

Corrosividad de la atmósfera en los lugares de interés para el Proyecto de Recursos Evaporíticos del Altiplano Sur de Bolivia

Jaime A. Rocha
Gustavo A. Llanos

Instituto de Investigaciones en Metalurgia y Materiales
Universidad Mayor de San Andrés, La Paz–Bolivia
jrocha@umsa.bo

Resumen

En base a un proyecto de investigación acordado entre el IIMETMAT-UMSA y la GNRE-COMIBOL, se instalaron cuatro estaciones para determinar la corrosividad en la zona de trabajo del Proyecto de Explotación de Recursos Evaporíticos de Bolivia, con el fin de aportar información útil para la selección de materiales metálicos y de recubrimientos protectores a ser utilizados en las instalaciones expuestas a la intemperie. Las estaciones para la exposición de metales y determinación de contaminantes, fueron instaladas en las localidades de Llipi (Uyuni), Tauca (Coipasa) y al interior de los dos salares.

En el desarrollo de las pruebas y por la crecida de aguas en el salar de Coipasa, lamentablemente se perdió la estación instalada en éste, así que los resultados obtenidos corresponden a las tres estaciones aún en funcionamiento.

Los resultados obtenidos en el primer año de exposición, muestran que a pesar de tener un comportamiento climático muy similar en las tres estaciones (ambientes Cw, según la clasificación de Koppen), la mayor deposición de cloruros en la estación situada al interior del salar de Uyuni, favorece velocidades de corrosión más altas en los metales utilizados para la caracterización (acero, aluminio, cobre y zinc). La pasivación natural de los metales por formación de capas de óxidos estables se ve muy influenciada por la presencia de cloruros, siendo el cobre el único que mostró inicios de pasivación con formación de pátinas estables. Las clasificaciones según la norma ISO 9223, para la selección de materiales metálicos y recubrimientos protectores, muestran que para las estaciones de Uyuni 1 (Llipi) y Coipasa 1 (Tauca), varían entre C2 y C3 (baja a media), y de C3 a C4 (media a alta), para la Estación Uyuni 2 (Salar).

Palabras clave: Corrosividad, Categoría, Uyuni, Coipasa, salares, cloruros.

Corrosivity of the atmosphere in the places of interest to the Evaporite Resources Project in Southern Bolivian Highland

Abstract

Based on a research project agreed between IIMETMAT-UMSA and GNRE-COMIBOL, four stations were installed to determine the corrosivity in the working area of the project: Exploitation of the Evaporite Resources of Bolivia, in order to provide useful information for the metal selection and protective coatings to be used in installations exposed to weathering. The stations for metal exposure and contaminants determination were installed in the villages of Llipi (Uyuni), Tauca (Coipasa) and within the two salt lakes.

During the testing development, and due to the flood in the Coipasa Salt Lake, the station installed within the salt lake was missed, so that the results correspond to the three stations still in operation.

The results obtained in the first year of exposure, show that despite the very similar weather behavior in the three stations (CW environments according to Koppen), the increased deposition of chlorides in the station located inside the Salar de Uyuni favors higher corrosion rates in the metals used for characterization (steel, aluminum, copper and zinc). Natural passivation of metals by formation of stable oxide layers seems to be influenced by the presence of chlorides, with copper being the only one that showed initiation of passivation with formation of stable “patinas”. The ratings according to ISO 9223 for the selection of metal and protective coatings, show that for Uyuni 1 station (Llipi), and Coipasa 1 (Tauca), vary between C2 and C3 (low to medium), and C3 to C4 (medium to high) for Uyuni 2 station (Salt Lake).

Keywords: corrosivity, category, Uyuni, Coipasa, Salt lakes, chlorides.

Agressividade da atmosfera nos lugares de interesse para o Projeto de Recursos Evaporíticos no altiplano sul da Bolívia

Resumo

Baseado num projeto de pesquisa acordado entre IIMETMAT-UMSA e GNRE-COMIBOL, quatro estações foram instaladas para determinar a corrosão na área de trabalho do Projeto de Exploração de Recursos Evaporíticos da Bolívia, a fim de fornecer informações úteis para a seleção de matérias metálicas e revestimentos de proteção para uso em instalações expostas a intempéries. As estações de exposição de metal e determinação de contaminantes foram instaladas nas localidades de Llipi (Uyuni), Tauca (Coipasa) e nos dois lagos de sal.

No desenvolvimento do ensaio e pela inundação da água no Salar de Coipasa, infelizmente perdeu-se a estação instalada no mesmo, de modo que os resultados correspondem às três estações ainda em funcionamento.

Os resultados obtidos no primeiro ano de exposição mostram que, apesar dum comportamento do clima muito semelhante nas três estações (ambientes CW segundo Koppen), o aumento da deposição de cloretos na estação situada dentro do Salar de Uyuni favorece maiores velocidades de corrosão nos metais utilizados para caracterização (aço, alumínio, cobre e zinco). A passivação natural dos metais pela formação de camadas de óxido estável fica influenciada pela presença de cloretos, sendo o cobre o único que mostrou o início da passivação com a formação precoce de patinas estáveis. As classificações de acordo com a norma ISO 9223 para a seleção de metais e revestimentos de proteção, mostram que, para as estações Uyuni 1 (Llipi) e Coipasa 1 (Tauca) variam entre C2 e C3 (de baixa a média), e C3-C4 (médio e alto) para a estação Uyuni 2 (Salar)

Palavras chave: corrosividade, categoria, Uyuni, Coipasa, lagos de sal, cloretos.

Antecedentes y justificación

La Corrosión Atmosférica ha sido objeto de varios estudios a nivel mundial, contándose a la fecha con la clasificación de varias atmósferas en relación a su agresividad corrosiva, además de resultados de ensayos de desempeño de recubrimientos metálicos y/o orgánicos en esas atmósferas. Por lo tanto, desde el punto de vista de la corrosión atmosférica, se tiene demostrada la necesidad de caracterizar y probar materiales y recubrimientos expuestos a la intemperie como paso previo a su uso en aplicaciones prácticas.

De la misma forma, a nivel nacional el problema de la Corrosión Atmosférica ya fue abordado anteriormente, con la realización de los Proyectos PATINA concluido el año 2001 [6], el Proyecto MONOPOL-IIMETMAT concluido en octubre del 2004 [5], y el Proyecto IIMETMAT-MONOPOL-ENABOLCO, concluido en octubre de 2011 [7]. En estos proyectos, se participó evaluando recubrimientos metálicos (Zn, Al y sus aleaciones), y orgánicos (esquemas de pinturas de categorías C2, C3, C4, C5M y C5I).

El ambiente existente en los salares y las áreas circundantes es de alta corrosividad, debido principalmente a la existencia de cloruros, que pueden acelerar el proceso de corrosión, originando grandes pérdidas por reemplazo de partes, e inclusive con el riesgo de accidentes. De acuerdo a las normas ISO y ASTM, es posible prever el efecto de la corrosión en una atmósfera si se efectúa una caracterización de ésta, y realizar una mejor selección de los

materiales metálicos y/o recubrimientos a utilizarse. Inclusive es posible ensayar anticipadamente algunos materiales metálicos o recubrimientos protectores, aprovechando las estaciones a instalarse.

El Proyecto “Industrialización de los Recursos Evaporíticos del Altiplano Sur de Bolivia”, que está actualmente implementando el Estado boliviano, contará con varias instalaciones dentro y en la cercanías de los salares de Uyuni y Coipasa, que tendrán partes metálicas expuestas al ambiente agresivo de éstos lugares. Por la razón anterior, la GNRE y Comité Científico (CCII-REB), han solicitado al IIMETMAT, la instalación de estaciones para determinar la corrosividad atmosférica, dependiendo la cantidad y ubicación de las necesidades del proyecto, y corriendo con todos los gastos de instalación, movilización y operación la Empresa Estatal encargada de la explotación de los recursos evaporíticos.

El IIMETMAT, como parte del Estado boliviano considera de importancia el atender la solicitud para apoyar a un proyecto de envergadura nacional.

Objetivo

El objetivo principal del proyecto aún en ejecución es el siguiente:

Efectuar la caracterización de la atmósfera en términos de corrosividad de los lugares de interés del proyecto de

Industrialización de los Recursos Evaporíticos del Altiplano Sur de Bolivia.

Procedimiento experimental

Todo el procedimiento experimental, se basa en lo establecido en normas internacionales como la ISO 9223⁽³⁾. En la figura 1, se muestran los dos métodos para obtener la Clasificación de Corrosividad Atmosférica.

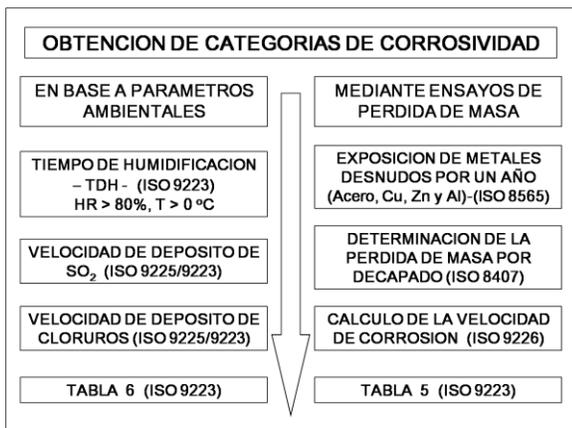


Figura 1. Métodos para obtener la Clasificación de Corrosividad Atmosférica [3].

La primera decisión importante, fue tomada antes de iniciar la experimentación, y consistió en establecer cuantas estaciones y

en qué lugares se deberían instalar. En reuniones de coordinación con los técnicos de la GNRE, se decidió instalar cuatro estaciones: dos en el salar de Uyuni y dos en el salar de Coipasa, coincidiendo con los lugares donde la GNRE, tenía instalaciones o estaba desarrollando trabajos.

En el presente trabajo, la parte experimental fue dividida en tres grandes etapas: preparación, instalación, puesta en marcha y evaluación.

Preparación. En lo relativo a la preparación, en primer lugar se tomaron todas las previsiones para la instalación de las estaciones, habiéndose construido los paneles de exposición y las casetas para colectores de cloruros y SO₂ de madera, para evitar el ataque corrosivo que el ambiente clorurado hubiese tenido sobre estructuras metálicas. También, se tomaron previsiones para que en los laboratorios de la GNRE de Llipi, se pudieran preparar los colectores de contaminantes y finalmente se realizó la preparación de las probetas metálicas a ser expuestas, no habiéndose tenido problema con las probetas de acero, cobre y aluminio; sin embargo, en el caso del zinc no fue posible conseguir planchas de la calidad requerida, así que se recurrió a planchas galvanizadas, que tuvieron que ser acondicionadas a la calidad de superficie requerida en las pruebas.

Se respetaron las medidas sugeridas y utilizadas en las normas internacionales [1, 6]; es decir, de 10 x 15 cm y un espesor mayor a 1 mm. Previa a su instalación, las planchas fueron lijadas, limpiadas y pesadas. En la tabla 1, se muestra la composición química de las planchas metálicas.

Tabla 1. Composición química de las planchas metálicas.

Acero		Cobre		Zinc		Aluminio	
Elemento	%	Elemento	%	Elemento	%	Elemento	%
C	0.18	Cu	99.50	Zn	98.50	Cu	0.03
Mn	0.71	S	0.05	Fe	0.05	Fe	0.50
S	0.04	Fe	0.03	Pb	0.02	Mg	0.03
Cu	0.01	Zn	0.07	Al	0.62	Si	0.16
				Si	0.02	Ti	0.02
						Zn	0.01

Instalación y Puesta en Marcha. La instalación y puesta en marcha se llevó a cabo los días 7 y 8 de diciembre de 2010, y las estaciones consideradas fueron las siguientes: Uyuni 1 en la localidad de Llipi, Uyuni 2 en el salar junto a las piscinas de evaporación, Coipasa 1, en la localidad de Tauca y Coipasa 2, en el lugar del salar donde se localizaba el Pozo 7 de muestreo y bombeo de salmueras. En la figura 2, se pueden ver las instalaciones realizadas en la Estación Uyuni 2, al interior del espacio reservado para la estación meteorológica.

En las cuatro locaciones, se instalaron paneles de exposición de madera con probetas de acero (12 probetas por estación), zinc (7 probetas por estación), cobre (7 probetas por estación) y aluminio (12 probetas por estación), proveyéndose retiros de evaluación a los 3, 6, 12, 24 y 36 meses.



Figura 2. Vista general de la Estación Uyuni 2 (piscinas).

Evaluación. Para esta etapa, se debe tomar en cuenta que se tuvieron evaluaciones de campo y de laboratorio. En las de campo normalmente se realizaron evaluaciones visuales del comportamiento de las muestras, y se procedió mensualmente al cambio de colectores y cuando correspondía, al retiro de probetas metálicas (3, 6 y 12 meses). Las probetas retiradas fueron evaluadas para determinar las velocidades de corrosión por el método de pérdida de masa, que consiste en remover todos los productos de corrosión con reactivos recomendados por normas internacionales [2], para luego comparar el peso inicial (antes de la exposición), con el obtenido después del ataque. También a nivel de laboratorio se determinaron los potenciales de reposo (potencial a circuito abierto), utilizando un multímetro y un electrodo de referencia, en solución de KCl 0.1 M.

Se llevaron a cabo 3 evaluaciones de campo incluyendo la realizada a 12 meses de exposición. A cada evaluación de campo siempre le precedía una evaluación de laboratorio, para determinar las velocidades de corrosión en probetas metálicas retiradas.

La determinación de SO₂ y cloruros, fue realizada de acuerdo a normas ISO [4, 6].

El ataque de las probetas metálicas retiradas, para determinar la velocidad de corrosión, se llevó a cabo de acuerdo a la norma internacional ISO/DIS 8407.3 (Metals and Alloys – Procedures for removal of corrosion products from corrosion test specimens) [2].

Para el presente caso se eligieron las soluciones que se detallan en la tabla 2.

Tabla 2. Soluciones utilizadas para la remoción de productos de corrosión [2].

Material	Solución utilizada
Probetas de Acero	Acido clorhídrico (P.E. 1.19 g/ml., 500 ml por l), hexametilen tetramina (3.5 g/ l), inmersión de 10 minutos a 25 °C.
Probetas de Aluminio	Acido nítrico (P.E. 1.42 g/ml.), inmersión de 1 a 5 minutos a 25 °C.
Probetas de Zinc	Cloruro de amonio (100 g/l), inmersión de 2 a 5 minutos a 70 °C.
Probetas de Cobre	Cianuro de sodio (4.9 g/l), inmersión de 1 a 3 minutos a 25 °C.

Resultados y discusión de resultados

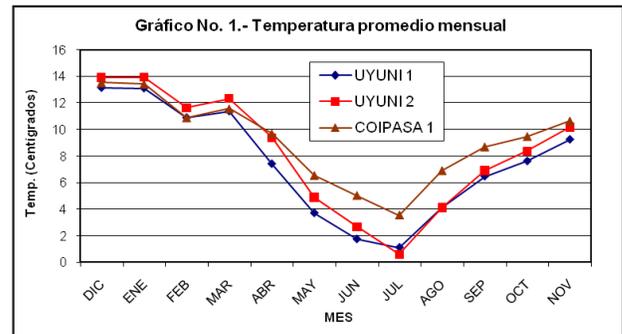
Medioambiente

Climáticamente, de acuerdo a los gráficos 1, 2 y 3, las tres atmósferas son muy similares, teniendo inclusive la misma clasificación de Koppen, con verano húmedo e invierno seco (Cw), pero con las siguientes diferencias:

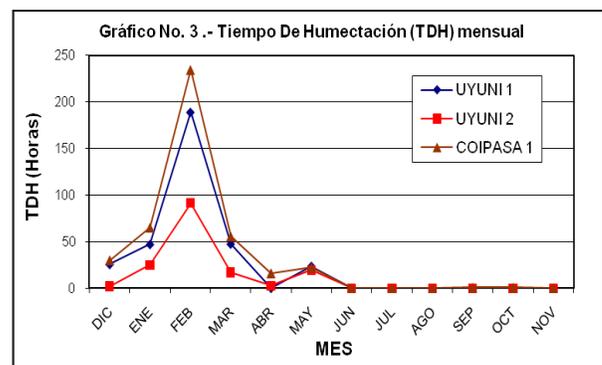
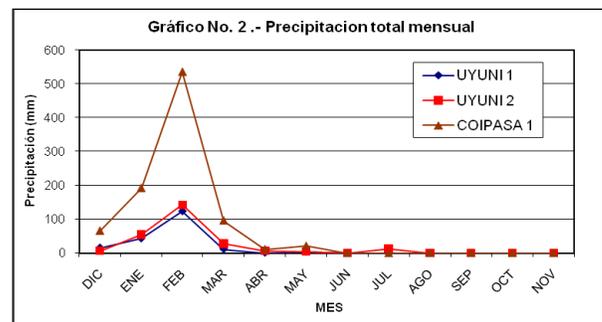
- La Estación Coipasa 1, como se observa en el gráfico 2, presenta una mayor precipitación aunque no influye mucho en la humedad relativa promedio, si lo tiene sobre

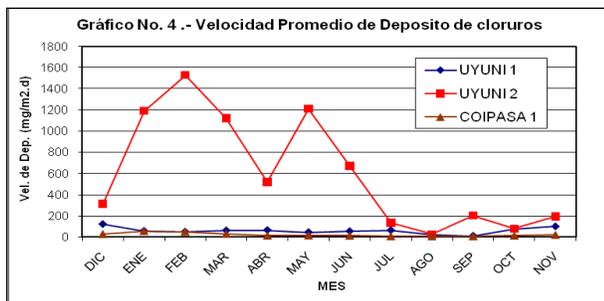
el TDH (gráfico 3), y con promedios de temperatura más altos que las otras dos estaciones instaladas en Uyuni.

- La Estación Uyuni 2, a pesar de tener mayores precipitaciones, muestra un TDH menor a la estación Uyuni 1, probablemente debido al efecto higroscópico de la costra salina (gráfico 3).



La contaminación con SO₂ es mínima en las tres estaciones (menor a 4 mg/m².d), resultado esperado en vista de la ausencia de fuentes naturales de gases sulfurosos o contaminación vehicular e industrial. En cambio, la presencia de cloruros es muy alta principalmente en la Estación Uyuni 2 (gráfico 4), mostrando a diferencia de las otras dos estaciones, una alta deposición en los meses de verano, coincidiendo con las precipitaciones también más altas.





La clasificación realizada utilizando parámetros ambientales según la norma ISO 9223 [3], ubica a las estaciones Uyuni 1 (Llipi), y Coipasa 1 (Tauca), entre las categorías de corrosividad C2 (baja) y C3 (media), y a la Estación Uyuni 2 (Piscinas), entre las categorías C3 (media) y C4 (alta).

Es muy notorio que a pesar de existir una fuerte contaminación con cloruros, las categorías no son las más altas, como en los ambientes marinos, pudiéndose atribuir esto a que la época de precipitaciones sólo duró aproximadamente tres meses. En el gráfico 4, es posible notar la fuerte dependencia del depósito de cloruros entre los meses de diciembre a julio, con la mayor humectación en la Estación Uyuni 2 (época de alta precipitación más la de evaporación o secado del salar), pudiéndose afirmar que la llegada de los cloruros a la superficie metálica no sólo es en forma de arrastre sólido, y que la presencia de aerosoles sería determinante al igual que en los ambientes marinos.

Tabla 3. Coeficientes de la Ecuación Doble-Logarítmica (1er año de exposición).

Metal	Uyuni 1		Uyuni 2		Coipasa 1	
	Co (µm)	n	Co (µm)	n	Co (µm)	n
Acero	5.706	0.465	14.505	0.233	3.682	0.242
Aluminio	0.082	0.052	1.004	0.696	0.478	0.611
Cobre	0.757	0.856	1.213	0.615	0.549	0.515
Zinc	0.731	1.497	1.105	1.183	0.735	0.733

Los valores de Co y n, aparte de los usos que se pueden dar a futuro, muestran en primer lugar la velocidad de corrosión ajustada para el primer año de exposición (Co), que se utiliza para determinar las categorías de corrosividad de acuerdo a la norma ISO 9223 [3]. El valor de n muestra la tendencia a la disminución de la velocidad de corrosión con el tiempo, cuando n se encuentra por debajo de 1. En la tabla 3, por el valor de n, todos los metales a excepción del zinc en las estaciones Uyuni 1 y 2, estarían mostrando tendencia a la disminución de la velocidad de corrosión con el tiempo y posiblemente a una pasivación.

En la tabla 3, también se puede apreciar que las velocidades de corrosión para el primer año en la Estación Uyuni 2, son más altas que en las otras dos, y que puede ser apreciado visualmente en la figura 3, donde se observan coloraciones superficiales que no se presentaron en las otras dos estaciones.

Probetas metálicas

Uno de los propósitos de relacionar la velocidad de corrosión en función al tiempo y más aún, establecer relaciones matemáticas, es el estudiar la evolución de ésta en relación al cambio de parámetros ambientales, ya sea de año en año o estacionalmente, y además disponer de información respecto al tiempo de vida útil de un material en el medio en el que ha sido estudiado. El método más común es el establecer los coeficientes de una ecuación exponencial simple como la denominada Ecuación Doble-Logarítmica [6, 7]:

$$C = C_o * t^n$$

Donde:

- C = Pérdida de espesor o masa para un tiempo t (µm ó g/m²)
- C_o = Pérdida de espesor o masa para el primer año de exposición.
- t = Tiempo (años)
- n = Coeficiente de ajuste (adimensional).

De donde:

$$V_{Corr} = C / t \quad \text{ó} \quad V_{Corr} = C_o * t^{n-1}$$

En la tabla 3, se muestran los valores de C_o y n, determinados a partir de los valores de velocidad de corrosión experimentales hasta el primer año de exposición, en las tres estaciones en estudio.

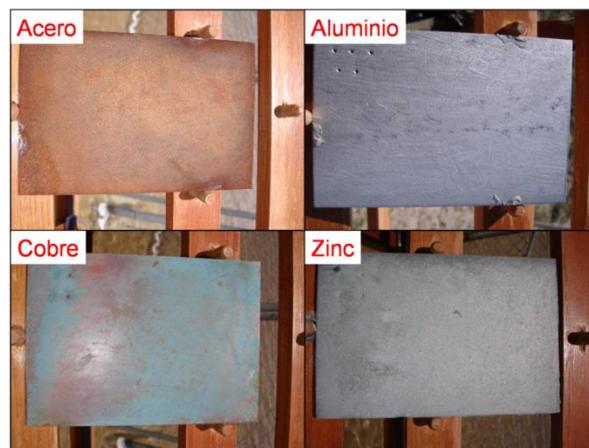


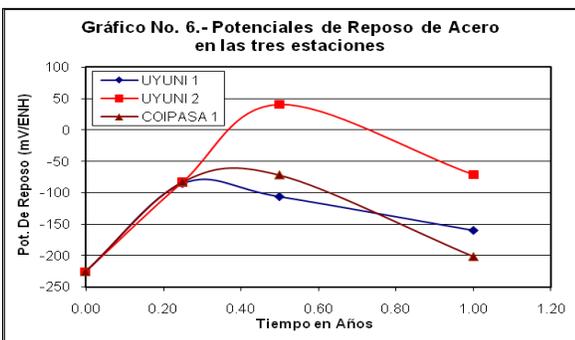
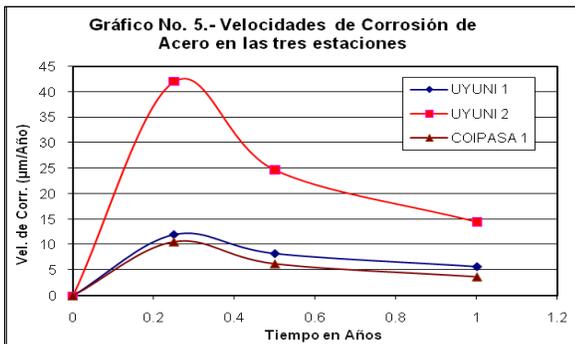
Figura 3. Aspecto superficial de probetas retiradas al primer año de exposición en la Estación Uyuni 2.

Corrosión del Acero

En el gráfico 5, se muestran las curvas ajustadas de velocidad de corrosión de acero en función al tiempo de exposición en las tres estaciones, y los aspectos más relevantes del análisis de éste son los siguientes:

- La velocidad de corrosión en la Estación Uyuni 2, es la más alta (en el orden de 4 veces más que en Uyuni 1 y Coipasa 1), siendo muy similares las registradas en las estaciones Uyuni 1 y Coipasa 1, mostrando claramente la influencia de la mayor cantidad de cloruros.
- Las tres curvas muestran tendencia a menores valores de velocidad de corrosión a partir de los 3 meses de exposición, que podría deberse a procesos de pasivación, inducidos por los productos de corrosión que cambian la coloración superficial.

En el gráfico 6, se muestran los registros de potencial de reposo en función al tiempo de exposición, pudiéndose observar que a partir de aproximadamente 6 meses, la capa de productos de corrosión sería menos resistiva y que la tendencia a la pasivación observada en el gráfico 5, se debería también a la ausencia de precipitaciones, manifestada con una menor humedad relativa y no sólo al mejoramiento del espesor y calidad de la capa de productos de corrosión.

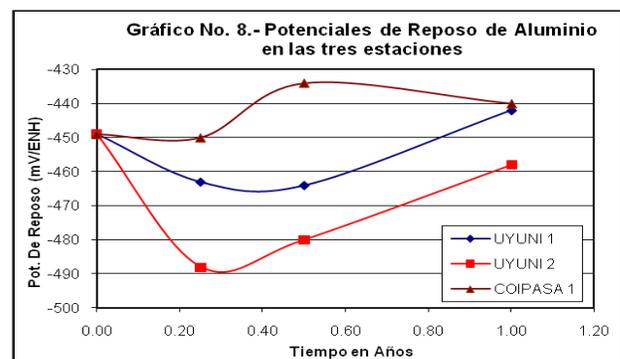
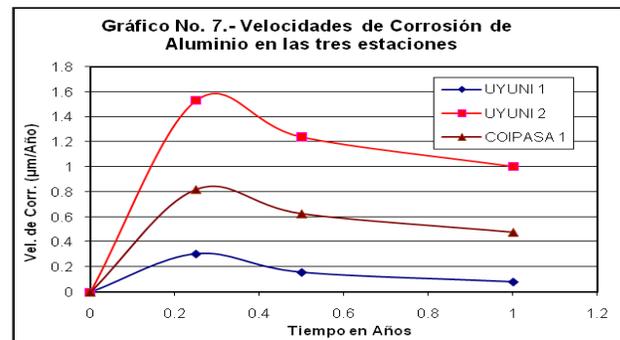


Corrosión del aluminio

Del gráfico 7, el análisis de las curvas correspondientes para probetas de aluminio expuestas en las tres estaciones, da lugar a las siguientes observaciones:

- La velocidad de corrosión en la Estación Uyuni 2, es la más alta (en el orden de 3 y 2 veces más que en Uyuni 1 y Coipasa 1 respectivamente), mostrando claramente la influencia de la mayor cantidad de cloruros en Uyuni 2 y la mayor humectación en Coipasa 1. En el caso del aluminio en cuanto al aspecto superficial, como ya se conoce, sólo el brillo superficial es afectado por la presencia de productos de corrosión, como se puede ver en la figura 3.
- Las tres curvas muestran tendencia a menores valores de velocidad de corrosión a partir de los 3 meses de exposición, que podría deberse a procesos de pasivación.

En el gráfico 8, en los registros de potencial de reposo en función al tiempo de exposición, se puede observar que las tres curvas con diferentes grados de desviación tienden inicialmente a valores más bajos de potencial que el inicial, debido a que la presencia de cloruros inestabiliza los productos de corrosión formados sobre la superficie (por la gran estabilidad de los óxidos de aluminio, inclusive antes de la exposición ya se presenta una capa pasivante), posteriormente a partir de los 3 meses se observa una tendencia a valores de potencial más altos que sólo en el caso de Uyuni 1 y Coipasa 1, sobrepasan el valor inicial. En consecuencia, en ambientes clorurados, es muy difícil conseguir una capa de productos de corrosión sobre aluminio con una estabilidad comparable a la obtenida en otros ambientes, y que la disminución de la velocidad de corrosión observada en el gráfico 7, se debería principalmente a la ausencia de humedad y no a una capa protectora estable.

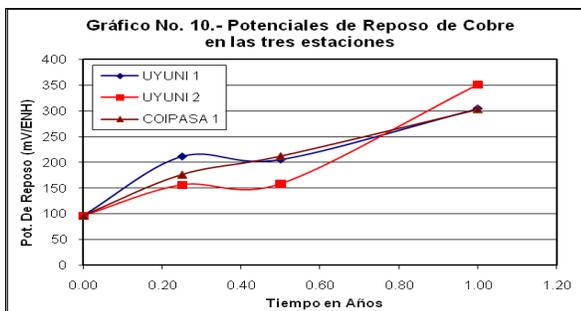
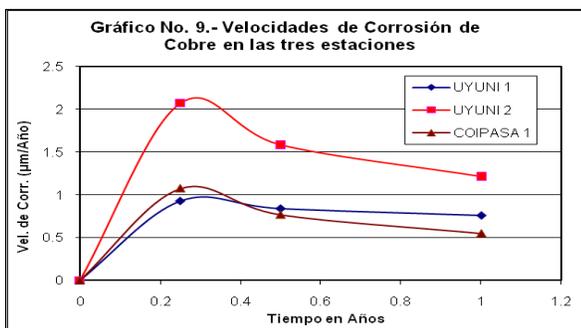


Corrosión del Cobre

Para el caso del cobre, el gráfico 9, muestra las siguientes características:

- La velocidad de corrosión en la Estación Uyuni 2, es la más alta (en el orden de 2 veces más que en Uyuni 1 y Coipasa 1), mostrando nuevamente la influencia de la mayor cantidad de cloruros. La mayor presencia de cloruros queda evidenciada en la figura 3, ya que la superficie del cobre presenta una coloración típica de los productos de corrosión que incluyen cloruros.
- Las tres curvas muestran tendencia a menores valores de velocidad de corrosión a partir de los 3 meses de exposición, que podría deberse a procesos de pasivación.

En el gráfico 10, los registros de potencial de reposo en función al tiempo de exposición, muestran una tendencia a valores más positivos, evidenciando una tendencia clara a la pasivación por la formación de pátinas estables características del cobre y sus aleaciones, no descartándose la contribución de la menor humedad en la disminución de las velocidades de corrosión.



Corrosión del zinc

Del gráfico 11, el análisis de las curvas correspondientes a las probetas de zinc expuestas en las tres estaciones, da lugar a las siguientes observaciones:

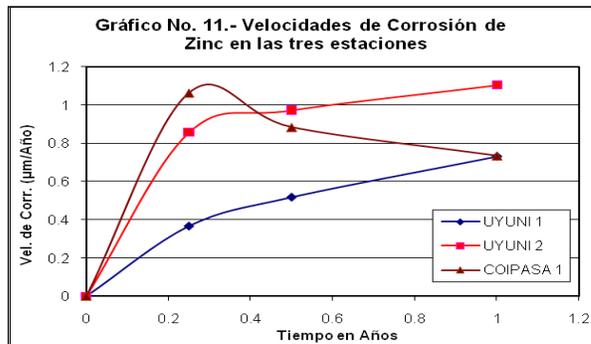
- Las velocidades de corrosión en la Estación Uyuni 2 y Coipasa 1, son más altas que en Uyuni 1, mostrando claramente la influencia de la mayor cantidad de cloruros en Uyuni 2 y la mayor humectación en Coipasa 1. En cuanto al aspecto superficial, la pérdida de brillo fue observada en

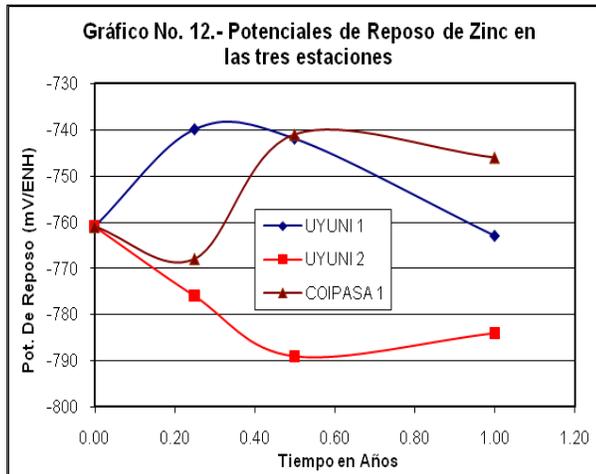
las tres estaciones (figura 3), no habiéndose presentado el blanqueo característico de los productos de corrosión del zinc.

- De las tres curvas, sólo la correspondiente a Coipasa 1 muestra una posible tendencia a menores valores de velocidad de corrosión a partir de los 3 meses de exposición, que podría deberse a procesos de pasivación. El comportamiento en las estaciones Uyuni 1 y 2 es congruente con los valores de n de la ecuación Doble-Logarítmica mayores a 1.

Observando el gráfico 12, los registros de potencial de reposo en función al tiempo de exposición, tomando en consideración que al igual que en el aluminio, antes de la exposición la superficie ya tenía formada una capa de productos de corrosión (probablemente óxidos y carbonatos), es posible mencionar tres comportamientos diferentes:

- La correspondiente a Uyuni 1, muestra inicialmente una tendencia a valores más positivos; sin embargo, a partir de 6 meses aproximadamente pierde su capacidad de pasivación, llegando a valores de potencial de reposo inclusive más bajos que el inicial, mostrando posiblemente un cambio en la composición de los productos de corrosión hacia otros más solubles o conductores.
- La correspondiente a Uyuni 2, presenta todos los valores menores al inicial, mostrando una tendencia a la formación de productos de corrosión conductores o solubles en soluciones cloruradas.
- La curva para Coipasa 1, inicialmente muestra una tendencia a valores más negativos, para luego ascender a valores que inducen a pensar en una calidad de productos de corrosión más protectores que en el caso de Uyuni 1 y 2, probablemente inducido por la estabilización de óxidos y carbonatos de zinc, formados en un ambiente de mayor humedad y menor contenido de cloruros. Por lo que la tendencia a la disminución de velocidades de corrosión mostrada en el gráfico 11, no sólo sería producto de la menor humedad ambiental a mayores tiempos de exposición.





Conclusiones

Producto de la evaluación al primer año, podemos emitir las siguientes conclusiones:

- Las atmósferas en las tres estaciones en estudio tienen características muy similares en el aspecto climático, con una ligera mayor humedad y temperatura en el caso de Coipasa 1. El aspecto ambiental que diferencia a la Estación Uyuni 2, de las otras dos, es la mayor cantidad de cloruros al ser una estación instalada en pleno salar. El nivel de cloruros en las estaciones Uyuni 1 y Coipasa 1, también excede los valores normales al estar muy cercanas a los salares. Los niveles de gases sulfurosos son muy bajos en las tres estaciones, no debiéndose presentar efectos atribuibles a este tipo de contaminación.
- Las velocidades de corrosión más altas en los cuatro metales estudiados se presentaron en la Estación Uyuni 2, congruente con los altos niveles de cloruro. La mayor humedad y temperatura existentes en la Estación Coipasa 1, influyó en una ligera mayor velocidad de corrosión en relación a la Estación Uyuni 1 en algunas etapas de la exposición durante el primer año.
- El comportamiento de los productos de corrosión en relación a su efecto pasivante fue muy variable, mostrando el cobre el mejor comportamiento, luego el acero y finalmente los dos metales usualmente pasivables en medios no clorhídricos (aluminio y zinc), originando productos de corrosión de una alta conductividad o solubilidad.

- Las clasificaciones de corrosividad obtenidas por las dos vías recomendadas por la norma ISO 9223 [3], muestran una clasificación entre C2 y C3 (baja a media), para las Estaciones Uyuni 1 y Coipasa 1 (Llapi y Tauca), y de C3 a C4 (media a alta), para la Estación Uyuni 2 (piscinas).

Agradecimientos

Los autores del presente trabajo desean expresar su agradecimiento a las siguientes instituciones y personas que contribuyeron en el trabajo desarrollado hasta la fecha:

Al Instituto de Investigaciones en Metalurgia y Materiales (IIMETMAT – UMSA), en particular a su Director el Dr. Ing. Rodny Balanza y a todo el personal de apoyo.

A la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos (GNRE-COMIBOL), en especial a su Gerente el Ing. Alberto Echazú, la Ing. Soledad Yanarico y todo el personal de apoyo en Llapi y Tauca.

Referencias y bibliografía

- 1) ISO 4542/81, Revêtements métalliques et autres revêtements non organiques Directives Générales pour les essais de corrosion statique en milieu extérieur.
- 2) ISO 8407, Metals and alloys - Procedures for removal of corrosion products from corrosion test specimens.
- 3) ISO 9223, Corrosion of Metals and Alloys - Corrosivity of Atmospheres. Classification.
- 4) ISO/DIS 9225, Corrosion des métaux et alliages - Corrosivité des atmosphères - Méthodes de mesure de la pollution.
- 5) ROCHA J., VELARDE J., ROZOVIC I. *Informe Final: Evaluación de la agresividad corrosiva de las atmósferas de las ciudades de La Paz y Santa Cruz y evaluación de esquemas de recubrimientos orgánicos (pinturas) en estas atmósferas.* Proyecto IIMETMAT – MONOPOL, Agosto 2004.
- 6) MORCILLO M. *Corrosión y protección de metales en las atmósferas de Iberoamérica. Parte II. Protección Anticorrosiva de Metales en las Atmósferas de Iberoamérica.* Libro sobre los resultados obtenidos dentro el Proyecto PATINA del CYTED. Varios autores, Gráficas Salve- España, 2002.
- 7) ROCHA J. *Evaluación de recubrimientos protectores en las ciudades de La Paz, Cochabamba y Santa Cruz – Caracterización de corrosividad de atmósferas.* Informe Final, Abril 2012, IIMETMAT – UMSA.
- 8) SENAMHI, Información Meteorológica de las ciudades de Santa Cruz y La Paz - Datos Históricos y Específicos para las gestiones 2008 - 2009.