

Corrosión de acero dulce por destilados de ácidos grasos de palma

Corrosion of Mild Steel by Palm Fatty Acid Distillates (PFAD)

Chiew Let Chong¹

Resumen

Se ha investigado la corrosión de piezas de acero dulce por destilados de ácidos grasos de palma a 65°C y a temperatura ambiente. Se utilizó el método de pérdida de peso para estimar la tasa de corrosión y el tipo de corrosión fue determinado por microscopia de reflexión. La penetración de destilados de ácidos grasos (DAGP) en el acero dulce a una profundidad de un milímetro se estimó entre 8 y 10 años a una temperatura de 65°C. El proceso de corrosión de acero dulce por DAGP aparece como una formación de cavidades seguido por la expansión y profundización de éstas hasta llegar a la eventual unión de las cavidades para exponer una capa nueva de superficie. El análisis de contenido de hierro muestra que los DAGP constituyen un material relativamente corrosivo del acero dulce y la tasa de absorción de hierro de DAGP es rápida a 65°C. Esta rápida absorción de hierro lleva a un deterioro de la calidad de DAGP en términos de sus parámetros oxidativos. Esto se debe al conocido efecto catalítico del hierro. Se recomienda evitar en lo posible el contacto entre acero dulce y DAGP a altas temperaturas para preservar la calidad de los destilados de ácidos grasos de palma, DAGP.

Summary

The corrosion of immersed mild steel test pieces by palm fatty acid distillates (PFAD) at 65°C and at ambient have been investigated. The weight loss method was used to estimate the corrosion rate and the type of corrosion process ascertained by reflection microscopy. The penetration of mild steel by palm fatty acid distillates to a depth of one millimeter was estimated to be between eight to ten years at a temperature of 65°C. The process of mild steel corrosion by PFAD is through a series of pittings followed by widening and deepening of the pits leading to eventual coalescence of the pits to expose a new surface. The estimation of the life time of a mild steel sheet of 1mm thickness will be estimated. Iron content analysis shows that PFAD is a reasonably corrosive material to mild steel and the rate of iron pick up by PFAD quite rapid at 65°C. This rapid iron pick up resulted in a deterioration in the quality of the PFAD in terms of its oxidative parameters. Data on this will be presented. This is due to the known catalytic effect of iron. It is recommended that the avoidance of contact between mild steel and PFAD at high temperature should be observed where possible in order to preserve the PFAD quality as much as possible.

Palabras Clave

Aceite de palma,
Ácidos grasos,
Calidad del aceite.

1. Malaysia Palm Oil Board, P.O.Box 10620, 50720, Kuala Lumpur, Malaysia.

E-mail: chong@mpob.gov.my

Nota: Traducido por Fedepalma.

Introducción

El término corrosión fue definido por Webster (1966) como “la acción de cambios químicos corrosivos...un desgaste gradual o alteración causada por un químico o proceso oxidativo esencialmente electroquímico como sucede en la corrosión atmosférica del hierro”. Otros han definido corrosión más específicamente como la transformación o deterioro corrosivo progresivo definido como “las interacciones de un metal o aleación (sólido o líquido) con su ambiente, sin tener en cuenta si es premeditado y benéfico o accidental y nocivo”, (Heor, 1961; Vernon, 1957; Potter, 1956), o la interacción de un metal con su ambiente que afecta adversamente las propiedades del metal que deben ser preservadas (Uhlig, 1984 y 1971; Fontana y Greene, 1967) respectivamente.

La transformación por corrosión incluye procesos como la disolución anódica deliberada de zinc en protección catódica y la electroplastia, así como también el desgaste gradual espontáneo de tejas de zinc debido a oxidación atmosférica, mientras que el deterioro por corrosión implica que la corrosión es siempre nociva, como por ejemplo la corrosión de cinturones de acero por acción del agua de mar y exposición atmosférica; los efectos de empañamiento de materiales de plástico transparente debido a la oxidación, etcétera.

El ambiente en el que ocurre la corrosión puede ser de naturaleza líquida, gaseosa o sólida. La corrosión de un metal por su ambiente puede ocurrir en varias formas: corrosión uniforme, corrosión localizada, y corrosión selectiva. El tipo de químicos presentes en el ambiente, su

Tabla I Tipos de corrosión

Tipo	Características	Ejemplos
Uniforme (o casi uniforme)	Todas las áreas del metal se corroen al mismo tiempo a la misma velocidad (o similar)	Oxidación y pérdida de brillo, disolución activa en ácido, oxidación anódica y pasiva, brillo electroquímico y químico, corrosión atmosférica y por inmersión en ciertos casos
Localizada	Ciertas áreas de la superficie del metal se corroen más rápido que otras debido a heterogeneidades	Corrosión por grietas, corrosión filiforme, galvánica, corrosión bimetalica, intergranular, deterioro de soldadura, ambiente, en general por la geometría de la estructura. El ataque puede ir de ligeramente localizado a formación de cavidades
Formación de cavidades	Ataque altamente localizado en áreas específicas resultando en pequeñas cavidades que penetran el metal y pueden llegar a perforarlo	Formación de cavidades en metales pasivos como el acero inoxidable, aleaciones de aluminio, etc., en presencia de iones específicos: Ej. iones de Cl
Disolución selectiva	Un componente de una aleación (usualmente el más activo) es removido selectivamente de una aleación	Remoción de zinc, remoción de aluminio, remoción de grafito
Acción conjunta de corrosión y un factor mecánico	Ataque localizado o fractura debido a una acción conjunta de un factor mecánico y corrosión	Corrosión-erosión, desgaste, choque, cavitación, agrietamiento, fatiga, agrietamiento por hidrógeno

concentración, velocidad, pH y temperatura determinarán el tipo y velocidad del proceso de corrosión. La tasa de corrosión se puede obtener con la fórmula:

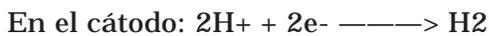
$$CR = \frac{K \times W}{A \times T \times \rho}$$

Donde:

- K es una constante
- T es tiempo en días u horas
- A es el área total expuesta al ambiente
- ρ es la densidad del metal en prueba
- W es el peso perdido

La tasa de corrosión se puede expresar en varias formas dependiendo de las unidades usadas para determinar los términos en la ecuación 1. La Tabla 1 muestra los valores de la constante K usados para las diferentes unidades con T medido en horas, A en centímetros cuadrados, W en gramos y ρ en gramos por centímetro cúbico.

La corrosión de acero dulce por DAGP (destilados de ácidos grasos de palma) es de naturaleza anódica ya que el estado de oxidación del hierro sólido (Fe) aumenta de estado cero a estados iónicos por la remoción de electrones:



Conformando así la celda funcional

Hierro / Ácido / Hidrógeno

De los tipos de corrosión enumerados en la Tabla 1, se espera que la corrosión de piezas de acero dulce por DAGP sea del tipo uniforme, por formación de cavidades o localizada. La corrosión uniforme ocurre sobre la superficie del material y puede continuar a una tasa relativamente constante, especialmente donde los productos de la reacción son solubles. En general, para superficies metálicas, homogéneas en composición química o microestructuras, el ataque uniforme es el más común, siempre y cuando el acceso del ambiente corrosivo a la superficie del metal no sea obstruido. La velocidad del ataque uniforme se puede evaluar por pérdida de peso o medidas en cambio de espesor. Sin embargo, la velocidad del ataque puede variar con el tiempo, por tanto, las medidas se deben hacer a intervalos; por ejemplo, en la corrosión del acero

debida a elementos naturales, las velocidades de ataque pueden ser altas inicialmente, pero disminuyen continuamente a medida que aumenta el tiempo de exposición.

La corrosión por formación de cavidades usualmente es el resultado de corrosión autocatalítica localizada, siendo el ataque altamente localizado en áreas específicas que se convierten en cavidades. Estas cavidades tienen bordes bien definidos en la superficie, pero su crecimiento puede cambiar de dirección a medida que la penetración progresa. Si se forman productos sólidos de corrosión, la cavidad se puede oscurecer, pero la ocurrencia todavía puede ser observada por la acumulación de los productos de la corrosión. Las condiciones dentro de la cavidad tienden a acelerar el proceso de corrosión. La formación de cavidades por corrosión puede ser iniciada por heterogeneidades metalúrgicas en el metal.

Por lo general, las cavidades formadas por corrosión se distribuyen al azar y son de diferentes tamaños y profundidades. La evaluación del daño es difícil y las medidas de pérdida de peso no dan una indicación real del daño. Las medidas de profundidad promedio de cavidad pueden ser engañosas, ya que es la cavidad más profunda la que causa la falla del metal.

La corrosión localizada se debe a que ciertas áreas de la superficie del metal tienen más altas tasas de corrosión que otras. Esto se puede deber a varios factores como por ejemplo 'heterogeneidades' en el metal, el ambiente o en general, la geometría de la estructura. Ejemplos de corrosión localizada son: corrosión por grietas, galvánica, bimetálica, intergranular y corrosión-erosión, entre otras. La corrosión por grietas ocurre cuando grietas u otras áreas parcialmente protegidas se exponen a ambientes corrosivos, resultando en gradientes de concentración en los ambientes. Esto conduce a un rápido ataque anódico dentro de la grieta, ocurriendo una reacción catódica en la boca de la grieta que no es atacada.

La corrosión intergranular ocurre principalmente en aleaciones debido a sus estructuras granulares. Este tipo de corrosión puede conducir a un alto grado de ataque corrosivo localizado en los bordes de los granos (anódico), comparado con el interior de los granos (catódico), que lleva

a una degradación sustancial de las propiedades mecánicas y otras.

Además de los efectos ambientales del corrosivo, la superficie relativa del metal en la que ocurren las reacciones anódicas y catódicas también es importante para determinar la tasa de corrosión como se muestra en la ecuación 1. Debido a los diferentes tipos de procesos de corrosión que pueden ocurrir, la tasa de corrosión se puede expresar en varias formas.

El destilado de ácidos grasos de palma (DAGP) es un subproducto que resulta durante la etapa de desodorización en la refinación física del aceite de palma. En general, DAGP contiene entre 80% y más de 90% de ácidos grasos libres junto con algunos materiales insaponificables, triglicéridos neutrales, glicéridos parciales y otras sustancias de alto peso molecular. Las características de los DAGP de Malasia fueron estudiadas por Hamirin Kifli (1983). Los puntos de fusión de DAGP son generalmente más altos que los de los aceites vegetales y requiere temperaturas entre 60 y 70°C para mantenerlos en estado líquido. Actualmente, no existen recubrimientos para tanques de alimentos efectivos que puedan soportar las altas temperaturas requeridas para licuar DAGP (por largos periodos de tiempo) y ahora, los DAGP generalmente se almacenan en tanques de acero inoxidable y a veces en tanques de acero dulce con o sin revestimiento. El efecto de combinar alta temperatura y acero dulce en la calidad de DAGP es la base de este trabajo, junto con el aspecto de corrosión de acero dulce por DAGP. La tasa de corrosión de acero dulce por DAGP ha sido reportada en otras partes (Chong, 1986).

En la industria palmera de Malasia, el cambio de refinación alcalina a física produjo un aumento en la producción de destilados de ácidos grasos de palma (DAGP). Por tanto, existe la necesidad de conocer la tasa de corrosión del acero dulce por destilados de ácidos grasos de palma para poder estimar la vida útil del equipo usado en el manejo y utilización de DAGP y el deterioro de su calidad en presencia de acero dulce.

Procedimiento experimental

Las piezas de acero usadas para la prueba son piezas de acero dulce rectangulares (3 cm x 1

cm x 0,1 cm) adquiridas de un fabricante local de tambores. Estas muestras cumplen con el estándar japonés (código JIS G3141 para acero dulce laminado en frío). Las piezas de prueba se limpiaron de acuerdo a los requerimientos de ASTM para acero dulce así: Después de limpiar con acetona para remover cualquier material orgánico de la superficie, las piezas se lavaron en una solución Clark (100 partes de ácido clorhídrico, dos partes de óxido antimoniado, cinco partes de cloruro estañoso) durante 25 minutos revolviendo vigorosamente, seguido por la remoción de costras en ácido fosfórico al 15% en volumen, enjuagado, secado con acetona y pesado al 0,0001 g más cercano.

Se midió la altura, ancho y espesor de cada muestra con un medidor micrométrico de tornillo. Un mínimo de tres medidas se tomaron para cada parámetro para cada muestra y se usó el promedio para los cálculos subsiguientes. Las características de los DAGP usados en el experimento se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2 Características de los destilados de ácidos grasos de palma usados en el experimento de corrosión

Contenido de ácidos grasos libres	81%
Índice de yodo (Wijs)	55,2
Análisis volumétrico	44,9%
Contenido de humedad	0,64%
Color	10 plus (unidades gardner)
Contenido de cobre	0,002 ppm
Contenido de hierro	6,7 ppm

El experimento consta de dos series de muestras, unas almacenadas en condiciones ambientales, y otras almacenadas a 65°C, en un horno extractor. Cada serie consta de 11 vasos de laboratorio de un litro con las piezas de prueba suspendidas en el DAGP, de tal forma que la relación entre el volumen de solución de prueba y la superficie de acero dulce es aproximadamente 250 ml/6,25 cm². La Figura 1 muestra el arreglo experimental de un vaso. Dos de las piezas de prueba están completamente sumergidas en DAGP mientras que una tercera pieza está semiinmersa a la mitad de la longitud de la pieza. Una cuarta pieza suspendida en el aire sirve de testigo.

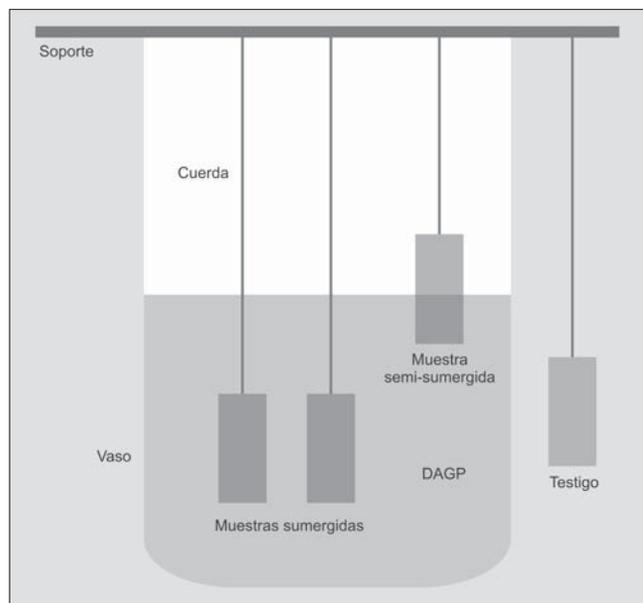


Figura 1 Esquema del experimento

Cada mes se retira un vaso de cada serie y se analiza la pérdida de peso de cada pieza después de lavar y secar para remover los productos de oxidación. Las piezas de prueba también se analizan visualmente bajo un microscopio de luz reflectiva a una magnificación de 10X. Luego se analiza la humedad, índice de yodo, trazas de metal, índice de peróxido, contenido de ácidos grasos libres y color de DAGP en el vaso (Gardner). Todos los métodos químicos húmedos se llevan a cabo de acuerdo a los métodos oficiales de AOCS mientras que las trazas de metal se miden por espectroscopia de absorción atómica.

Observaciones, resultados y cálculos

Observaciones

A) Aspectos de corrosión

Temperatura ambiente

Testigo: Las muestras testigo mostraron oxidación general (corrosión oxígeno humedad) en ambos lados a partir del segundo mes, con los bordes y áreas alrededor de los bordes más oxidadas que el centro de la superficie. El examen microscópico muestra que la oxidación forma costras, no cavidades, y es uniforme sobre las superficies (corrosión uniforme). Las costras se remueven para mostrar una nueva superficie.

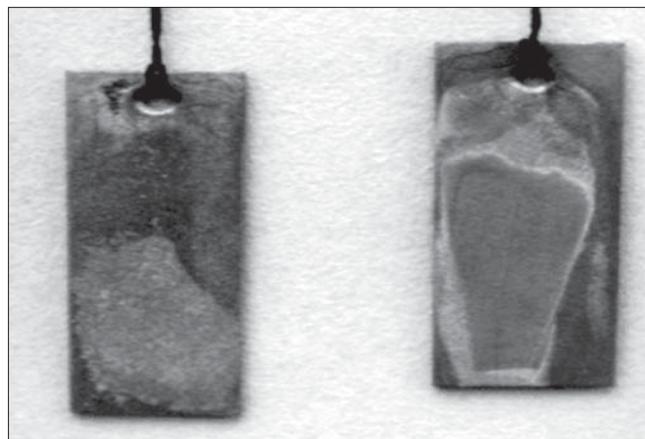


Figura 2 Piezas de prueba de acero dulce mostrando capas de corrosión por DAGP

Cerca de los bordes se observa formación de cavidades.

La mitad no sumergida de la pieza de prueba se comporta lo mismo que la pieza testigo. La mitad sumergida generalmente muestra un ataque químico uniforme, dando a la superficie del metal una apariencia moteada grisácea (Figura 2), comparada con la apariencia brillante de la superficie nueva como se muestra en la Figura 3. Se observa una ligera formación de cavidades cerca a los bordes.

Sumergido: Las muestras sumergidas presentan una apariencia similar a la de la pieza de prueba semiinmersa. La apariencia grisácea moteada de las superficies indica que la corrosión química es uniforme. En general, se observa que para estas muestras las pérdidas de peso son casi cero debido a la naturaleza sólida de DAGP a temperatura ambiente.

Serie a 65°C en horno extractor

Testigo: En general, por observación visual y datos de pérdida de peso, las superficies de estas muestras exhiben poca corrosión o ninguna. Las superficies son similares a las superficies de piezas nuevas, excepto por una ligera formación de cavidades a lo largo del borde inferior debido a los DAGP condensados allí. Esto puede deberse al efecto del extractor en el horno a 65°C.

Semiinmerso: La mitad sumergida presenta superficies similares a las superficies de muestras nuevas mientras que las mitades

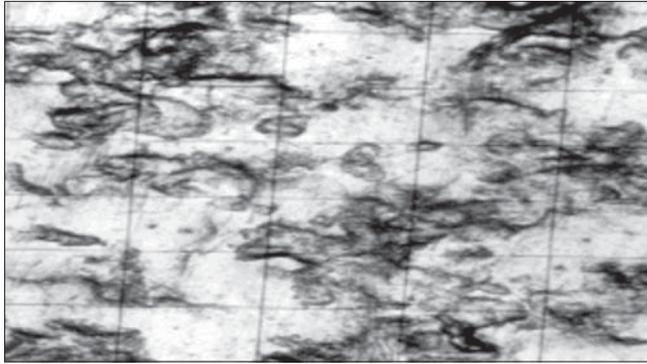


Figura 3 Foto de microscopia reflectiva de una nueva superficie de acero dulce



Figura 6 Foto de microscopia reflectiva del crecimiento y unión de cavidades

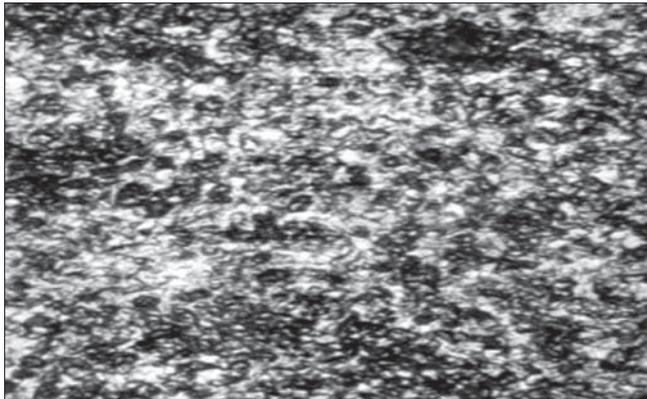


Figura 4 Foto de microscopia reflectiva del inicio de cavidades

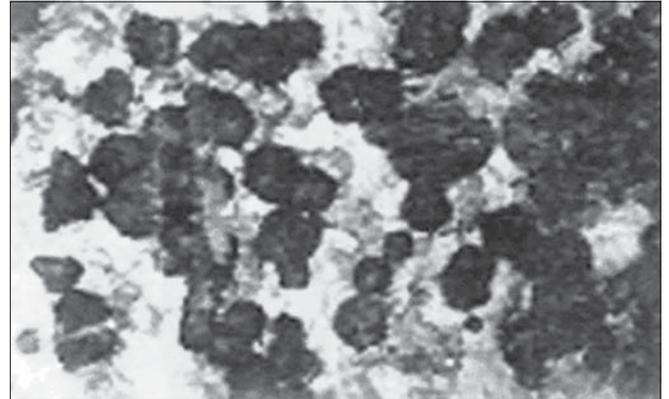


Figura 7 Foto de microscopia reflectiva de cavidades unidas

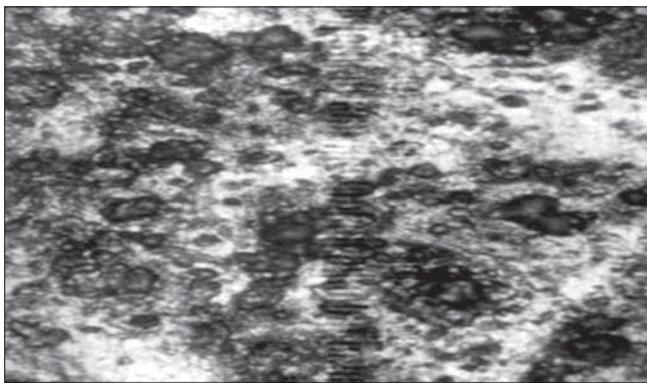


Figura 5 Foto de microscopia reflectiva del crecimiento de las cavidades

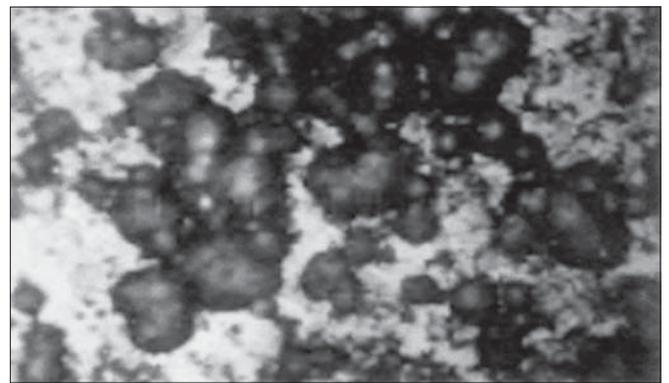


Figura 8 Foto de microscopia reflectiva de cavidades unidas dando lugar a superficies nuevas

sumergidas presentan la apariencia moteada y grisácea de la corrosión química uniforme.

Sumergida: De todas las muestras, las muestras sumergidas a 65°C presentaron las mayores pérdidas de peso. Las muestras exhibieron tanto corrosión química uniforme como formación de cavidades, conduciendo a efectos de capas. Las capas comienzan a partir de la formación de cavidades. Las pequeñas cavidades formadas gradualmente se agrandan hasta unirse. Esto conduce a la formación de una nueva superficie (combinado con ataque químico uniforme) formando pequeñas cavidades en el fondo de las cavidades viejas. Este efecto de capas comienza en el centro de las superficies y gradualmente se esparce hacia los bordes. La pérdida de grosor se puede calcular por medio de un medidor micrométrico de tornillo. Las Figuras 3 a 8 muestran esta secuencia.

Resultados y cálculos

Las Figuras 9 y 10 muestran los resultados de la pérdida de peso por unidad de área para las muestras semisumergidas, sumergidas y testigos para ambas series. Se observó que para las muestras sumergidas, los resultados se pueden dividir en un rango de bajo a alto para ambas series, temperatura ambiente y 65°C. Esto debe dar una mejor idea del rango de la tasa de corrosión para estas muestras, en vez de su respectivo promedio.

El experimento muestra que para la serie a temperatura ambiente, las pérdidas de peso para las muestras sumergidas son relativamente bajas comparadas con el testigo y las muestras semisumergidas. Para la serie a 65°C, sucede lo contrario, donde las muestras sumergidas presentan la mayor cantidad de corrosión mientras que la pérdida de peso por unidad de área para el testigo y las muestras semisumergidas es relativamente despreciable.

En las figuras se puede ver que la tasa de pérdida de peso por unidad de área es mayor durante los primeros 200 días de almacenamiento (tasa inicial de corrosión). Las Figuras 11 y 12 muestran la pérdida linear de peso inicial por unidad de área versus testigo y muestras semisumergidas a temperatura ambiente y para la alta y baja pérdida de peso por unidad de área

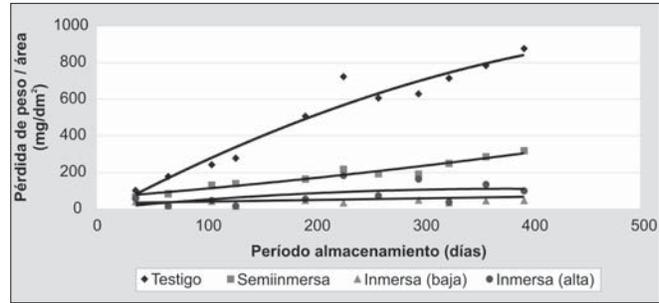


Figura 9 Pérdida de peso del acero dulce en DAGP a temperatura ambiente

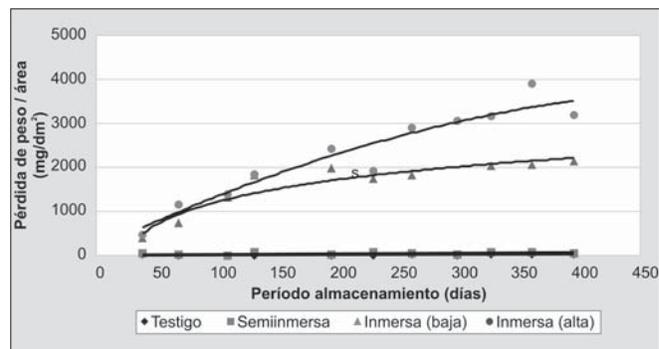


Figura 10 Pérdida de peso del acero dulce en DAGP a 65°C

de las muestras sumergidas a 65°C respectivamente. La Tabla 3 da la tasa de corrosión del acero dulce por DAGP, en las condiciones establecidas, en términos de milímetros (mm) por año. Los coeficientes de regresión lineal son todos significativos a un nivel de 99% de confianza. Estas tasas de corrosión se basan todas en corrosión uniforme de las muestras. Asumiendo esto, una lámina de metal de un milímetro de espesor sería atravesada en 14 a 16 años. Los datos de ácido ascórbico de Rosanoff *et al.* (1985), se incluyen para objetos de comparación. La diferencia se debe a la diferencia de acidez de pk de 4,10 (ácido ascórbico) vs. pk de 4,96 (para ácido nonanoico) indicando una diferencia de casi 10 veces entre ellos.

Esta tasa de corrosión, asumiendo corrosión uniforme, no es representativa de la situación real especialmente en términos de penetración como se puede deducir de la condición ilustrada

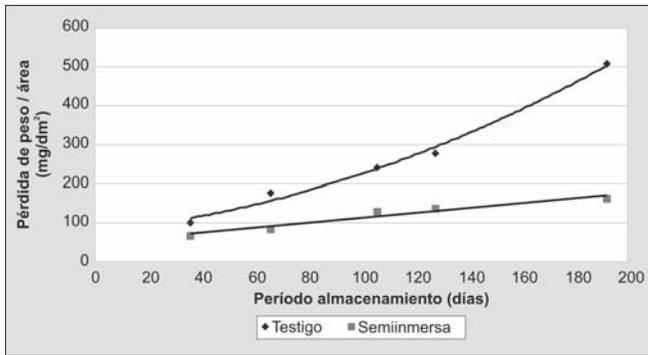


Figura 11 Tasa de corrosión inicial del acero dulce en DAGP a temperatura ambiente

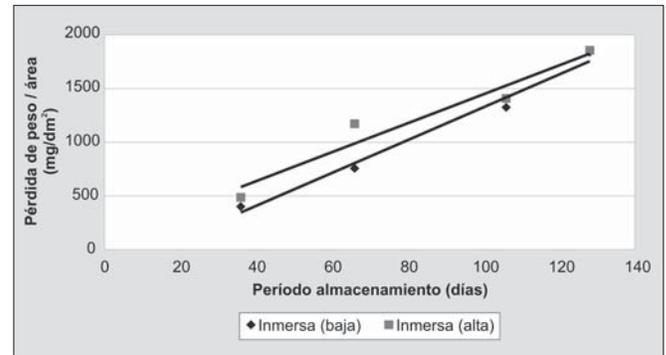


Figura 12 Tasa inicial de corrosión del acero dulce por DAGP a 65°C

Tabla 3 Tasa de penetración de corrosión del acero dulce por DAGP usando la pérdida inicial de peso por unidad de área

Modo de prueba	Gradiente de regresión lineal (mgdm ⁻² d ⁻¹)	Penetración (mm ⁻¹)	Coefficiente de regresión
Testigo a temperatura ambiente	2,5034	0,0116	0,982
Semiinmerso a temperatura ambiente	0,6445	0,0030	0,969
Sumergido a 65°C (tasa alta)	13,4610	0,0525	0,970
Sumergido a 65°C (tasa baja)	15,2510	0,0709	0,991
Acero dulce en 1mm ácido ascórbico* a 25°C	365	1,6960	

* Datos de Rosanoff et al.
 Fórmula usada para convertir de mgdm⁻²d⁻¹ tp mmy⁻¹: (mgdm⁻²d⁻¹) x (0,03653/7,86)

Tabla 4 Tiempo estimado requerido para penetrar una lámina de acero dulce de 1 milímetro a 65°C (muestra 1- tasa baja)

Código	Período de almacenaje (días)	Pérdida de grosor por lado (mm)	Tiempo requerido para penetrar 1 mm (años)
19	192	0,074	7,108
6	227	0,074	8,404
34	324	0,07	12,681
14	358	0,08	12,26
32	393	0,085	12,667
Promedio			10,624

Tabla 5 Tiempo estimado requerido para penetrar una lámina de acero dulce de 1 milímetro a 65°C (muestra 2 – tasa alta)

Código	Período de almacenaje (días)	Pérdida de grosor por lado (mm)	Tiempo requerido para penetrar 1 mm (años)
67	192	0,085	6,188
68	227	0,077	8,077
88	259	0,091	7,798
57	296	0,096	8,447
50	324	0,1	8,877
100	359	0,101	9,711
95	393	0,095	11,334
Promedio			8,633

en las Figuras 3 a 8. Un cálculo más realista se puede obtener de la pérdida de grosor con el tiempo. Las Tablas 4 y 5 muestran la pérdida de grosor por lado de las muestras con el tiempo durante la segunda parte del período de almacenamiento para las piezas sumergidas a 65°C. La pérdida de grosor por lado es la mitad

de la diferencia entre el grosor original y el grosor entre las dos superficies más nuevas en ambos lados de las muestras después de cierto período de almacenamiento. A partir de esta pérdida de grosor, se puede calcular el tiempo requerido para atravesar una lámina de un milímetro de acero dulce.

Los datos presentados aquí indican que DAGP penetra el acero dulce a una profundidad de un milímetro en 8 a 10 años. Este método de pérdida de grosor es válido debido al fenómeno de formación de capas observado en este experimento.

Discusión

Los resultados anteriores muestran las dificultades que se presentan en experimentos de corrosión. Además de la dificultad de reproducir exactamente un experimento, dada la naturaleza impredecible de algunos procesos de corrosión, el método para determinar la tasa de corrosión también es importante, especialmente donde se involucra una combinación de procesos de corrosión.

Para las piezas de acero dulce sumergidas en el DAGP usadas en este trabajo, la corrosión inicial durante los primeros dos meses, es un ataque químico uniforme. A medida que progresa el período de almacenamiento, al ataque químico uniforme generalizado se le une la formación de cavidades por corrosión. La unión de las cavidades como resultado de su crecimiento produce corrosión localizada esparcida por la corrosión química uniforme. En este trabajo, las tasas de corrosión calculadas a partir de datos de corrosión inicial durante la primera mitad del período de almacenamiento se basan en corrosión química uniforme. El método de pérdida de grosor no es aplicable durante este período debido a que ésta es extremadamente pequeña.

La combinación de corrosión localizada, uniforme y formación de cavidades observada durante la segunda mitad del período de almacenamiento es el proceso para determinar la tasa de corrosión de acero dulce por DAGP. Se debe tener en mente que el período de 8 a 9 años para un milímetro de penetración se basa en la formación de nuevas superficies en ambos lados de las piezas de muestra. Esto corresponde a los procesos de crecimiento y unión de cavidades. Por lo tanto, el rango de 8 a 10 años marca el máximo de vida útil de una placa de acero dulce de un milímetro de espesor, y no el mínimo. En la práctica, la vida útil puede ser aún más corta, debido a la naturaleza impredecible de la formación de cavidades por corrosión. Esto es especialmente

cierto si la formación de cavidades no se esparce uniformemente en la superficie, sino se concentra en unas pocas cavidades más profundas, lo que acelera la tasa de corrosión, con relación a las otras cavidades. Esto conduciría a perforaciones sobre un área muy pequeña en poco tiempo, con una posible falla mecánica si las perforaciones ocurren en puntos estratégicos de la estructura.

Los resultados que se muestran en las Figuras 3 y 4 son datos típicos de corrosión experimental especialmente donde se almacenan diferentes especímenes bajo las mismas condiciones con diferentes piezas analizadas a intervalos regulares para determinar la tasa de corrosión. El análisis de una sola muestra durante el período de almacenamiento (por ejemplo, retornando la muestra a condiciones de almacenamiento después del análisis) no es representativo de la condición real de uso, ya que constantemente se exponen nuevas superficies después de cada lavado antes del análisis. Además, las películas protectoras formadas por productos de corrosión inicial, serían destruidas por el lavado de las muestras durante la preparación para análisis.

La corrosión de acero dulce por DAGP es mediana, comparada con la corrosión por ácidos inorgánicos y otros ácidos orgánicos como el ácido ascórbico. Los resultados obtenidos indican que si se requiere almacenar destilados de ácidos grasos en contenedores de acero dulce, es preferible almacenar los DAGP a bajas temperaturas suficientes para mantenerlos en forma sólida donde la tasa de corrosión es despreciable.

Para almacenamiento en forma líquida, se recomienda un recubrimiento capaz de soportar temperaturas de aproximadamente 80°C por largos períodos de tiempo, para proteger los contenedores. El equipo que pueda entrar en contacto con DAGP caliente, debe ser en lo posible de acero inoxidable. Si se va a usar acero dulce, se debe revisar regularmente por corrosión y buen estado estructural.

El mantenimiento regular se debe seguir estrictamente. Es aconsejable usar tanques de acero inoxidable en vez de tanques de acero dulce para almacenamiento de DAGP. Si se van a usar tanques de acero dulce se aconseja revestirlos

con acero inoxidable por dentro. No es aconsejable usar pinturas de revestimiento debido a la alta temperatura usada en la fusión de DAGP. Es importante anotar aquí unas palabras de precaución si estos datos se van a usar para calcular la vida útil de los componentes de los tanques de almacenamiento. La tasa reportada aquí es aplicable a las paredes de los tanques pero no al acero dulce de los serpentines de calentamiento. Esto es debido a que los serpentines de calentamiento están a temperaturas mucho más altas que los DAGP, aún si los DAGP se almacenan a la misma temperatura del experimento. Por tanto, la tasa de corrosión de los serpentines sería mucho más alta y la vida útil de estos serpentines sería mucho más corta.

B) Deterioro de calidad de DAGP

Resultados

Las características iniciales de los DAGP usados para el experimento se muestran en la Tabla 2. Las características del almacenamiento para las muestras a 65°C y temperatura ambiente se muestran en las Tablas 6 y 7 respectivamente. La Figura 13 muestra el incremento del índice de peróxido con el tiempo para la muestra a 65°C mientras que las Figuras 14 y 15 muestran la disminución de índice de yodo y ácidos grasos libres con el tiempo para la misma muestra. La Figura 16 muestra el aumento en contenido de hierro con el tiempo de almacenamiento, también para la muestra a 65°C.

Tabla
6

Características de almacenamiento de DAGP a 65°C con placas de acero dulce sumergidas

Período almacenamiento (días)	Titulación (°C)	Humedad (%)	Índice yodo (Wijs)	Color (Gardner)	P V (mequiv/kg)	Ácido graso libre (% palmítico)	Cobre (ppm)	Hierro (ppm)
36	43,8	0,35	53	14+	2,92	76,17	0,001	75,5
66	43,4	0,33	52	17+	6,71	75,29	0,001	144,0
106	47,1	0,20	-	18+	11,17	73,59	0,002	240,0
128	48,0	0,18	-	>18+	-	74,52	0,002	338,0
192	48,7	0,44	49,8	>18+	16,84	71,95	0,002	408,0
227	41,4	0,65	-	>18+	-	-	0,002	-
259	46,2	0,59	47,9	>18+	17,32	69,98	0,002	-
296	44,8	0,70	41,6	>18+	19,75	69,31	0,002	780,0
324	42,6	0,75	41,1	>18+	17,57	68,15	0,002	775,0

Tabla
7

Características de almacenamiento de DAGP a temperatura ambiente con muestras de acero dulce sumergido

Período almacenamiento (días)	Titulación (°C)	Humedad (%)	Índice yodo (Wijs)	Color (Gardner)	P V (mequiv/kg)	Ácido graso libre (% palmítico)	Cobre (ppm)	Hierro (ppm)
36	41,3	0,46	55,2	10+	1,09	80,86	0,002	6,0
66	41,6	0,49	55,0	10+	4,44	80,56	0,001	7,5
106	46,2	0,59	-	10+	1,81	80,53	0,002	26,5
128	47,2	0,41	-	11	-	81,51	0,002	16,1
192	48,6	0,59	55,8	11	4,11	79,48	0,002	32,0
227	40,1	0,80	55,4	11	-	-	0,002	-
259	45,8	0,73	55,1	11	4,32	79,0	0,002	-
296	42,2	0,90	52,3	11	3,81	78,53	0,002	31,5
324	40,2	0,94	53,8	11	5,83	78,90	0,002	15,0

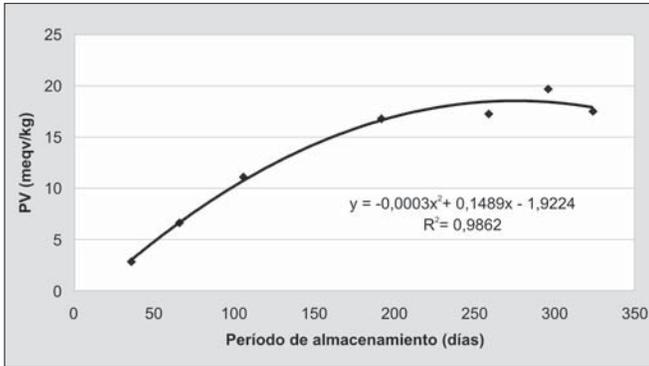


Figura 13 Cambio de PV de DAGP con el tiempo a 65°C

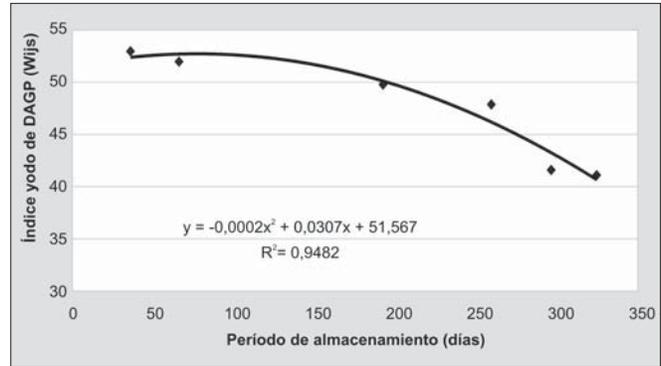


Figura 14 Cambio de índice de yodo de DAGP con el tiempo a 65°C

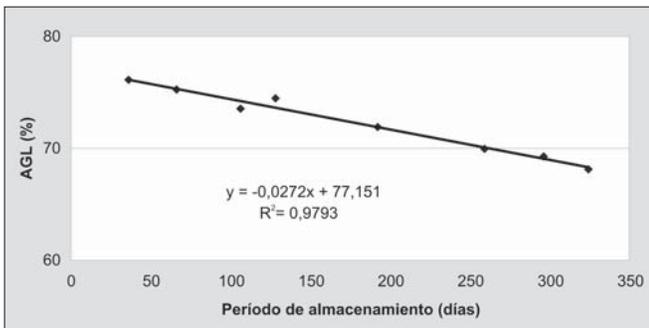


Figura 15 Cambio de ácidos grasos libres (AGL) de DAGP con el tiempo a 65°C

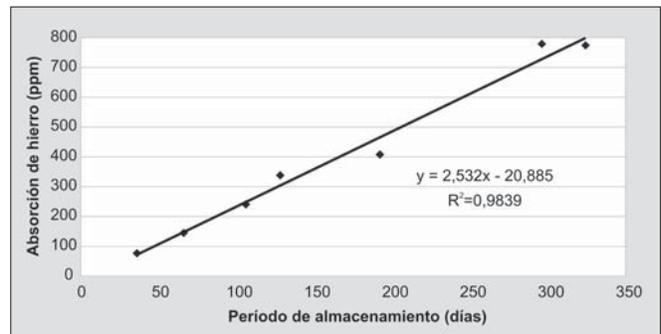


Figura 16 Tasa de absorción de hierro por DAGP con el tiempo a 65°C

Observaciones y discusión

Muestra a temperatura ambiente

En la Tabla 3, se puede ver que las características de calidad de los DAGP almacenados a temperatura ambiente se ven muy poco afectadas por la presencia de piezas de acero dulce, excepto al final del período de almacenamiento que es de aproximadamente un año. Durante los primeros 10 meses, el índice de yodo y contenido de ácidos grasos prácticamente no varía con relación a los valores iniciales, mientras que el índice de peróxido y color (en la escala Gardner) aumentan un poco. Aún la absorción de hierro es mínima. La preservación de todas estas características de calidad se puede atribuir al hecho de que los DAGP a temperatura ambiente son sólidos. En ausencia de movimientos de líquido, el deterioro de los DAGP se restringe a la superficie expuesta a la atmósfera y la capa de DAGP en contacto con piezas de acero dulce.

Muestra almacenada a 65°C

El resultado más notable en estas muestras es la alta velocidad a la que el hierro es absorbido por los DAGP. Tan sólo después de un mes a 65°C, el contenido de hierro aumentó de 6 a 76 ppm, y continúa aumentando con el tiempo. Este resultado muestra la naturaleza corrosiva de los DAGP y la necesidad de evitar que entren en contacto con superficies de acero dulce a altas temperaturas por largos períodos de tiempo.

El efecto adverso del hierro soluble sobre los aceites vegetales y ácidos grasos es bien conocido y documentado (Love, 1985). Esto se refleja en todas las características oxidativas de la muestra. La rápida absorción de hierro va en paralelo con el aumento en el índice de peróxido, la disminución en índice de yodo a medida que las uniones dobles se oxidan más rápidamente en presencia del catalizador de hierro, y el rápido aumento en el color de los DAGP. El deterioro oxidativo también se refleja en la disminución

en los valores de ácidos grasos libres. A medida que los ácidos se oxidan, los hidroperóxidos formados se descomponen en aldehídos y ketonas, resultando en la disminución en contenido de ácidos grasos libres.

Conclusión

La corrosión del acero dulce por destilados de ácidos grasos de palma comienza con un ataque químico general, uniforme. Con el tiempo se forman cavidades por corrosión. La combinación de formación de cavidades y corrosión general conduce a un efecto de capas por la unión de las cavidades.

Para una placa de acero dulce de un milímetro de espesor, se estima que la penetración completa a 65°C ocurre entre 8 a 10 años, lo que corresponde al máximo de vida útil. La corrosión del acero dulce por DAGP sólidos a temperatura ambiente es despreciable.

Los resultados experimentales mostraron que la corrosión del acero dulce por DAGP a 65°C es muy rápida, resultando en una rápida absorción de hierro por los DAGP. Esto conduce a un rápido deterioro de la calidad de los DAGP debido al conocido efecto catalítico del hierro, como se confirmó por la disminución de calidad observada. La calidad de los DAGP almacenados a temperatura ambiente prácticamente no se deteriora debido a que los DAGP están en estado sólido bajo estas condiciones y el deterioro se localiza únicamente en las superficies expuestas.

Para minimizar el deterioro de la calidad de los DAGP durante almacenamiento, transporte y manejo, se debe evitar o reducir al mínimo el

contacto entre acero dulce y los DAGP a altas temperaturas. Esto se puede lograr usando materiales más inertes que el acero dulce, como por ejemplo el acero inoxidable, como material de construcción o de revestimiento, o usando revestimientos orgánicos en tanques y tubería. ☼

Bibliografía

- CHAMPION, F.A. 1952. Corrosion Testing Procedures, Chapman & Hall.
- COCK, F.H. Industrial Corrosion Standards and Control (ASTM).
- EVANS, U.R. 1948. An introduction to Metallic Corrosion, Edward Arnold & Co.
- FONTANA, M.G.; GREENE, N.D. 1967, Corrosion Engineering, McGraw-Hill. Hoar, T.P. (1961)., J. Appl. Chem. 11, 121.
- POTTER, E.C. 1956. Electrochemistry, Cleaver-Hume, London, 231.
- ROSSANOFF, A; BRIGGS, G.M.; O DE LAMEN, B. 1985. Corrosion of iron by Ascorbic Acid and Catalysis of Ascorbate Oxidation by Products of the Iron Corrosion, J. Agric Food Chem. 33 pg 891-896.
- SHREIR, L.I. Corrosion, v.l 1 and 2, 2nd Edition, Newness, Butterworth.
- UHLING, H.H. (Ed.) 1984. The Corrosion Handbook, Wiley, New York and Chapman and Hall, London.
- UHLING, H.H. 1971. Corrosion and Corrosion Control, Wiley New York.
- VERNON, W.H.J. 1957. The Conservation of Natural Resources, Instn. of Civil Engineers, London, 105.
- WEBSTER. 1966. Webster's Third New International Dictionary, G and C. Merriam Co., Springfield, Mass, p.512.