

# Influencia de la agresividad corrosiva en las pérdidas de chatarras de cobre, aluminio y acero

**Abel Castañeda, Francisco Corvo,\* Eva González, Julia Pérez, Carmen Portilla, Cecilia Valdés y Yarelys Martín.**

Grupo de Protección de Materiales y Corrosión, Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Avenida 25 y 158, Apartado Postal 6414, Ciudad de La Habana. [abel.castaneda@cnic.edu.cu](mailto:abel.castaneda@cnic.edu.cu). \* Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales, Universidad de La Habana.

Recibido: 24 de junio de 2006. Aceptado: 8 de diciembre de 2006.

Palabras clave: chatarra, pérdidas, agresividad corrosiva, corrosión, contaminantes atmosféricos.  
Key words: scrap, lose, aggressiveness corrosion, corrosion, pollutants.

**RESUMEN.** Se determinó la agresividad corrosiva de un chatarrero constituido por dos almacenes de chatarra no ferrosa de cobre y aluminio, a partir de la evaluación de las velocidades de deposición de los iones cloruro, el dióxido de azufre y del polvo sedimentable de la atmósfera. Además, se estableció la velocidad de corrosión en probetas de acero al carbono, cobre y aluminio a partir de las diferencias de sus masas al comparar las muestras antes y después de la exposición en el medio estudiado. Para esto, se seleccionaron tres sitios de exposición: uno en el exterior y dos en el interior de los almacenes, donde fueron colocados los captadores de contaminantes, un sensor electroquímico para la determinación de la humedad y la temperatura del aire, así como las probetas metálicas. Se confirmó que el chatarrero se encuentra ubicado en una zona de elevada agresividad corrosiva, determinada por la presencia de una atmósfera urbano-marino-industrial según la magnitud de la velocidad de deposición de iones cloruro y dióxido de azufre que en ella tiene lugar. Esto posibilitó que a partir de un corto período de ensayo, se pudieran estimar las mermas de chatarras debido a que las pérdidas de masa en las probetas metálicas aumentan en función del tiempo de exposición. Según los resultados, las chatarras de acero al carbono y de aluminio son las que mayores mermas estimadas pudieran presentar durante un año de almacenamiento.

**ABSTRACT.** The corrosive aggressiveness for scrap iron made up by two non-ferrous scrap from copper and aluminum was determined from the evaluation of deposition rate from chloride ions, sulphur dioxide and setting dust from atmosphere. Besides, the corrosion rate in steel carbon test tube, copper and aluminum formed their mass differences when it was compared with the samples before and after the environment studied. For this, three expositions sites one out and two in the storehouse were chosen where the contaminants attracting were placed, and electrochemical sensors for the determination of humidity and the air temperature, as well as metallic probes. It was confirmed that the scrap iron is placed in a zone of high corrosive aggressiveness determined by the presence of an industrial-marine-urban atmosphere according to values obtained from deposition rate from chloride ions and sulphur dioxide. This fact facilitated to estimate the loss of masses in metallic probes because they increase in function of the expositions time. According to the results the steel scrap in carbon and aluminum are the ones that could have more estimated losses for a year of storage.

## INTRODUCCION

Se entiende como chatarra al material metálico que ha dejado de ser usado por el hombre, el cual puede ser reciclado para otros fines a partir del proceso de fundición.<sup>1</sup> La chatarra se pudiera clasificar al igual que los metales, es decir, en chatarra ferrosa y no ferrosa; la primera es aquella en la que el metal base es el hierro (acero y hierro fundidos) y la segunda, la que tiene como metal base el aluminio, cobre, níquel, estaño entre otros.<sup>2</sup>

El comercio de chatarra es un buen negocio, por solo citar un ejemplo, se puede decir que una tonelada de chatarra donde el metal base es el cobre cuesta alrededor de 2 450 a 2 500 USD, de aluminio 1 130 a 1 170 USD y de acero al carbono 680 a 720 USD.<sup>2</sup>

La chatarra es un recurso importante, sobre todo, porque disminuye los gastos de materias primas (suministra materiales de segunda mano para su reutilización o reciclaje) y de energía requeridos en procesos como la fundición del acero.<sup>1</sup> Por esta razón, su almacenamiento necesita una especial atención debido a las posibles pérdidas que pudieran ser ocasionadas por la corrosión.

La corrosión como concepto, es el ataque químico o electroquímico que experimentan los materiales metálicos debido a la acción del medio que los rodea, siempre y cuando dé lugar a su deterioro.<sup>3</sup> Cuba es un archipiélago con un clima caracteri-

zado por presentar durante más de la mitad del año una temperatura media superior a 25 °C y una humedad relativa media de alrededor del 80 % durante el día. Dada su configuración y ubicación geográfica, la influencia de la salinidad marina alcanza a casi todo el territorio nacional. Estas condiciones favorecen notablemente el desarrollo de la corrosión de los metales incluida la chatarra. Se ha determinado que la zona cubana de mayor agresividad corrosiva, considerada a su vez como extrema, es la franja del territorio ubicada en la vecindad de la costa norte de Ciudad de La Habana.<sup>4</sup> En esta zona, se encuentra ubicado un chatarrero compuesto por dos almacenes de chatarra no ferrosa de cobre y aluminio. Además de la particular ubicación geográfica que presentan estos almacenes, la chatarra depositada en ellos se encuentra en malas condiciones de almacenamiento (Fig. 1), lo que pudiera influir considerablemente en importantes pérdidas de esta por corrosión.

La atmósfera es el medio corrosivo más ampliamente extendido. La multiplicidad de sus propiedades promotoras de corrosión depende del clima y de los efectos de la civilización. Desde el punto de vista económico es bueno realizar ensayos de corrosión de bajo costo, que posibiliten obtener información con la mayor rapidez posible. El principal objetivo de estos ensayos fue determinar la agresividad corrosiva en dos almacenes de chatarra no ferrosa, base cobre y aluminio a partir de la velocidad de deposición de contaminantes atmosféricos tales como el dióxido de azufre y los iones cloruro; la velocidad de corrosión en probetas de diferentes metales básicos como el acero al carbono, cobre y aluminio, así como el comportamiento de la humedad relativa y la temperatura, lo que permitiría precisar, de manera general, bajo qué condiciones se debería almacenar la chatarra ferrosa y no ferrosa para asegurar su menor afectación por la corrosión y por supuesto las menores pérdidas por ese concepto.<sup>5</sup> Medida que no solo debe comprender a este chatarrero, sino que debería hacerse extensiva a todos aquellos establecimientos similares del país que almacenan este valioso recurso, para contribuir a evitar importantes pérdidas económicas.

## MATERIALES Y METODOS

Para la determinación de la agresividad corrosiva en estos almacenes



(a)



(b)

**Fig. 1.** Condiciones de almacenamiento en que se encuentra la chatarra no ferrosa de cobre y aluminio en los almacenes del chatarrero estudiado. a) Vista interior. b) Vista exterior.

de chatarra fueron seleccionados tres sitios de exposición; uno en el exterior del chatarrero (sitio 1) y los otros dos, en los interiores de cada uno de los dos almacenes (sitio 2, almacén 1, y sitio 3, almacén 2). El almacén 2 se encuentra más próximo a la calle y está situado delante del almacén 1. En cada uno de los sitios escogidos, se colocaron cuatro

captadores de contaminantes atmosféricos, dos para la determinación de la velocidad de deposición de iones cloruro [ $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ] representativo del grado de salinidad atmosférica y dos para la determinación de la velocidad de deposición de dióxido de azufre [ $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ].<sup>6,7</sup> Ambos captadores se colocaron convenientemente en un soporte de madera (Fig. 2).



**Fig. 2.** Soportes de exposición en los que fueron colocados los captadores de contaminantes y las probetas metálicas en los sitios de exposición en el exterior y en cada uno de los almacenes.

Es oportuno señalar que este soporte fue colocado bajo techo, para evitar que la lluvia produjera un efecto de lavado sobre los contaminantes en los captadores, lo que traería como consecuencia una pérdida de la efectividad en la determinación de la agresividad corrosiva. Se emplearon placas Petri para determinar el polvo sedimentable [ $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ] expresado como materia orgánica (M.O) y materia inorgánica (M.I). El cambio de los captadores en los tres sitios, como de las placas Petri, fue mensual, con una duración del ensayo de tres meses, período comprendido entre octubre y diciembre de 2005.

Cuatro probetas de cada uno de los diferentes materiales metálicos (acero al carbono, cobre y aluminio) de área  $0,03 \text{ m}^2$  fueron colocadas en un soporte de ensayo de aluminio (Fig. 2). Dos probetas de cada metal, se retiraron al primer mes de exposición (octubre/05) y las restantes al tercer mes (diciembre/05) para determinar el valor medio de la velocidad de corrosión (K) para cada material a través de la pérdida de masa por unidad de área de las probetas ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) en el tiempo. Adicionalmente, se evaluaron dos pares de probetas (una de cobre y otra de aluminio) unidas una con la otra por una simple cuerda; las cuales fueron colocadas entre la chatarra de los dos almacenes, con el objetivo de demostrar la pérdida por corrosión a través del efecto del par galvánico.<sup>3</sup> Un sensor electroquímico de fabricación alemana de marca *Tinytag Ultra* conectado a una computadora y colocado entre los dos almacenes permitió determinar el valor promedio de humedad relativa, así como las temperaturas media, máxima media y mínima media en el interior de los almacenes durante el período de ensayo.

La diferencia de masa de las probetas metálicas ensayadas expresada en kilogramos fue la base fundamental para estimar las pérdidas en la chatarra después de haber confirmado el tipo de atmósfera y su clasificación. Esta diferencia de masa se divide entre la masa inicial de cada probeta, donde el valor obtenido se multiplica por mil kilogramos (equivalente a una tonelada) y por un factor de 4 para estimar las pérdidas por corrosión que pudiera presentar una tonelada de chatarra en un año.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Análisis de la humedad relativa y de la temperatura

De manera general, la humedad relativa y la temperatura se pudie-

**Tabla 1.** Humedad relativa y temperatura en el interior de los almacenes del chatarrero estudiado.

Variable	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
Temperatura media	26,8	24,8	23,1	24,9
Temperatura máxima media	30,2	28,2	36,7	31,7
Temperatura mínima media	24,6	22,2	20,0	22,2
Humedad relativa media	85	83	77	82
Humedad máxima media	94	94	87	92
Humedad mínima media	73	69	64	69

Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ). Humedad (%).

ron considerar elevados en el interior de los dos almacenes (Tabla 1), sobre todo, la temperatura mínima media y la humedad relativa mínima media. El comportamiento de estos factores climáticos confirma que este chatarrero se encuentra en una zona de elevadas temperatura y humedad relativa. Estas condiciones favorecen considerablemente el fenómeno de la corrosión, ya que contribuyen que se pueda depositar una película de agua condensada en las superficies de la chatarra, fenómeno que se conoce comúnmente como rocío y que ocurre en horas de la mañana.

A lo anterior, se puede adicionar que como consecuencia de la acción de la lluvia, aumenta la humedad relativa, redundando en la disminución de la temperatura del aire. Al escampar, la película de agua condensada se vuelve a originar sobre la superficie metálica de la chatarra, intensificándose la corrosión sobre todo, en la ferrosa. Las de cobre y aluminio por su parte, ofrecen una gran resistencia a la humedad a temperatura ambiente, así como a la variación de las condiciones en ausencia de compuestos de azufre y de iones cloruro, o cuando tiene lugar una baja velocidad de deposición de ellos. En primer término el cobre es un metal seminoble, es decir, no es muy activo, lo que significa que tiene una gran resistencia a la corrosión al reaccionar con el oxígeno presente en la película de agua condensada y además, el producto de corrosión que se forma sobre su superficie pudiera servir como medio de protección. El aluminio se comporta de forma similar porque tiene la posibilidad de pasivarse en presencia del oxígeno, gracias a la formación de capas uniformes de óxidos sobre su superficie que imposibilitan la pérdida de los electrones del metal, lo que se traduce en un buen efecto protector.<sup>8</sup>

### Influencia de los contaminantes en la agresividad corrosiva

Después de valorar el comportamiento de la humedad y de la temperatura, se requiere analizar la influencia de los contaminantes a partir de tres variables fundamentales: las velocidades de deposición de los iones cloruro y del dióxido de azufre, así como el polvo sedimentable. Estos contaminantes pueden encontrarse en la película de agua condensada y en la superficie de la chatarra. Su influencia en la primera se manifiesta a través de la aceleración del proceso de corrosión, como resultado de cambios bruscos de pH en esta, debido específicamente, a la acción de los compuestos de azufre sobre el cobre y el acero. Los cloruros no influyen en el decrecimiento del pH, pero sí en la destrucción de la capa pasiva en el aluminio.

La presencia de elevadas concentraciones de contaminantes atmosféricos en la zona en que se encuentra el chatarrero (Tabla 2), permite afirmar que este se halla en una zona de elevada agresividad corrosiva para los tres metales objeto de estudio, ya sea, en condiciones exteriores o en el interior de cada uno de los almacenes. Es de destacar el posible efecto negativo que sobre el cobre y el aluminio en particular deben provocar los iones cloruro dada su elevada velocidad de deposición. Asimismo, la atmósfera del lugar en función de la concentración de los contaminantes, se puede clasificar como urbano-marino-industrial, considerada como una de las más agresivas desde el punto de vista de la corrosión, lo que no hace recomendable el almacenamiento de chatarra ferrosa o no ferrosa en ese lugar. También se incluyó en los ensayos el acero al carbono, ya que es la chatarra ferrosa que más se almacena bajo estas condiciones en Cuba.

Este tipo de atmósfera se debe a varios factores, en primer lugar a la gran velocidad de deposición del

dióxido de azufre debido a la cercanía del chatarrero a la refinería "Nico López", que es una importante fuente de este contaminante. A esto se unen también, los gases generados por los motores de combustión interna de los vehículos que circulan por su zonas internas y externas, así como la presencia de los iones cloruro que son arrastrados por el viento desde la superficie del mar.

Otra variable muy importante que influye directamente en la aceleración del fenómeno de la corrosión, aunque no existen intervalos para su clasificación en la norma ISO 9223, es el polvo sedimentable, el cual se puede expresar en materia orgánica e inorgánica. Se pudo comprobar que existe un elevado grado de deposición de polvo en el exterior y en el interior de los almacenes (Tabla 3) y se apreció en su composición una mayor cantidad de materia inorgánica debidomy probablemente a la elevada velocidad de deposición de iones cloruro y compuestos de azufre que allí tiene lugar. La materia inorgánica una vez presente en la superficie metálica, reacciona también con la película de agua condensada activando su conductividad y originando cambios bruscos de pH en ella, lo que acelera de manera considerable el proceso de corrosión.

Al comparar los dos almacenes, se hizo evidente que la influencia de los contaminantes debe ser mayor para las condiciones exteriores. La mayor contaminación correspondió al sitio 3 ubicado en el almacén más próximo a la calle (2), lo que pudiera

determinar la mayor pérdida de chatarra por concepto de corrosión en el lugar bajo estudio.

### Análisis de la velocidad de corrosión

Los valores medios de las velocidades de corrosión, determinados en las probetas metálicas, también permitieron clasificar la agresividad corrosiva según la norma ISO 9223. A pesar de la influencia de los contaminantes, en los tres sitios de exposición, durante el primer mes la agresividad corrosiva resultó baja en los tres materiales metálicos de acuerdo con los valores medios de velocidad de corrosión (Tabla 4). Para el acero al carbono el valor medio de la velocidad de corrosión se encontró entre 10 y 200 g/m<sup>2</sup>, para el cobre resultó < 0,9 g/m<sup>2</sup> y para el aluminio < 0,6 g/m<sup>2</sup>. Sin embargo, en el tercer mes de exposición hubo cambios en lo que respecta a la agresividad corrosiva. En el sitio 1 para el acero se mantuvo baja. Para los otros metales estudiados la agresividad corrosiva fue media, encontrándose los valores medios de velocidad de corrosión entre 0,9 y 5 g/m<sup>2</sup> y 0,6 y 2 g/m<sup>2</sup> para el cobre y aluminio. La agresividad corrosiva en los sitios 2 y 3 para el cobre fue media y para el aluminio fue baja.

Con el propósito de precisar las posibles pérdidas que pudiera ocasionar el fenómeno de la corrosión en la chatarra almacenada, se realizó un estimado de lo que pudiera suceder en un año, ya que la velocidad de corrosión tiende a aumentar en función del tiempo de acuerdo con

los resultados correspondientes al primer y al tercer mes de ensayo (Tabla 4).

Analizando los resultados de los ensayos realizados a los tres metales en el sitio 2, la agresividad corrosiva de acuerdo con la velocidad de corrosión puede ser catalogada como mediadebido a que para el acero al carbono se encuentra entre 200 y 400 g/m<sup>2</sup>, para el cobre entre 0,9 y 5 g/m<sup>2</sup> y para el aluminio entre 0,6 y 2 g/m<sup>2</sup>. Esto se debe a que este almacén es el que está más alejado de la carretera y de la línea costera; condición que determina una menor influencia de los contaminantes, permitiendo inferir que, si se emplean buenas condiciones de almacenamiento, se pudieran disminuir las pérdidas de chatarra. Sin embargo, en el sitio 3, correspondiente al almacén 2, que es el que se halla más próximo a la calle, se encontró que para un año (Tabla 4), la agresividad corrosiva se mantiene media para el acero y el cobre, pero para el aluminio resulta muy elevada, lo que puede redundar en mayores pérdidas de aluminio en el almacén 2 en comparación con el almacén 1. Un incremento del área expuesta de este metal a dicha atmósfera pudiera aumentar las pérdidas, agravando la situación antes enunciada.

Otro aspecto, que pudiera influir en las pérdidas por corrosión en el chatarrero es el relacionado con el efecto del par galvánico dado por el contacto íntimo de las chatarras de diferentes metales, como por ejemplo de cobre y aluminio. El cobre es un metal seminoble, mientras que el aluminio, a pesar de su tendencia a la pasivación, esta considerado como un metal activo debido a la acción de los agentes agresivos. En este caso los iones cloruros son capaces de romper la capa pasiva protectora originando una intensa corrosión localizada de elevada cinética.<sup>8</sup> Esto trae como consecuencia que al concentrarse la humedad relativa, que es el medio conductor en los intersticios de la chatarra, se

**Tabla 2.** Velocidad de deposición de iones cloruro y dióxido de azufre en los tres sitios ensayados.

Sitio	[mg/(m <sup>2</sup> · d)]						Agresividad corrosiva
	Octubre		Noviembre		Diciembre		
1 (exterior)	3,9	37,2	4,1	40,8	4,5	47,8	Alta
2 (almacén 1)	1,3	29,4	2,8	31,0	1,4	26,5	Alta
3 (almacén 2)	2,2	32,2	3,6	40,2	1,95	31,7	Alta

**Tabla 3.** Materia orgánica (M.O.) e inorgánica (M.I.) determinada en los tres puntos de ensayos ubicados en los almacenes del chatarrero estudiado.

Sitio	Octubre			Noviembre			Diciembre		
	M. O.	M. I.	Total	M. O.	M. I.	Total	M. O.	M. I.	Total
	[mg/(m <sup>2</sup> · d)]								
1 (exterior)	333,1	789,0	1 122,1	112,5	183,7	296,3	163,0	497,1	660,24
2 (almacén 1)	166,7	214,3	381,1	41,3	104,7	146,0	117,1	185,4	302,56
3 (almacén 2)	219,3	621,6	841,0	37,8	68,80	106,6	279,1	528,2	807,47

**Tabla 4.** Valores medios de las velocidades de corrosión y agresividad corrosiva para los tres metales ensayados en los tres puntos de exposición ubicados en los almacenes del chatarrero estudiado.

Sitio	Metal	K (Primer mes) (g/m <sup>2</sup> )	Agresividad corrosiva	K (Tercer mes) (g/m <sup>2</sup> )	Agresividad corrosiva	K (Estimado para un año) (g/m <sup>2</sup> )	Agresividad corrosiva
1 (exterior)	Acero	36,9	Baja	166,1	Baja	644,4	Alta
	Cobre	1,05	Baja	4,03	Media	16,2	Alta
	Aluminio	0,1	Baja	1,4	Media	5,6	Muy alta
2 (almacén 1)	Acero	21,35	Baja	57,05	Baja	228,2	Media
	Cobre	0,4	Baja	1,2	Media	4,8	Media
	Aluminio	0,04	Baja	0,2	Baja	0,8	Media
3 (Almacén 2)	Acero	24,8	Baja	63,6	Baja	254,4	Media
	Cobre	0,32	Baja	1,4	Media	5,6	Media
	Aluminio	0,01	Baja	0,5	Baja	2,0	Alta

produce un efecto llamado par galvánico, el cual consiste en la oxidación de un metal y la reducción del otro.<sup>8</sup> En este caso el que se oxida es el aluminio por ser el más activo y se reduce el cobre, es decir toma los electrones de aluminio a través del medio conductor. En este proceso también influye la presencia de los contaminantes, sobre todo, el polvo sedimentable que penetra en el interior de la chatarra.

A pesar de que la agresividad corrosiva para el aluminio resulta media y baja en los almacenes 1 y 2, existe una diferencia en su velocidad de corrosión en comparación con el cobre, debido al efecto anteriormente referido. Esto trae como consecuencia que pudiera existir una mayor pérdida en la chatarra de aluminio en ambos almacenes. En el almacén 2 según los valores estimados para un año (Tabla 5), la velocidad de corrosión del aluminio pudiera ser el doble de la mostrada por el cobre, también en este almacén existió una diferencia considerable entre la agresividad corrosiva para ambos metales. Similar comportamiento se aprecia en el almacén 1, en el que la velocidad de corrosión del aluminio no resulta el doble de la presentada por el cobre, para el que también existen diferencias importantes entre las velocidades de corrosión respectivas.

#### Análisis de las pérdidas

En relación con las posibles pérdidas que pudiera ocasionar el fenómeno de la corrosión en las chatarras almacenadas en el chatarrero bajo estudio, es de notar (Tabla 6) cómo la chatarra base de aluminio pudiera llegar a alcanzar una merma de 88,83 kg en el almacén 2 por tonela-

da almacenada durante un año, lo que pudiera representar una pérdida de 103, 93 USD. Sin embargo, en el almacén 1 la pérdida pudiera ser mucho menor debido a que este almacén está más alejado de la calle y recibe una menor influencia de los contaminantes como anteriormente fue demostrado. Para la chatarra de base de cobre las pérdidas se muestran más discretas (Tabla 6) y esto se debe a que el cobre es un metal mucho más resistente a la corrosión que el aluminio en dichas condiciones de exposición. En el caso de la chatarra de acero, las pérdidas en ambos almacenes resultan muy similares para un año.

Las pérdidas pudieran aumentar considerablemente, sobre todo, para la chatarra de base de aluminio, si se incrementa su almacenamiento por más de un año. Además, a lo anterior se unen los efectos físicos causados por los golpes que ella recibe durante su manipulación y amontonamiento, los cuales pueden propiciar que el metal quede desnudo y desprovisto de las posibles protecciones que tuviera (recubrimientos metálicos, electroquímicos, pintura,

etc.) en las zonas golpeadas, contribuyendo a su mayor activación, lo que en presencia de los contaminantes y la humedad relativa existente, aumenta considerablemente la corrosión en esas zonas. Otro factor importante, es la corrosión intersticial que experimentan los laminados y piezas de chatarra de aluminio cuando se almacenan en condiciones de contacto íntimo. Todo lo cual, reclama tomar cuantas medidas aseguren evitar tales situaciones durante el almacenamiento de este tipo de chatarra.

#### CONCLUSIONES

Se comprobó que el chatarrero estudiado se encuentra ubicado en una zona de elevada agresividad corrosiva, caracterizada por la presencia de una atmósfera urbano-marino-industrial, por lo que es necesario que cuente con buenas condiciones de almacenamiento para disminuir las pérdidas por corrosión. Asimismo, debe tenerse en cuenta no almacenar en él chatarra de aluminio por más de un año para evitar el riesgo de que sus pérdidas se incrementen.

**Tabla 5.** Velocidades de corrosión y agresividad corrosiva determinadas para el cobre y el aluminio a partir del efecto del par galvánico en dos sitios de exposición ubicados en los almacenes del chatarrero estudiado.

Sitio	Metal	K (Primer mes) (g/m <sup>2</sup> )	Agresividad corrosiva	K (Estimado para un año) (g/m <sup>2</sup> )	Agresividad corrosiva
2 (almacén 1)	Cobre	0,7	Baja	8,4	Media
	Aluminio	0,9	Media	10,9	Muy alta
3 (almacén 2)	Cobre	0,1	Baja	1,2	Baja
	Aluminio	0,2	Baja	2,4	Alta

**Tabla 6.** Pérdidas anuales estimadas para las chatarras de acero, aluminio y cobre por la corrosión en dos de los almacenes del chatarrero estudiado.

Sitio	Metal	Masa inicial	Masa final	Diferencia de masa	Diferencia de masa estimada para un año	Pérdida por tonelada en un año	Pérdida económica
							(USD)
							(kg)
2 (almacén 1)	Acero	0,140 745	0,138 881	0,001 864	0,007 456 8	52,98	38,14
3 (almacén 2)	Acero	0,142 696	0,140 768	0,001 928	0,007 714	54,05	38,91
2 (almacén 1)	Aluminio	0,077 66	0,07 745	0,000 21	0,000 84	10,81	12,64
3 (almacén 2)	Aluminio	0,078 90	0,077 15	0,001 752	0,007 01	88,83	103,93
2 (almacén 1)	Cobre	0,087 44	0,087 40	0,000 033	0,000 1352	1,54	3,85
3 (almacén 2)	Cobre	0,065 83	0,065 79	0,000 043	0,000 1736	2,06	5,15

De acuerdo con los resultados y los estimados para un año, las chatarras de aluminio y acero al carbono pudieran ser las más afectadas en comparación con la cobre. Sin embargo, las de este y aluminio se pudieran almacenar en aquellos lugares donde exista una baja velocidad de deposición de contaminantes (iones cloruro y compuestos de azufre), sin que se produzcan afectaciones sensibles.

El almacenamiento conjunto de chatarras de cobre y aluminio redundaría en un incremento en la velocidad de la corrosión y por consiguiente, de las afectaciones vinculadas a este fenómeno.

#### BIBLIOGRAFIA

1. Kutsukos T. Uso y clasificación de la chatarra. <http://www.materias.primas.com/Chatarra/>. Consultado: 18 de febrero de 2006.
2. Empresa de Recuperación de Chatarra, carretera Madrid km 124, No. 8210. Almacenamiento de chatarras. <http://www.miliarium.com/Monografias/VFU/Problematica/>. Consultado: 3 de noviembre de 2006.
3. Domínguez J.A. Introducción a la Corrosión y Protección de Metales. Capítulos 1 y 5. Facultad de Procesos Químicos y Alimentarios. Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría". Empresa Nacional de Producción y Servicios de la Educación Superior, La Habana, 1987.
4. Corvo F, Betancourt N., Díaz J.C., Lariot C., Leon Y., Pérez J., Rodríguez O., Bricuyet E., Catalá E, Castro M., González R., Echeverría C., Lorente M., Ladrón de Guevara M.E. Segunda Variante de Mapa Regional Agresividad Corrosiva de la atmósfera de Cuba. Proceedings. Primer Taller Internacional de Corrosión, CONACYT-CINVESTAV, Mérida, Yucatán. México, 23 al 28 de marzo, 1992.
5. ISO-9223. Corrosion of metal and alloys. Clasificación of aggressivity of the atmosphere. 1992
6. NC 12-01-08: 88. Método para la determinación del contenido de dióxido de azufre en la atmósfera
7. NC 12-01-09: 88. Método para la determinación del contenido de iones cloruro en la atmósfera
8. Galvele G., Duffo G. S. Degradación de Materiales -I. Corrosión. Capítulo 5. Instituto de Tecnología, UNSAM-CNEA, Buenos Aires, Argentina, 2003.