

## PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN POR SALES FUNDIDAS DE UN ACERO AL CARBONO POR ROCIADO TÉRMICO

### Protection against the hot corrosion of carbon steel by thermal spraying

#### RESUMEN

Se evaluó la corrosión por sales fundidas mediante técnicas gravimétricas en un acero al carbono rociado térmicamente con una aleación de acero inoxidable, en una mezcla de sal 20%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  - 80%  $\text{V}_2\text{O}_5$ , entre temperatura de 500 °C-650 °C. Las pruebas gravimétricas mostraron una buena protección de la capa rociada térmicamente y la mayor degradación que sufrió el recubrimiento protector generalmente ocurrió a temperaturas superiores a las temperaturas de fusión de las sales, además la velocidad de corrosión aumenta con la temperatura y disminuye con el tiempo de exposición.

**PALABRAS CLAVES:** Corrosión, sales fundidas, Pentóxido de Vanadio, Pérdida de peso, Sulfato de Sodio.

#### ABSTRACT

*The hot corrosion was evaluated by gravimetric techniques of carbon steel protected by thermal spraying with a stainless alloy, in a mixture of salt 20%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  - 80%  $\text{V}_2\text{O}_5$ , between temperature of 500 °C - 650 °C. The gravimetric tests showed a good protection of the layer thermal spraying. The greater degradation than underwent the protective coating happened generally to temperatures superior to the temperatures of fusion of the salts, in addition the corrosion rate increases with the temperature and diminishes with time of exposure.*

**KEYWORDS:** Corrosion, Mass loss, salts fused, Sodium Sulfate, Vanadium Pentoxide.

#### 1. INTRODUCCIÓN

La corrosión es la degradación de los materiales por el ambiente y puede darse a bajas temperaturas como en soluciones acuosas, "corrosión húmeda", donde el énfasis es la electroquímica y a alta temperatura con reacciones gaseosas "corrosión en seco" donde el énfasis es la difusión en estado sólido y el transporte de carga eléctrica. La velocidad de corrosión depende de las propiedades fisicoquímicas del material, la atmósfera corrosiva en que se encuentra expuesto y los productos de corrosión. En muchos sistemas de ingeniería donde se trabaja a altas temperaturas se presenta el contacto entre el material y la película de sal fundida, generando un aumento considerable en la velocidad de la corrosión sobre los materiales, provocando su deterioro. [5].

El sulfato de sodio  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y el pentóxido de vanadio son las sales más comunes en los depósitos de sales involucradas en la corrosión por sales fundidas, estas sales provienen de combustibles que contienen azufre "S" y vanadio "V" en ambientes que contienen cloruro de sodio "NaCl"; el azufre es la principal impureza de los combustibles fósiles y el sodio es introducido dentro de la combustión por el cloruro de sodio que contiene el aire en ambientes marinos. Durante la quema de combustibles con exceso de oxígeno se forman el  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$  y

Fecha de Recepción: Junio 12 de 2007.

Fecha de Aceptación: Agosto 23 de 2007.

#### JOSE LUDDEY MARULANDA

Ingeniero Metalúrgico, M. Sc.

Profesor Auxiliar

Universidad Tecnológica de Pereira

[jmarulanda@utp.edu.co](mailto:jmarulanda@utp.edu.co)

#### BRAYAN ANDRE POSADA

Estudiante de Ingeniería Mecánica.

Universidad Tecnológica de Pereira

#### DAVID GAMBOA B.

Estudiante de Ingeniería Mecánica.

Universidad Tecnológica de Pereira.

[gam\\_david@hotmail.com](mailto:gam_david@hotmail.com)

$\text{NaVO}_3$ , entre otras, las sustancias que contienen vanadio, son muy dañinas y contribuyen al aumento de la corrosión en los equipos de procesos de combustión.

La tecnología de las capas rociadas térmicamente está recibiendo una creciente atención como "soluciones" a los problemas superficiales de la ingeniería que implican desgaste, corrosión a alta temperatura y acuosa, regulación térmica y degradación. El rociado térmico también se está utilizando cada vez más para fabricar sensores avanzados y materiales para los sectores biomédicos, de energía y ambiental. Éstos y un arsenal extenso de usos que emergen, se están aprovechando de las ventajas, capacidades y rentabilidad de la tecnología del rociado térmico para la reparación industrial. La confiabilidad y la eficiencia de las capas hace necesario que estas capas de recubrimiento estén bien seleccionadas y aplicadas correctamente, para un funcionamiento exitoso.

La utilización de revestimientos sobre componentes o productos metálicos, viene creciendo drásticamente, debido principalmente, a los altos costos de los materiales avanzados y a los crecientes requerimientos de ciclo de vida de los sistemas de alto desempeño. Teniendo en cuenta la variedad de tipos de revestimientos y la complejidad de los factores ambientales, puede

usarse un material económicamente apropiado como sustrato y aplicar un revestimiento adecuado para protegerlo del “ambiente exterior”, donde se empleará el referido material. Esta lógica ha llevado al rápido desarrollo de la tecnología de revestimientos para uso como parte integrante del proyecto en diversas aplicaciones de ingeniería. [15].

## 2. CONTENIDO

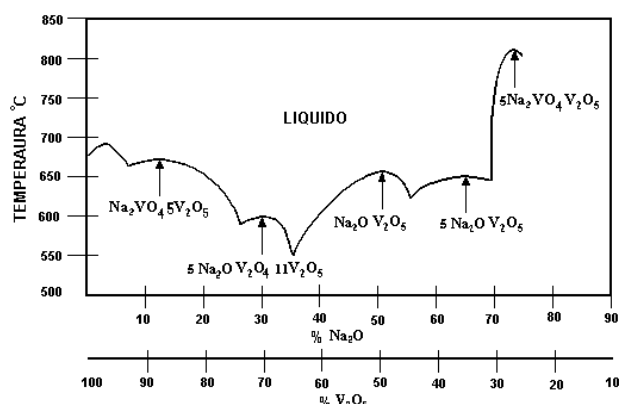
### 2.1. Corrosión por sales fundidas

Las propiedades mecánicas de una pieza de acero están en función de la composición química, del tamaño de grano, del tratamiento térmico y de su sección. Por lo cual, es difícil conseguir que un material combine todas las propiedades necesarias para obtener una pieza que soporte los diferentes tipos de ataque (a altas temperaturas) o desgastes (ya sea por causas mecánicas o causas químicas como son la oxidación y la corrosión a alta temperatura), que se presentan en todos los equipos y herramientas en el ámbito industrial.

La resistencia a la corrosión debido a las sales fundidas puede ser determinada usando técnicas gravimétricas o electroquímicas que posibiliten optimizar la selección de materiales a utilizar en la industria Colombiana. Una de las formas de prevenir la corrosión es la utilización de las aleaciones pulvimetálicas por rociado térmico, que permiten prolongar la vida útil de las piezas vitales de máquinas y equipos. En muchas aplicaciones ingenieriles se producen depósitos “cenizas” que modifican la velocidad de reacción del metal con el ambiente, produciendo baños de sal fundida o películas de sal en contacto con el metal a alta temperatura, debido a esto hay una aceleración de la corrosión que frecuentemente ocurre en el contacto del electrolito de sal fundida con el metal o con su película de óxido protector. Este tipo de ataque se presenta con frecuencia en atmósferas con gases de combustión donde se pueden formar depósitos de  $(\text{Na}, \text{Ca}, \text{Mg})_2 \text{SO}_4$  y a veces cloruros.

Entre los compuestos que forman elementos como el S, Na y V se encuentran algunos con puntos de fusión por debajo de los 550 °C, generando depósitos fundidos muy adherentes que permiten una mayor velocidad de difusión de los elementos nocivos, deteriorando el material de manera acelerada. El fenómeno corrosivo depende exponencialmente de la temperatura de la superficie externa del metal, siendo mínimo el daño hasta 590°C, normal hasta 600 °C, severo hasta 625°C y de carácter catastrófico por encima de esta temperatura. Además, las irregularidades en el mecanismo corrosivo pueden inducir fallas prematuras o fracturas catastróficas a corto tiempo, por esta razón, se debe tener en cuenta la formación de compuestos de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y  $\text{V}_2\text{O}_5$  que originan vanadatos complejos de sodio (eutécticos),

cuyos puntos de fusión son del orden de las temperaturas del metal de los tubos sobre los que se han depositado y/o formado. Ver figura 1. <sup>(7, 12, 13)</sup>



**Figura 1.** Diagrama de fases del sistema  $\text{V}_2\text{O}_5 - \text{Na}_2\text{O}$ . [14].

Numerosos estudios han sido realizados para examinar los mecanismos de la corrosión en caliente inducidos por el  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y muchos de ellos han sido desarrollados por investigadores que han encontrado que la condensación del  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  es necesaria para acelerar la corrosión, además la oxidación de los diferentes elementos en la aleación como Al, Cr, Mo, V, alteran el carácter ácido ó básico del depósito de sal, lo cual aumenta o disminuye la disolución de los óxidos. [7, 9,11].

La mayoría de los componentes de los sistemas de conversión de energía como generadores de vapor y turbinas de combustión, entre otros, requieren trabajar por períodos prolongados de tiempo en ambientes severos, a alta temperatura y bajo esfuerzos. El diseño de tales componentes se basa principalmente en los requerimientos mecánicos, sin embargo, es claro que el mecanismo primordial limitante de su vida operativa es la corrosión, entonces los componentes metálicos del generador de vapor, la turbina, el condensador, los calentadores de agua y demás equipos de centrales eléctricas se encuentran expuestos al efecto de esfuerzos, la temperatura y sustancias corrosivas, que en muchos casos, imponen unas condiciones muy nocivas para los materiales. Actualmente, la tendencia operativa se perfila hacia la obtención de mayor eficiencia, lo que se traduce en mayores presiones y temperaturas de trabajo de las instalaciones, donde se utilizan cada vez y con mayor frecuencia por razones de costo, combustibles con mayor contenido de impurezas.

La corrosión por sales fundidas es el resultado de una acción electroquímica donde participan los gases de combustión y las sales depositadas sobre la superficie metálica que forma una capa de electrolito sólido fundido que a temperaturas elevadas da lugar a severos fenómenos de corrosión. El aumento de la velocidad de corrosión depende de factores como *la composición*

*química del depósito*, que es función del contenido de contaminantes en el combustible y de la calidad de combustión, *el tipo de material empleado en el proceso de fabricación, la temperatura de los gases de combustión y la temperatura de la superficie metálica* que depende del diseño específico del generador de vapor. De estos cuatro factores, los más importantes suelen ser la temperatura en la interfase metal-depósito y el tipo de material empleado, debido a que sobre los otros dos factores se tiene menor posibilidad de control. [1,3,5,14].

### 2.1.1. Mecanismos de corrosión por sales fundidas

La corrosión por sales fundidas ha sido un área activamente investigada, pero no se ha logrado un mecanismo detallado de ataque de cualquier aleación bajo cualquier condición o ambiente, aunque los ensayos de laboratorio y la observación metalográfica han confirmado la existencia de dos procesos distintos de corrosión por sales fundidas, dependiendo de su morfología y cinética de corrosión.

**Corrosión tipo I:** La corrosión por sales fundidas “tipo I”, es observada en el rango de temperatura de 750°C a 950°C, cuando la película de sal condensada esta completamente líquida y con una velocidad máxima de corrosión a 900°C, considerando que el punto de fusión del  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (sulfato de sodio) puro es 884°C.

**Corrosión tipo II:** Esta corrosión ocurre por debajo del punto de fusión del  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  puro. Los estudios hechos para este tipo de corrosión en caliente demuestran que la morfología de los productos de reacción, es caracterizada por un ataque no uniforme en forma de huecos con una pequeña formación de sulfidación cerca de la interfase aleación/capa de oxido y una disminución del Cr-Al en el sustrato de la aleación. La máxima velocidad de corrosión para las aleaciones FeCr se observa cerca a 700°C, este resultado fue interpretado por el mecanismo de disolución/precipitación.

### 2.2. Rociado térmico

El rociado térmico tiende a prolongar la vida útil de los bienes, al obtener un rendimiento aceptable de los mismos durante más tiempo y a reducir el número de fallas. Este proceso aumenta las propiedades finales de la pieza dándole una mayor solidez, conductividad, resistencia a la corrosión o disminuyendo costos, que los de un metal o aleación uniforme. Un ejemplo son los componentes aeronáuticos que pueden tener una capa gruesa de aleación de aluminio, muy resistente en el centro y una delgada capa exterior de aluminio puro para protegerlos de la corrosión.

En el caso de las calderas se podría aumentar la eficiencia térmica del quemado de combustibles aumentando la velocidad de calentamiento mejorando la

resistencia a la corrosión y disminuyendo la pérdida de calor debida al aislamiento de la capa de óxido que se forma en las superficies lo que conlleva a disminuir costos de operación y mantenimiento.

Los revestimientos rociados térmicamente son formados por depósitos de sucesivas capas de gólicas líquidas (millones de partículas por  $\text{cm}^2/\text{sec}$ ) que se aplanan y solidifican, resultando una macroestructura conocida como lenticular o laminar, debido al impacto de las partículas calentadas y aceleradas sobre el sustrato, estas se aplanan en forma de pequeñas lentes. A lo que inciden sobre el sustrato, esas pequeñas gólicas en forma de lentes se enfrían a velocidades extremadamente altas y se anclan mecánicamente en las irregularidades de la superficie. La estructura típica de revestimientos rociados térmicamente es la unión cohesiva consolidada de láminas del material rociado, entremezclada con inclusiones de óxidos, microgrietas, partículas sólidas y porosidad. La Figura 2. Se observa de manera esquemática, la estructura típica de un revestimiento rociado térmicamente.

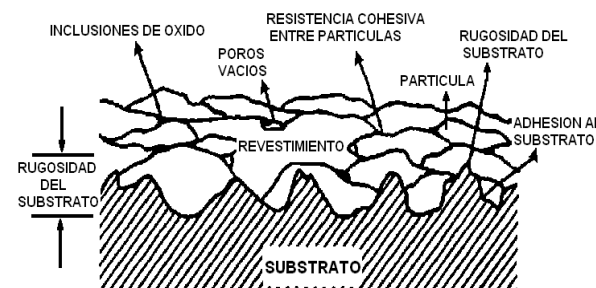


Figura 2. Estructura típica de un revestimiento rociado térmicamente. [15]

Las aleaciones pulvimetalúrgicas para rociado térmico se usan para prolongar la vida útil de las piezas vitales de máquinas y equipos. La combinación de una tecnología avanzada de pulvimetalurgia y otra de rociado con metal fundido, provee a las industrias de todos los tipos uno de los medios más eficaces que hayan desarrollado para combatir el desgaste prematuro. Cada aleación de metales en polvo es un compuesto especializado que permite lograr altos niveles de rendimiento. El tamaño controlado de las partículas de cada aleación asegura una alta eficiencia de rociado. Los beneficios en productividad que se derivan de las aleaciones micro pulverizadas están en proporción directa con los procedimientos de control que se siguen durante la mezcla elaboración de las aleaciones. Mientras mayor sea el número de criterios de evaluación, más confiable y predecible será el rendimiento. [15].

El rociado térmico por combustión consiste en efectuar un rociado de partículas sobre un metal preparado mecánicamente a una temperatura menor de 250°C. El rociado se efectúa mediante un sistema de proyección que tiene generalmente como fuente de energía, Oxígeno

y acetileno, produciendo estos una combustión que generará la mayor cantidad de calor posible, utilizando aleaciones micropulverizadas o en forma de alambre. Algunos sistemas requieren adicionalmente aire comprimido para impulsar la aleación micropulverizada. La temperatura de la llama es de aproximadamente 3100 °C y la aleación en polvo se inyecta a temperatura ambiente, en donde la aleación micropulverizada y la llama acetilénica tienen la misma trayectoria, lo que da origen a una transferencia de calor de la llama a la partícula, por lo tanto, la partícula es calentada y elevada sucesivamente su temperatura hasta plastificarla, en algunos casos, la partícula permanecerá el tiempo suficiente en la llama como para ser fundida.

Además de elevar el nivel de energía térmica de la partícula, dicha partícula es fuertemente acelerada por la expansión de los gases de combustión, por lo que también experimenta un fuerte incremento en términos de energía cinética. Este haz de partículas plastificadas y/o fundidas que tienen altas velocidades, impactan sobre la superficie de la pieza ante lo cual. Las partículas se deforman, adaptándose a la rugosidad con que previamente se ha preparado la pieza y por lo tanto se entran mecánicamente. En muchos casos poseen suficiente energía tanto térmica como cinética, para producir una difusión metalúrgica con el metal base, produciéndose a lo largo de la interfase metal base-recubrimiento, una red continua de micro soldaduras.

La adhesión de los recubrimientos por rociado térmico, es atribuible al entramamiento mecánico de las partículas y a una difusión localizada. Es posible por lo tanto definir el grado de adherencia en función de los valores “Q” calor y “Vp” Velocidad de partícula, de cada sistema de rociado térmico. La eficiencia de la transferencia del calor de la llama a la partícula dependerá del tamaño y la forma de esta. Un tiempo demasiado largo implicará excesiva transferencia de calor, oxidándose las partículas, las cuales serán depositadas en forma de óxidos, tanto el tamaño como la forma de la partícula son variables que pueden ser controladas mediante el proceso de fabricación adecuado y constituyen los parámetros más importantes que determinan la calidad de una aleación micropulverizada. Los factores que afectan la capa de rociado térmico son la limpieza, área superficial, perfil superficial (Rugosidad), temperatura (Energía térmica), tiempo de permanencia y la velocidad de las partículas (energía cinética).

En la década de los 50 el rociado térmico logró afianzarse y ser aceptado industrialmente, ya que fue posible fabricar aleaciones micropulverizadas con granulometría y formas consistentes, minimizando así los defectos propios de distribuciones de tamaño de partícula y geometría no adecuadas. La combinación de una avanzada tecnología de pulvimetalurgia y otra de rociado con metal fundido, provee a las industrias los medios más eficaces para combatir el desgaste prematuro y la

corrosión, al adelantarse a la falla o al momento en que el equipo o elemento deja de trabajar en sus condiciones óptimas. De esta forma se optimiza la disponibilidad del equipo, se disminuye costos de mantenimiento y se maximiza la vida útil de los equipos y la maquinaria.

### 2.2.1. Revestimientos en polvo fusibles o auto fusibles

La aplicación de revestimientos de aleaciones autofusibles es una variación del rociado térmico por llama con polvos, en la cual los materiales autofusibles, cuentan con elementos que reaccionan con oxígeno u óxidos para formar óxidos de baja densidad que flotan sobre la superficie, mejorando la densidad y la adherencia. Estos materiales tienen relativamente bajos puntos de fusión y requieren tratamiento térmico después de la aspersión. En general estas aleaciones, tienen adiciones de boro, fósforo o silicio que funcionan como agentes fusibles que bajan el punto de fusión. Estas aleaciones autofusibles tienen amplios rangos de fusión y exhiben un comportamiento bien viscoso en su estado parcialmente fundido. El control apropiado del aporte de calor y tiempo durante la fusión es crítico, pudiendo surgir problemas como grietas debido a la diferencia de expansión térmica, contracción, vacíos, distorsión y disolución del metal base.

En el proceso de rociado térmico por llama en dos etapas (Aspersión y fusión) de revestimientos autofusibles, el primer paso es la deposición por aspersión del polvo en el lugar, durante la aspersión, el polvo alcanza su temperatura de fusión, ablandándose y se deformándose antes del impacto, pero el revestimiento aun permanece con un alto grado de vacíos interpartículas, un segundo paso es la fusión del revestimiento con llama, para densificar el revestimiento eliminando la mayoría de los poros. El mojado y coalescencia son realizados a través de la fusión de los óxidos en el polvo y en la superficie del sustrato. La fusión es requerida como un postratamiento en el rociado térmico con la mayoría de las aleaciones autofusibles. Este proceso está limitado a la geometría de la pieza, debido esencialmente a la necesidad de producir una fusión superficial a una temperatura entre 950 y 1050 °C. En la fusión el depósito del revestimiento rociado es calentado hasta que la superficie alcanza una apariencia altamente reflexiva y vítrea. Esto proporciona una combinación óptima de fusión de la partícula y cierre de vacíos.

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los ensayos de corrosión se realizaron en hornos eléctricos, con un control de la temperatura de  $\pm 5^\circ\text{C}$ . Se utilizaron crisoles de porcelana y el agente corrosivo fue una mezcla de sal (80%  $\text{V}_2\text{O}_5$ –20%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Estas sales cubrieron totalmente las probetas. Los resultados de las diversas pruebas corrosivas realizadas se observan en las figuras 3,4, 5 y6. En estas se observa el alto poder corrosivo de las sales fundidas, estas velocidades de

corrosión fueron medidas por medio de la técnica de perdida de peso, según la norma ASTM G 01. Estas pruebas fueron realizadas en un acero de bajo carbono y en el acero de bajo carbono recubierto con una aleación inoxidable fusible tipo austenítica, la cual se aplico por medio de rociado térmico según la técnica de aspersión y fusión.

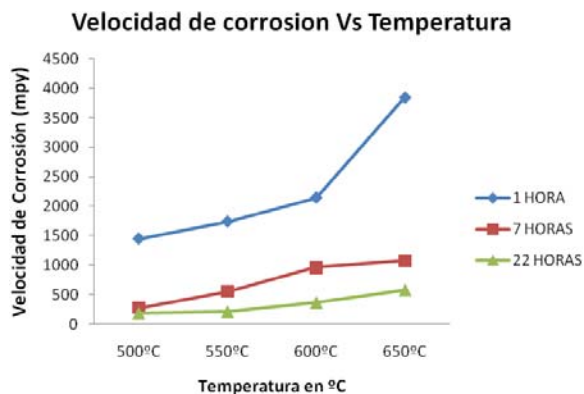


Figura 3. Velocidad de corrosión del acero recubierto.

En la Figura 3. Se observa que al aumentar la temperatura la velocidad de corrosión se acelera y este cambio es mas marcado cuando se pasa de 600°C a 650°C, por esto, la temperatura es un factor muy importante en la degradación del material ya que fluidifica el electrolito y acelera el ataque corrosivo del material, esto debido a la formación de ciertos vanadatos complejos de sodio (eutécticos) que disuelven la capa de óxido y aceleran el ataque, debido al aumento de la concentración de los oxidantes activos y su difusividad. Además, como la corrosión se activa térmicamente, esto también se refleja en el aumento de la velocidad de ataque. Por otro lado, se observó que hay una corrosión uniforme sobre el metal, por la inspección visual antes y después de la limpieza química. Esta corrosión uniforme puede darse por la presencia de una capa de oxido protector y la ausencia de celdas de concentración por diferencia de oxigeno en las caras de la probetas.

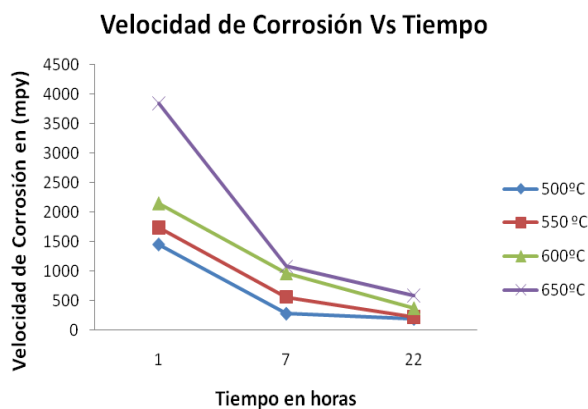


Figura 4. Velocidad de corrosión a diferentes tiempos de exposición del acero recubierto.

En la Figura 4, se observa como la velocidad de corrosión disminuye con el paso del tiempo y tiende a estabilizarse a una velocidad de corrosión mas baja, si se realiza una extrapolación de los datos se podría decir que la velocidad de corrosión se estabiliza después de 48 horas aproximadamente. También se puede observar como el ataque inicial es alto y a medida que se genera la capa de oxido este disminuye la velocidad de corrosión, por el aislamiento del metal base de las sales corrosivas, aunque la velocidad de corrosión es alta, lo que indica que la sales fundidas pueden disolver la capa de oxido y continuar el ataque del metal base, además entre mas tiempo de ataque, este es mas uniforme y lento, debido a que la capa de oxido es muy adherente al metal base.

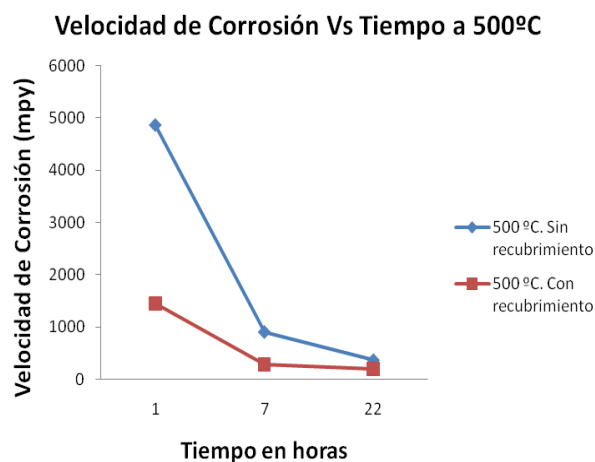


Figura 5. Velocidades de corrosión de un acero recubierto y otro sin recubrir a 500°C.

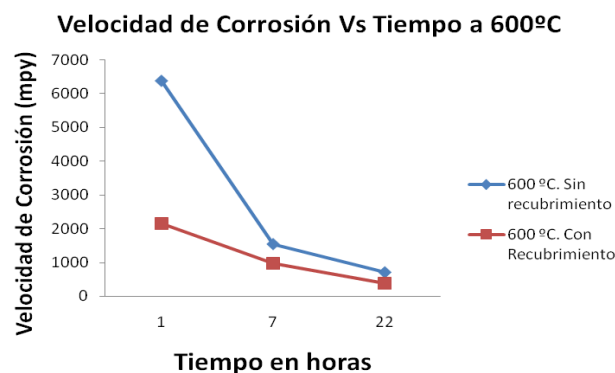


Figura 6. Velocidades de corrosión de un acero recubierto y otro sin recubrir a 600°C.

En las Figuras 5 y 6, se observa la protección del recubrimiento frente al mismo acero sin recubrir y se ve claramente que la velocidad de corrosión disminuye. Esto indica que el ataque corrosivo depende de la naturaleza de la capa de oxido que se forma en la superficie, de los componentes formados por la aleación y los constituyentes de las sales.

#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La velocidad de corrosión de las sales se incrementa con el aumento de la temperatura y este es más marcado después de los 600°C, debido a la fusión de ciertos vanadatos de sodio que tienen puntos de fusión bajos lo que incrementa el ataque corrosivo.
- El recubrimiento proyectado forma una capa protectora que reduce la velocidad de corrosión, pero no es inmune al ataque corrosivo, por tal motivo no es muy recomendado como sistema de protección contra este fenómeno corrosivo.
- Las probetas recubiertas presentaron un tipo de ataque uniforme y óxido adherente al metal base, este ataque corrosivo se incrementa con la temperatura pero disminuye con el tiempo de exposición.
- El ataque corrosivo disminuye con el paso del tiempo y tiende a estabilizarse a una velocidad de corrosión más baja que la inicial.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Rapp, Robert A. Hot corrosion of metal by molten salts. *Electrochem.soc.* 1981. Pág.159-177.
- [2]. FARELL, D.M., COX, W. H, STOTT, F.H., Electrochemical monitoring of high temperature corrosion processes. *High temperature technology.* Febrero 1985.
- [3]. CHONG, O. Park and RAPP, Robert A. Electrochemical reaction in molten  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  at 900°C. *J Electrochemical. Soc.* Pág.1636-1641, Agosto 1986.
- [4]. Carrascos, J.L.; Adeva, P.; Aballe, M.; Oxidación y corrosión a alta temperatura de aleaciones de base níquel. Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas. Madrid. Vol 20. 1989. Pág 35-39.
- [5]. WONG Moreno, Adriana. Investigación sobre la corrosividad a alta temperatura de depósitos de cenizas de aceite residual de petróleo con altos contenidos de Na, S y V. Publicado En Las Memorias Del X International conference in materials technology. Abril 17-21/1989.
- [6]. FARELL, D.M.; STACK, M.; HLADKY, K.; STOTT, F.H. Electrochemical aspects of high temperature corrosion reaction. Investigación No Publicada. Octubre 1990.
- [7]. NOBUO, Ot Suka And RAPP, Robert A.. Hot corrosion of Preoxidized Ni by a thin fused  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  film. *J Electrochem. SOC.* Vol. 137. Pág. 46-52, Enero 1990.
- [8]. RAPP, Robert A.; ZHANG, Y.S. Hot corrosion of materials. Fundamental studies. *JOM.* Pág. 47-55, Diciembre 1994.
- [9]. ZHENG, Xuejin; RAPP, Robert A. Electrochemical impedance study of platinum electrode un fused  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – 10 mole percent  $\text{NaVO}_3$  melts. *J Electrochem. Soc.* Vol. 142. Pág. 142-148, Enero 1995.
- [10]. PORCAYO, Calderón, J. Protección contra corrosión a alta temperatura por medio de recubrimiento base silicio aplicadas por proyección térmica. *Corrosion Science.* Año 1995.
- [11]. MARTINEZ Villafañe A, ALMERAYA Calderon, PORCAYO Calderon, J. High temperature degradation and protection of ferritic and austenitic steels in steam generators. *Journal of materials engineering and performance.* Pág. 108-113, Febrero 1998.
- [12]. ALMERAYA, A. MARTINAZ, Villafañe, GAONA, M. A. Corrosión por depósitos salinos de los aceros SA 213-T22 y SA 213-TP347H en presencia de una mezcla 80%  $\text{V}_2\text{O}_5$  – 20%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Investigación No Publicada.1998.
- [13]. BAEZ, S. TRISTANCHO, J. PEÑA, D. VAZQUEZ, C. La espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS) aplicada al estudio del mecanismo de la corrosión en caliente por sales fundidas. *Dyna,* año/Vol. 71, Noviembre 2004. Pág 39-47.
- [14]. MARULANDA, JOSE. Evaluación de la corrosión por sales fundidas mediante técnicas electroquímicas del acero 2¼ Cr – 1 Mo usado en calderas. *Scientia et Technica.* Año XIII - Número 34 - Mayo de 2007.
- [15]. MARULANDA, JOSE. Protección contra la corrosión por medio del rociado térmico. *Scientia et Technica.* Año XIII - Número 34 - Mayo de 2007.