

## ESTUDIO DEL EFECTO DE DIFERENTES MEDIOS SOBRE ALEACIONES DE ALUMINIO RECICLADO PARA USO DOMÉSTICO

R. Pizarro C.<sup>1</sup>, H. Galarreta D.<sup>2</sup>, J. Costilla F.<sup>3</sup>, S. Ramos A.<sup>4</sup>

### RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo realizar estudio y evaluación de la velocidad de corrosión de las aleaciones de aluminio para uso doméstico, así como la influencia de agentes corrosivos presentes al hacer uso de estos artículos domésticos en medios de diferentes pHs.

Para los efectos de estudio se eligieron tres medios agresivos: medio ácido (solución de ácido acético pH = 4,8), medio básico (solución de hidróxido de sodio pH = 9,5) y medio salino (solución de cloruro de sodio pH = 7,8); y cuatro tipos de aleaciones de aluminio para uso común: FAM o aleación 1100 como muestra patrón estandarizada, R-1, R-2 y R-3 como muestras de aleaciones de aluminio reciclado.

Los ensayos demostraron que FAM es el material más resistente a los tres medios agresivos y es precisamente el material con menor contenido de impurezas, R-3 es el más atacado y de mayor porcentaje de impurezas.

El medio más agresivo es el correspondiente al salino y es precisamente este medio el más comúnmente usado.

**Palabras clave:** Corrosión, aleaciones de aluminio, corrosión de aleaciones de aluminio, ensayos acelerados de corrosión.

### STUDY OF THE MEANS EFFECT DIFFERENT ON ALUMINIUM ALLOYS RECYCLING FOR USE DOMESTIC SERVANT

#### ABSTRACT

This research aims to study and conduct assessment of the speed up of corrosion of aluminum alloys used for domestic as well as the influence of corrosive agents present to make use of these domestic articles in means of different pHs. To study three means were chosen: Acid mean (solution of Acetic acid pH = 4.8), Basic mean (solution of sodium hydroxide pH = 9.5) and Saline mean (solution of sodium chloride pH = 7.8) and four types of aluminum alloys for use common: FAM or 1100 alloy as standardized pattern sample, R-1, R-2 and R-3 as samples of recycled aluminum.

The tests showed that FAM is the most resistant material to the three aggressive means and it is the material with a lower content of impurities, R-3 is the most attacked and is the material with the highest percentage of impurities.

The most aggressive mean corresponds to the Saline mean and it is precisely the most used mean.

**Keywords:** Corrosion, aluminium alloys, aluminium, aluminium alloy corrosion, accelerated tests of corrosion.

1 rrgppcc@yahoo.es, Departamento de Operaciones Unitarias, FQIQ-UNMSM.

2 hgalaretad@unmsm.edu.pe, Departamento de Química Inorgánica, FQIQ-UNMSM.

3 jcostillaf@yahoo.es, Tesista, FQIQ-UNMSM.

4 sramos@peru.com, Tesista, FQIQ-UNMSM.

## I. ANTECEDENTES

En el país no existe un estudio específico sobre la velocidad de corrosión del aluminio para uso doméstico expuesto a diferentes medios agresivos. Existen normas sobre las aleaciones de aluminio a utilizar para la fabricación de utensilios domésticos, las cuales no son aplicadas en el mercado nacional, lo que se puede apreciar por la gran variedad de marcas de utensilios (ollas, fuentes, entre otros). Estas aleaciones son en base de reciclaje de toda la gama de aleaciones de aluminio, cuya composición es muy variable y muchos de ellos con alto contenido de impurezas no aptas para uso doméstico.

## II. PRINCIPIOS TEÓRICOS

En sentido amplio, la corrosión puede definirse como "la destrucción de un material por interacción química, electroquímica o metalúrgica entre el medio y el material". Generalmente es lenta, pero de carácter persistente en algunos casos, los productos de la corrosión existen como una película delgada adherente que solo mancha o empaña el metal y puede actuar como un retardador para ulterior acción corrosiva. En otros casos, los productos de la corrosión son de carácter voluminoso y poroso, sin ofrecer ninguna protección.

La principal causa de la corrosión es la inestabilidad de los metales en sus formas refinadas; los mismos tienden a volver a sus estados originales a través de los procesos de corrosión.

### 2.1. Principios electroquímicos

La corrosión es esencialmente un proceso electroquímico que origina parte o el total del metal que está transformándose del estado metálico al iónico. La corrosión requiere un flujo de corriente eléctrica entre ciertas áreas de la superficie de un metal a través de un electrólito. Los iones son átomos eléctricamente cargados; por ejemplo,

el agua pura contiene iones hidrógeno positivamente cargados ( $H^+$ ) e iones hidroxilo negativamente cargados ( $OH^-$ ) en cantidades iguales, por tanto, un electrólito puede ser agua pura, agua salada, o soluciones ácidas o alcalinas de cualquier concentración. Para completar el circuito eléctrico debe haber dos electrodos, un ánodo y un cátodo, los mismos que deben conectarse. Los electrodos pueden ser dos metales diferentes o distintas áreas sobre la misma pieza de metal. La conexión entre el ánodo y el cátodo puede ser mediante un puente metálico, pero en la corrosión se lleva a cabo simplemente por contacto. Para que fluya la electricidad debe haber una diferencia de potencial entre los electrodos.

### 2.2. Fenómenos de corrosión localizados

#### Ataque localizado

En numerosas ocasiones la corrosión atañe a toda la superficie metálica, como cuando el metal permanece expuesto sin protección alguna a la acción de los agentes atmosféricos. Este ataque generalizado puede ser más o menos uniforme.

Otro tipo de ataque también frecuente es el que actúa solo sobre determinadas áreas de superficie, y que puede conducir al fallo prematuro de la superficie metálica; esta forma de ataque que tiende a profundizar mucho más rápidamente que la corrosión uniforme es, a veces, en extremo, más peligrosa.

#### Acción de factores macroscópicos

La corrosión localizada está originada con frecuencia por la llamada aireación diferencial, que causa el ataque del metal en las áreas menos expuestas al oxígeno de la atmósfera.

Cualquier factor que motiva una disminución de concentración de oxígeno disuelto (reactivo catódico) en el electrólito en contacto con unas partes de la superficie metálica, mientras que en otras la concen-

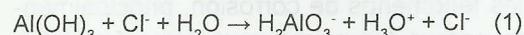
tración es mayor, formará áreas anódicas y catódicas en la superficie del metal, es decir, causará el funcionamiento de pilas de aireación diferencial. La reacción catódica de reducción de oxígeno tiende a ocurrir en el área pobre o agotada de oxígeno, de esta suerte de evolución de aire (oxígeno) de cualquier parte de la superficie metálica predispone al ataque localizado.

### El mecanismo de reacción probable de la corrosión por picadura

La corrosión picadura del Al es un tipo de ataque de corrosión local muy indeseable. La disminución de peso por la acción de la corrosión es mínima y en la mayor parte de superficie no es posible notar los cambios. Sin embargo, el ataque local en forma de puntos se extiende rápidamente hacia el interior y, cuando el material posee un pequeño espesor, puede producirse la perforación del mismo.

La profundidad de la penetración y la cantidad de picaduras pueden ser variables. En una parte de la superficie se hallan esporádicamente, pero en otras se acumulan, observándose una mayor densidad y una distribución más uniforme.

La corrosión picadura del Al se produce fundamentalmente en ambientes aproximadamente neutros, debido a la alteración o a defectos locales de la capa protectora de óxido, bajo la acción del medioambiente corrosivo en presencia de iones (por ejemplo, cloruros), que penetran a través de la capa de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , es decir, después de sobrepasar una concentración límite, en algún lugar defectuoso de la capa se produce la siguiente reacción:



El ión  $\text{H}_2\text{AlO}_3^-$  producido pasa a la capa de electrólito, y de esta forma queda desnuda la superficie del Al, en la que comienza a funcionar una pila local, siendo el pequeño lugar no protegido el ánodo.

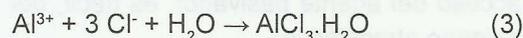
El área pequeña del ánodo, en comparación con el área mayor del cátodo (formada

por la capa protectora de óxido), provoca un aumento considerable de la densidad de corriente a diferencia de la pequeña densidad de corriente en la superficie pasiva.

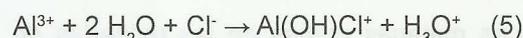
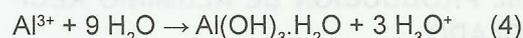
De este modo comienza una disolución muy rápida en el área anódica, es decir, se produce la corrosión activa según la reacción:



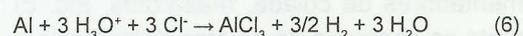
Sobre la superficie del Al se produce la picadura y, por lo general, comienza a funcionar el mecanismo conocido de la corrosión picadura. Los cationes  $\text{Al}^{3+}$  saturan el electrólito en el interior de la picadura, formando  $\text{AlCl}_3$  saturado:



Durante el período en el cual la picadura está activa, es decir, en la atmósfera, en presencia de una humectación suficiente, generalmente después que se sobrepasa el valor crítico de la humedad relativa (80%), se producen también las siguientes reacciones de hidrólisis:

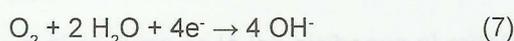


Las reacciones (4) y (5) ocasionan el aumento de la concentración de los iones hidronios ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) en el interior de la picadura. Cuando se alcanza un valor bastante bajo de pH es posible también que se produzca la reacción de corrosión con consumo de iones  $\text{H}_3\text{O}^+$  y formación de hidrógeno.



La reacción de corrosión (2) provoca el aumento de las cargas positivas en el interior de las picaduras, ya que los electrones migran hacia las áreas catódicas, donde se irán consumiendo (ver la reacción 7 en el texto a continuación). La neutralidad eléctrica se mantiene por la migración de los iones cloruros hacia el interior de la picadura, lo que causa el aumento de su concentración en ese lugar.

El suministro del agente oxidante se dificulta, por una parte, debido a que casi toda la superficie de la picadura está cubierta con una capa de los productos de corrosión con excepción de un pequeño agujero), o eventualmente con restos de la capa protectora de óxido que hasta ese momento ha sido destruida, y, por otra parte, porque se está consumiendo en la región catódica, es decir, en la superficie alrededor de la picadura:



Desde su formación, la picadura presenta una zona en la cual se facilita el acceso del agente activador de la corrosión (en este caso analizado, los iones cloruros) y, simultáneamente, se va haciendo más difícil el acceso del agente pasivador, es decir, del oxígeno atmosférico.

Así se crean las condiciones para el desarrollo de los procesos de corrosión y, simultáneamente, se dificulta la posibilidad de la repasivación de la superficie en el interior de la picadura.

### III. PRODUCCIÓN DE ALUMINIO RECIDADO

Las materias primas de las refineras de aluminio están constituidas principalmente por chatarras.

Aunque el término chatarras sea peyorativo, es preciso señalar que engloban en la metalurgia del afino, materias muy apropiadas, tales como virutas del torneado y fresado, recortes de todos los productos, alimentadores de colada, mazarotas, etc. El resto se compone de objetos domésticos o mecánicos fuera de uso en aluminio y aleaciones de aluminio.

La cantidad de chatarras disponible en un país es evidentemente función de su consumo de aluminio.

Esta preparación consiste en eliminar cuerpos inertes, aceites de corte, partículas de hierro, metales pesados, y reunir por lotes las chatarras de las aleaciones de la misma

naturaleza con miras a la fusión y la desgasificación, al análisis y a la colada de aleaciones de composición fija correspondiente a las normas.

La elección de los métodos de selección depende del espesor de los trozos y la cantidad a seleccionar.

### IV. MÉTODO DE CORROSIÓN ACELERADA CON MECANISMO DE INMERSIÓN Y EMERSIÓN ALTERNADO

#### 4.1. Metodología

El equipo utilizado para la evaluación de las probetas fue desarrollado siguiendo las especificaciones y condiciones de operación descritas por el Dr. M. Pourbaix en el Centro Belga de la Corrosión CEBELCOR que nos permite crear diferentes modelos, eligiendo aquel que permita desarrollar eficientemente las evaluaciones de la velocidad de corrosión acelerada.

El equipo experimental permite realizar estudios e investigaciones de la influencia de los numerosos factores que intervienen en la corrosión por medio de ensayos acelerados de corrosión de metales y aleaciones, con mecanismos de inmersión y emersión en soluciones agresivas y mediante técnicas electroquímicas y/o gravimétricas cuantificar la velocidad de corrosión.

#### 4.2. Detalles experimentales

La técnica aplicada permite someter a los metales y aleaciones a etapas de humectaciones y secados de la probeta, situación que permite de una u otra manera acelerar los fenómenos de corrosión, principalmente porque las capas pasivantes formadas en los periodos de humectación no llegan a estabilizarse por someterlos a periodos cíclicos de secado y humectación.

Las características en los que ocurre el fenómeno corrosivo son usadas para determinar los parámetros experimentales de las pruebas por el método acelerado:

- 1) pH.
- 2) Composición de la solución de prueba.
- 3) La duración de los períodos de humedad y secado.

**Materiales a evaluar:** Las probetas son planchas cuya medida estándar 100 mm x 20 mm x 2 ó 3 mm max. de metales o aleaciones de uso industrial o doméstico.

**Soluciones agresivas:** Las características de las soluciones agresivas están en concordancia con las condiciones que son sometidas considerando pH, concentración de los electrolitos presentes y temperatura.

#### Parámetros de control

- El período de inmersión y emersión, es decir, el tiempo en el que la probeta se humidifica y el correspondiente al de secado.
- El flujo de alimentación de las soluciones y el flujo de la evacuación de la solución en la cubeta.
- Técnica de evaluación de la velocidad de corrosión.

#### Técnicas gravimétricas

- Las medidas gravimétricas que se efectúan a las probetas ensayadas.

#### Técnicas metalográficas

- La morfología del fenómeno de la corrosión, profundidad de picaduras, ataque intergranular, etc.

#### Condiciones

El equipo fue diseñado, construido y luego puesto en operación a las siguientes condiciones:

Período de inmersión y emersión:	30 min
Flujo de aire:	120 cc/min
Tiempo de ensayo:	1 mL/min

Las probetas son placas de aluminio de 100 mm x 30 mm x 2 mm. Las soluciones agresivas son las siguientes:

Medio ácido	ácido acético	pH = 4,8.
Medio básico	hidróxido de sodio	pH = 9,5.
Medio salino	cloruro de sodio	pH = 7,8.

#### Preparación de las probetas de aluminio

Las probetas son planchas de medida estándar 100 mm x 20 mm x 2 mm, de aluminio y aleaciones de uso común para la fabricación de artículos de menaje.

Se tienen las siguientes aleaciones, indicando su codificación de acuerdo a cuatro criterios:

Criterio	Variable	Código
Serie	15 días	1
	30 días	2
	45 días	3
Medio	Ácido	1
	Básico	2
	Salino	3
Tipo de aleación de aluminio	FAM	1
	R-1	2
	R-2	3
	R-3	4
Número de probeta		1
		2
		3

#### 4.3. Ensayos de corrosión acelerada por el método de inmersiones y emersiones alternas

##### Condiciones de exposición de las probetas

Fue necesario el diseño, construcción y puesto en operación de un equipo para la realización de los ensayos de corrosión acelerada por el método de inmersión y emersión alternas en soluciones agresivas.

Como podemos observar, se distinguen tres filas, las cuales corresponden a las tres diferentes soluciones (ácido, básico, salino) a las que han sido sometidas las probetas, cada fila consta de cuatro bandejas rectangulares de vidrio pirex que son alimentadas independientemente con las respectivas soluciones agresivas provenientes de un tanque de donde se distribuye la alimentación en forma continua y controlada a razón de 1 ml/min.

En cada bandeja solo se avalúa un tipo de aleación de aluminio que corresponden al de los tipos FAM, R-1, R-2, R-3.

Los tiempos de ensayo a los que se sometieron las probetas fueron períodos de 15, 30 y 45 días.

Las probetas fueron sometidas a períodos constantes de inmersión y emersión cuya duración era de 30 minutos cada uno, durante 24 horas del día.

Cada bandeja contiene 9 probetas de una misma especie, que se agrupan de a tres correspondientes a los grupos de 15, 30 y 45 días. Las características de las soluciones ya han sido mencionadas anteriormente.

Finalmente las bandejas son bombeadas con aire. El bombeo de aire a las solucio-

nes agresivas es uniforme, continuo, constante y similar para todas las cubetas.

## V. TABLA DE DATOS Y RESULTADOS

### 5.1. Composición de las aleaciones de aluminio

Descripción	Código de la muestra			
	FAM	R-1	R-2	R-3
Aluminio (%)	99,81	98,84	97,72	97,61
Hierro (%)	0,096	0,175	0,164	0,276
Magnesio (%)	0,002	0,002	0,006	0,003
Silicio (%)	0,036	0,072	0,041	0,091
Zinc (%)	0,004	0,032	0,016	0,063
Cobre (%)	0,003	0,027	0,090	0,105
Plomo (%)	0,018	0,030	0,032	0,041
Manganeso (%)	0,003	0,030	0,011	0,038
Níquel (%)	0,007	0,007	0,006	0,007

(Instituto de Corrosión y Protección de la Pontificia Universidad Católica del Perú)

### 5.2. Pérdida de peso en función del tiempo de tratamiento:

Tabla 1. Medio ácido.

Material	Periodo	Área promedio (m <sup>2</sup> )	W <sub>i</sub> promedio (g)	W <sub>f</sub> Promedio (g)	(W <sub>f</sub> -W <sub>i</sub> ) / Área promedio (g/m <sup>2</sup> )
FAM	15 días	0,006434	10,6332	10,6174	2,466660
	30 días	0,006621	10,8388	10,7894	7,453654
	45 días	0,006427	10,2859	10,2250	9,478652
R-1	15 días	0,006493	10,6408	10,6242	2,565008
	30 días	0,006486	10,6410	10,5925	7,466248
	45 días	0,006372	9,3837	9,3207	9,886665
R-2	15 días	0,006450	12,3562	12,3375	2,9000268
	30 días	0,006539	12,7382	12,6860	7,992981
	45 días	0,006475	10,6539	10,5880	10,180597
R-3	15 días	0,006397	9,4731	9,4520	3,304691
	30 días	0,006385	9,5074	9,4531	8,504568
	45 días	0,006462	12,3499	12,2822	10,465949

Tabla 2. Medio básico.

Material	Periodo	Área promedio (m <sup>2</sup> )	W <sub>i</sub> promedio (g)	W <sub>f</sub> promedio (g)	(W <sub>f</sub> -W <sub>i</sub> ) / Área promedio (g/m <sup>2</sup> )
FAM	15 días	0,006368	10,2341	10,2175	2,612381
	30 días	0,006433	9,9843	9,9310	8,287562
	45 días	0,006417	9,9209	9,9209	10,641542
R-1	15 días	0,006507	10,7421	10,7204	3,334368
	30 días	0,006518	10,7130	10,6568	8,620813
	45 días	0,006459	10,6772	10,6063	10,972525
R-2	15 días	0,006498	12,3108	12,2858	3,846620
	30 días	0,00652033	12,8104	12,7492	9,384740
	45 días	0,006608	12,4779	12,4039	11,199577
R-3	15 días	0,006367	9,6742	9,6451	4,572362
	30 días	0,006404	9,5802	9,5159	10,034166
	45 días	0,006431	9,7622	9,6833	12,277004

Tabla 3. Medio salino.

Material	Período	Área promedio (m <sup>2</sup> )	W <sub>i</sub> promedio (g)	W <sub>f</sub> promedio (g)	(W <sub>f</sub> -W <sub>i</sub> ) / área promedio (g/m <sup>2</sup> )
FAM	15 días	0,006444	9,9903	9,9715	2,914477
	30 días	0,006386	10,3807	10,3256	8,629046
	45 días	0,006551	10,7421	10,6664	11,542501
R-1	15 días	0,006356	9,8279	9,8050	3,602677
	30 días	0,006462	10,1538	10,0918	9,585183
	45 días	0,006428	10,2829	10,2000	12,902023
R-2	15 días	0,006460	12,1859	12,1583	4,266776
	30 días	0,006512	12,3775	12,3058	11,001683
	45 días	0,006474	12,2665	12,1812	13,181504
R-3	15 días	0,006418	9,8462	9,8028	6,764514
	30 días	0,006421	10,2194	10,1083	17,268626
	45 días	0,006440	9,8789	9,7425	21,169949

## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El método de corrosión acelerado de inmersión y emersión empleado en el presente trabajo, permite estudiar la influencia de tres soluciones agresivas sobre cuatro tipos de aleaciones de aluminio, la primera de ellas corresponde a la aleación 1100 (proveniente de FAM) tomada como referencia por ser un aluminio estandarizado (ver Micrografías), las demás corresponden a aleaciones de aluminio reciclado que son utilizados comúnmente por los fabricantes de artículos de cocina y asignados con las siglas R-1, R-2 y R-3.

El pH de cada una de las soluciones agresivas se mantuvo constante debido al flujo continuo de 60 mL/hr, también se realizó una aireación continua de 120 cc/min para

oxigenar las soluciones y acelerar el proceso de corrosión.

Durante la inmersión las aleaciones están en contacto directo con las soluciones agresivas, produciéndose un severo proceso de corrosión.

A los 45 días de operación del equipo se puso de manifiesto las siguientes características sobre las probetas:

- En medio ácido: leve ataque.
- En medio básico: oscurecimiento de la superficie.
- En medio salino: inicio de las picaduras.

Los resultados se pueden apreciar en las fotografías.



Las mayores velocidades de corrosión se alcanzan en medio salino con formación de picaduras, debido a la presencia de los iones cloruros. Estos penetran a través de la capa de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, creando una

pequeña área anódica que origina ataque por picadura, y se desarrolla con mayor intensidad cuando el material tiene inclusiones metálicas o pequeñas partículas insolubles de impurezas.

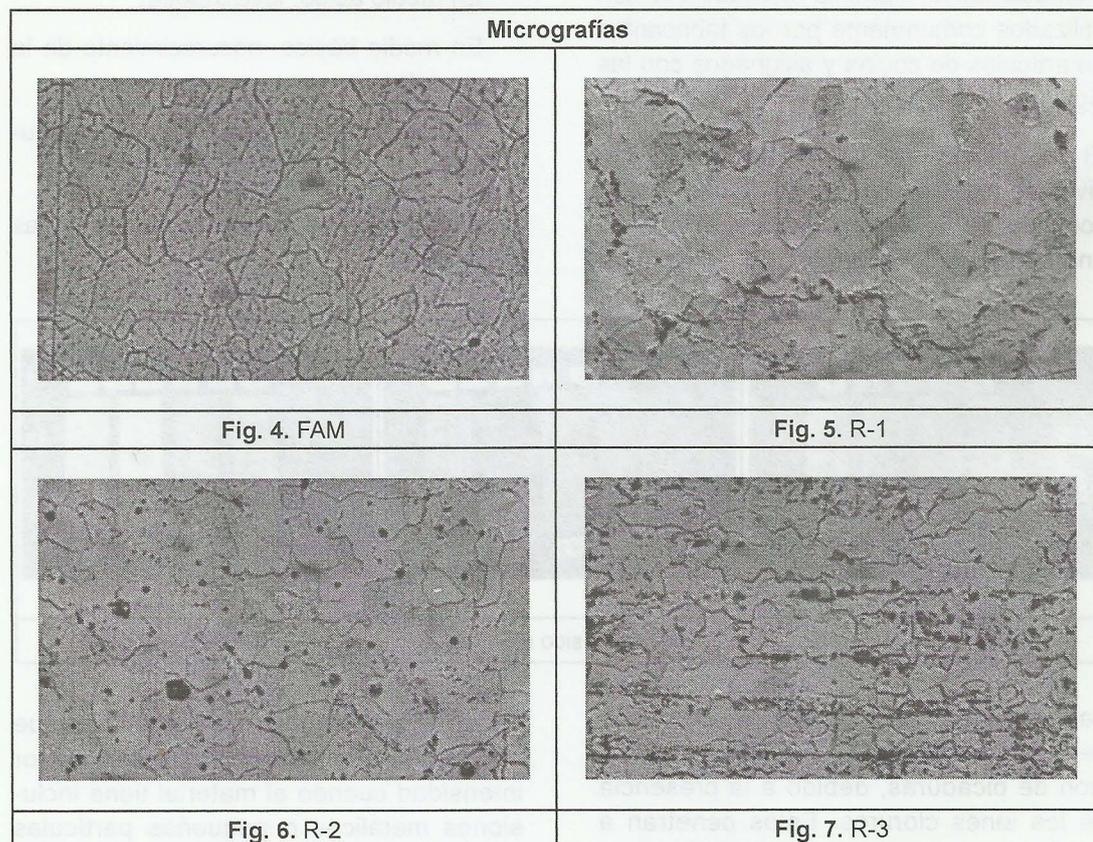
**Tabla 4.** Velocidad de corrosión del material en los distintos medios.

Medio	Material	Velocidad de corrosión (gr/m <sup>2</sup> .día)
Salino	FAM	0,256500
	R-1	0,286712
	R-2	0,292922
	R-3	0,470443
Básico	FAM	0,236479
	R-1	0,243834
	R-2	0,248879
	R-3	0,272822
Ácido	FAM	0,210637
	R-1	0,219704
	R-2	0,226235
	R-3	0,232577

De los resultados obtenidos, las mayores velocidades de corrosión se dan para la aleación R-3, en cada una de las soluciones a las cuales fue sometida, si observamos las micrografías de la 4 a la 7, mostradas

a continuación, que son el resultado de las evaluaciones realizadas en el laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Se puede apreciar que la aleación R-3 presenta muy malas características metalográficas, además contiene el mayor porcentaje del hierro 0,276%. En la Figura 7 se observan impurezas en forma de pequeñas partículas insolubles, inclusiones metálicas, escoria, así como heterogeneidades de la solución sólida, es decir, diferencias de concentración reveladas por los diferentes tamaños de los granos y que ponen en evidencia un error de composición y/o de tratamiento del material.

Se pone de manifiesto así, que tanto el método de evaluación como el equipo diseñado para la realización corroboran lo que se puede apreciar en las metalografías de las probetas mostradas después de 45 días de exposición.



## VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El método de corrosión acelerado de inmersión y emersión alternado permite determinar velocidades de corrosión para diversas aleaciones, siendo este esencialmente comparativo. La aleación 1100 (FAM) ha sido tomada como referencia.
- La aleación 1100 correspondiente a FAM es la más resistente a los medios agresivos ensayados y es precisamente el material recomendado para uso doméstico. Por otro lado, la aleación R-3 es la de menor resistencia, lo que se puede apreciar en las fotografías después de 45 días de exposición en los diferentes medios.
- Las mayores velocidades de corrosión se dan en medio salino, obteniéndose para la muestra R-3 un valor de 0,470443 gr/m<sup>2</sup>.día.
- El medio menos corrosivo para las aleaciones de aluminio ensayadas es el correspondiente al ácido, así para la muestra R-3, la más sensible al ataque corrosivo, se obtuvo un valor de 0,232577 gr/m<sup>2</sup>.día.
- Realizar ensayos de corrosión variando las condiciones de trabajo y considerar otros parámetros de operación tales como la temperatura, variación de pH, flujos, etc., que permitan estandarizar un método de acuerdo a las condiciones a las cuales son sometidas las probetas a evaluar.
- Utilizar aleaciones de aluminio que sigan las normas de calidad para la fabricación de artículos de menaje y éstas deben tener las características de la aleación 1100.
- Se recomienda realizar un estudio multidisciplinario (biológico, médico, etc.) que permita evaluar los efectos que puedan ocasionar sobre la salud el fenómeno de corrosión de las aleaciones ensayadas.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ailor, WH. Handbook on corrosion testing and evaluation". New York: John Wiley and sons Inc, 1971.
- [2] Avner, SH. Introducción a la metalurgia física, 2.ª ed. México: Editorial McGraw-Hill, Interamericana de México S.A., 1988.
- [3] Barrand P, Gadeau R. Enciclopedia el aluminio, España: Ediciones Urmo S.A. 1969. Tomo I, II, VI.
- [4] Costilla Fernández JL, Ramos Ajalcuña, SN. Estudio y evaluación para determinar la velocidad de corrosión del aluminio de uso doméstico mediante método de inmersión y emersión alternada. Lima-Perú: UNMSM-FQIQ, 1997.
- [5] Bloch E, Unbrugge E. Influence des composants sur les alliage d'aluminium pour oxydation anodique alluminium. 1962. 31, 1 21-25.
- [6] Bourbon R, Adenis D, Moriceau J. Noircissement a l'eau des aluminiums et alleage. Rapportst internes crv n° 1124 et 1125 du 1966.
- [7] Gordard H, Jepson, W, Bothwell M. Cleaning aluminium surface. "the corrosion of light metals". New York: John Wiley and Sons, Inc. 1967.
- [8] Gonzáles FJ. Teoría y práctica de la lucha contra la corrosión. España: Consejo Superior de Investigación Científica, Centro Nacional de Investigación Metalúrgica, 1984.
- [9] Perry R, Chilton C. Manual del ingeniero químico. 5ª ed. 1982.
- [10] American Society for Metals. Metals handbook. Ohio 1987, vol. IX, XIII.
- [11] Revista Iberoamericana de Corrosión y Protección, Órgano Oficial del (aicop) vol. XVII: 3, junio 1986.
- [12] G1-81 Standard practice for preparing, cleaning, and evaluating corrosion test specimens.