corrosión. Otras muestran solamente el comienzo de actividad asociado con un pequeño halo, fig. 10, finalmente muestran un ataque de área grande, en el borde del cráter. Esto indica que la bacteria está moviéndose en dirección de la energía disponible suministrada, esto es de acuerdo con la preferencia de las bacterias, por defecto de sitios y regiones de imperfecciones estructurales. Esto ha sido afectado a aquellas picaduras de pirita, como resultado de oxidación bacteriana. El hierro férrico, producido por oxidación bacteriana en soluciones de lixiviación podría interactuar oxidativamente con la superficie de pirita expuesta, esto no podría formar hoyos de bacterias.

CAPITULO 5 PROTECCIÓN DE LOS METALES PARA EVITAR LA CORROSIÓN MICROBIANA.

PREVENCIÓN Y CONTROL

Selección y control del Ambiente

Siempre que sea posible, se tratará de valorar la corrosividad del ambiente, en el que se encuentra el material metálico.

La selección de ambientes menos corrosivos o quizá la identificación de las condiciones que favorecen dicha corrosión ayudará a aligerar la corrosión posterior. En contacto con el suelo, se deberá estimar del suelo como podría facilitar o coincidir. En el caso del suelo, en donde están ubicados los conductos, varios autores han considerado como indicativos de corrosión numerosos factores, entre ellos Starkey y Wright, 1945, incluyen el potencial redox, (Starkey y Wright, 1945), la resistividad del suelo, (Romanoff, 1957), pH y contenido de agua (Booth et al 1967b).

Stratful en 1961, ha indicado que un contenido de agua que puede optimar, para una resistividad que puede ser correlacionado con la corrosión agresiva. En el Reino Unido, un esquema de ensayo del suelo, ha sido reportado por Booth et al (1967, b) como indicador de la agresividad de suelos a metales ferrosos e involucran la determinación de 3 criterios: (1) resistividad del suelo (2) potencial redox y (3) contenido de agua. En los Estados Unidos, un esquema propuesto por la Asociación de investigación de conductos de fierro fundido (Smith, 1968) ha involucrado 5 criterios: a) resistividad del suelo, b) pH, c) potencial redox, d) contenido de sulfuro y e) contenido de humedad. De acuerdo a un estudio en el Reino Unido, la resistividad del suelo fue la más favorecida como únicas pruebas utilizadas. (Le Roux y Wakerly, 1978).

En un programa para incrementar la actividad productora de petróleo, en el mar del Norte, en la prueba se propone incluir un esquema de los lechos de las tuberías de corrosividad de estructuras que han sido desarrolladas King (1980) este esquema incluye 5 criterios: 1) tipo de sedimento, 2) contenido orgánico, 3) profundidad de agua, 4) contenido de nitrógeno y fósforo y 5) temperatura.

Algunas ideas de la supercorrosividad de agua, puede ser averiguado considerando: I) número de bacterias, II) tipos y números de bacterias, III) potencial redox, IV) temperatura, V) salinidad, VI) concentración de material orgánico y VII) concentración de iones sulfuro y amonio además de otros iones disueltos, probablemente el método más confiable para testificar agresividad del agua y suelos, es utilizar especímenes de prueba, si hay disponibilidad de tiempo o métodos de corrosión electroquímica, proporciona una valoración rápida y segura.

En la mayoría de los casos, la modificación del ambiente es difícil o muy costosa. En el caso de una sección corta de tubería la protección en contra de bacterias sulfatorreductoras puede ser realizada para evitar las condiciones anaerobias ya sea por drenaje o rodeado de grava, (Butlin et al. 1952,) o por uso de rellenos de tiza o cal, los cuáles proveen un ambiente alcalino suficiente para inhibir el crecimiento de bacterias sulfatorreductoras (Hadley, 1948). La utilización de biocidas en el relleno ha sido sugerido.

acero y modo de fallas en exposición química, h) descomposición térmica en burbujas en metales y ataque químico.

Los revestimientos típicamente, tienen un grosor en la película óptima, donde el cubrimiento minimiza estos defectos (picaduras pequeñas, espuma, atrapamiento de solventes, distribución de pigmentos desiguales y propiedades fisicoquímicas son maximizadas, flexibilidad, fuerza y enlaces cruzados). La óptima dificultad no puede ser predicha, pero debe ser determinada experimentalmente.

Aunque muchas pruebas manufacturadas hechas, establecen tales datos, esto es frecuentemente el caso de querer apropiarse de la tercera parte de pruebas independientes, para evaluar comparativamente los efectos de estrés físico y químico, para candidatos de sistemas de revestimiento. Criterios y métodos de pruebas para coberturas o revestiduras orgánicas precalificativas incluyen las siguientes:

- 1) Delaminamiento catódico (ASTM G8, G95 O CAN/CSA Z245-20-M92)
- 2) Espectroscopia por Impedancia Electroquímica (EIS). Pruebas en autoclave (NACE TM 01-85-881)

Pruebas de Impacto Modificado (ASTM G 14-88)

Nota preventiva de ésta prueba: no será necesariamente una revestidura traspasada o superada, en pruebas de laboratorio, también porque una revestidura justa, operara bien en cualquier prueba particular, esto será realizado satisfactoriamente, bajo condiciones de la vida real. La ventaja de los resultados de pruebas es aquel, que toma juntamente indicación de realización de campos, pero los datos no pueden ser sobre entendidos. En adición a pruebas de campo de cables de paño con revestimiento deben ser fuertemente considerados. Compatiblemente paños revestidos, pueden ser inmersos en los químicos por varios meses, retirando y evaluando en el laboratorio.

Las manufacturas han acumulado considerables pruebas, resultados para una variedad de revestiduras de epoxidos incluyendo remedio rápido éstos son del tipo MMB Y AHC.

Algunas de las pruebas más comúnmente usadas, para revestiduras epoxidadas son mostradas en la siguiente tabla:

TABLA #1

Comparación de revestiduras rápidas utilizando époixidos AHC Y MMB

	A.H.C. Cicloalifatico híbrido avanzado	M.M.B. Base Mannich modificada.	Poliamidas epoxidadas convencionales.
Volumen de sólidos	100%	80%	60 a 80%
Remedio mínimo de temperatura	32°F (0°C)	0°F (-18°C)	45°F (7°C)
Vida de la marmita en 77°F (25°C)	30 a 45 minutos	3 a 4 horas	4 a 8 horas.

CAPITULO #6

Conclusiones

En las diferentes instalaciones industriales, oleo ductos, gaseoductos, tanques de almacenamiento de agua etc, o sistemas de enfriamiento se encuentran presentes una flora microbiana mixta proveniente del agua, suelo, aire. Las condiciones heterogéneas que predominen en ellas también determinarán la sobrevivencia y predominio de las diferentes especies microbianas. Así condiciones aerobias o anaerobias, las temperaturas menores a 20°C, o superiores a 40°C, pH ácidos neutros o alcalinos, influirán en el desarrollo de bacterias facultativas o anaerobias estrictas, o de hongos filamentosos aerobios, o bien pueden inhibir ciertos géneros y especies. A pesar del uso de biocidas los problemas de corrosión microbiana son constantes ya que los microorganismos pueden desarrollar sistemas que les ayudan a mantener el crecimiento de ellos. Tal es el caso de ciertas bacterias que al formar glicocálix se protegen de la acción de los desinfectantes asegurando la sobrevivencia bacteriana. Por otra parte la interacción entre bacterias, bacterias-hongos y hongos algas pueden modificar las condiciones en tal forma que obtengan una actividad corrosiva sinérgica.

De tal manera que no se puede asegurar que la corrosión de metales y otros materiales como el concreto se produjo exclusivamente de la actividad bacteriana ya que los hongos y las algas coadyuvan en forma importante en tal actividad destructiva de esos materiales.

Las bacterias que principalmente actúan en los procesos de corrosión de metales solos o en aleaciones son las bacterias sulfatorreductoras, éstas en la corrosión de estructuras metálicas de oleoductos y otros productos útiles en la industria química, eléctrica etc.

Las bacterias sulfatorreductoras, se relacionan más en la corrosión de aluminio, acero inoxidable, latón y otros metales que forman parte de aleaciones en los procesos industriales. En segundo término se encuentran las bacterias sulfuro oxidantes y las reductoras de fierro, y en menor proporción los hongos y las algas.

Los problemas de corrosión más observados, se deben a aquellas bacterias sulfatorreductoras y son atribuidas a la formación de sulfuros; las bacterias que utilizan fierro o reductoras de fierro, son capaces de reducir Fe^{3+} a Fe^{2+} estas han sido asociadas con la corrosión de metales en oleoductos; las bacterias sulfuro oxidantes se han encontrado en muestras de agua y tubérculos de corrosión, también en este tipo de corrosión se encontraron levaduras y hongos; los hongos y levaduras que son capaces de producir ácidos orgánicos estos corroen a muchos metales.

Por ello la vigilancia debe ser constante y bajo la supervisión de un profesional con conocimientos microbiológicos.

Sugerencias

Se siguen haciendo estudios de laboratorio y campo, para evitar la corrosión microbiana entre estos figuran selección y control del ambiente, revestimientos protectores que proveen una barrera entre el metal y el ambiente corrosivo, protección catódica, aplicación de una corriente eléctrica, inhibidores, el uso de compuestos compatibles simultáneamente es exitoso usando inhibidores orgánicos como el poliacrilato fosfonato dispersante y otros tipos de inhibidores que se utilizan son los époxiidos como A.H.C.cicloalifatico híbrido avanzado, M.M.B. base mannich modificada, poliamidas époxiidas convencionales, además el uso de la metalización y no metalización, se sigue investigando la inhibición de corrosión por compuestos químicos; tanto orgánicos como inorgánicos, pero aún falta mucho por investigar en este campo, ya que la corrosión es un problema serio que trae como consecuencias perdidas económicas y daños en el personal de mantenimiento.

La selección del método más adecuado al problema que se presente, debe hacerse después de un cuidadoso análisis, que considere todos los factores que coadyuven en la corrosión. En muchos casos será necesario la aplicación de más de una técnica o método inhibitorio.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

BIBLIOGRAFIA

- 1.- OBUEKWE C O; WESTLAKE D W S; PLAMBECK J A
BACTERIAL CORROSION OF MILD STEEL UNDER THE CONDITION OF
SIMULTANEOUS FORMATION OF FERROUS AND SULFIDE IONS .
DEP. OF MICROBIOLOGY, UNIV. OF BENIN CITY, NIGERIA.
APPL MICROBIOL BIOTECHNOL 26(3). 1987 294-298. CODEN: AMBID
Full Journal Title: Applied Microbiology and Biotechnology
- 2.- OBUEKWE C O; WESTLAKE W S; PLAMBECK J A
EVIDENCE THAT AVAILABLE ENERGY; PLAMBECK J A
BACTERIAL CORROSION OF MILD STEEL BY A PSEUDOMONAS- SP
DEP. MICROBIOLOGY, UNIV. BENIN CITY, NIGERIA CAN J MICROBIOL 33(3).
1987.272-275 CODEN:CJMIA
Full Journal Title: Canadian Journal of Microbiology
- 3.-FJERDINGSTAD E
BACTERIAL CORROSION OF CONCRETE IN WATER THIOBACILLUS
THIOBACILLUS- THIOOXYDANS
WATER RES 3(1), 21-30. 1969. CODEN: WATRA
Full Journal Title: Applied Microbiology and Biotechnology
- 4.-RAJAGOPAL B S; LEGALL J
UTILIZACION OF CATHODIC HYDROGEN BY HYDROGEN OXIDIZING
BACTERIA DEP. MICROBIOLOGY AND DENTISTRY 18-246, MOOS TOWER,
UNIV. MINNESOTA, MINNEAPOLIS, MINN. 55455.
APPL MICROBIOL BIOTECHNOL 31(4). 1989. 406-412. CODEN: AMBID
Full Journal Title: Applied Microbiology and Biotechnology
- 5.-EMDE K M E; SMITH W; FACEY R
INITIAL INVESTIGATION OF MICROBIALLY INFLUENCED CORROSION MIC IN A
LOW TEMPERATURE WATER DISTRIBUTION SYSTEM.
DEP. CIVIL ENG., 220 CIVIL/ ELECTRICAL BUILDING. UNIV. ALBERTA,
EDMONTON, ALBERTA T6G 2G7, CAN.
WATER RES 26 (2). 1992. 169-175. CODEN: WATRA
Full Journal Title: Water Research
- 6.- Darryl H. Dvorak. Robert S. Hedin, Harry M. Edenborn, and Pamela E. McIntire
TREATMENT OF METAL CONTAMINATED WATER USING BACTERIAL SULFATE
REDUCTION: RESULTS FROM PILOT- SCALE REACTORS.
U.S. Bureau of Mines, Pittsburgh Research Center, Pittsburgh, Pennsylvania 15236
Received July 17, 1991/ Accepted April 4, 1992
Biotechnology and Bioengineering, vol. 40 Pp 609-616(1992)