

## Información Técnica Referente al Muestreo con Cupones

**Por A. S. Krisher, Presidente de ASK Associates.**  
ASK Associates, St. Louis, Missouri (314)576-7712

### **PRUEBAS DE CORROSIÓN, PORQUÉ?**

Estas pruebas son hechas por numerosas razones, algunas de las cuales son:

1. Proveer una vista interna de los mecanismos de la corrosión.
2. Comparar la resistencia de una aleación con respecto a otra bajo condiciones estándar.
3. Como pruebas de control de calidad para una determinada aleación.
4. Para proveer las bases para determinar la vida estimada de servicio de un equipo del proceso.

La discusión siguiente relata primeramente la razón número 4, sin embargo los mismos principios aplican en pruebas para otros propósitos.

### **REQUERIMIENTOS GENERALES PARA PRUEBAS CON CUPONES:**

Hay un número de requerimientos para una buena práctica que aplican a las pruebas con cupones:

1. Los historiales químicos y del proceso del material en el cupón deben ser conocidos.
2. El cupón debe estar positivamente identificado, usualmente por números codificados grabados en el espécimen.
3. Los datos acerca de la prueba a un cupón específico debe estar registrado en un libro de registros permanente. Los ítems que deben ser registrados son la información detallada en el cupón (química, propiedades químicas y mecánicas, e historia del proceso), dimensiones del cupón, peso inicial del mismo, y condición inicial de la superficie y tiempo de exposición también debe quedar registrado.

### **TIPO DE PRUEBAS**

Los valiosos datos en la estimación de la vida útil de servicio de una parte del equipo del proceso pueden ser generados de varias maneras:

**1.- Experiencia Operacional:** La información más confiable es generada por la experiencia operacional actual, con equipos similares en condiciones idénticas de servicio. En un sentido, el equipo es usado como un cupón grande, complejo y caro. Este es un método de pruebas lento y costoso, especialmente cuando los datos en muchos materiales son requeridos.



**2.- Equipos Modelo:** Instalados paralelo al equipo actual o en operaciones en pequeñas escalas, que pueden generar información casi tan confiable como la del equipo a escala completa. Se debe tener cuidado en que las variables importantes hayan sido adecuadamente simuladas.

**3.- Cupones – Campo:** Los cupones expuestos en equipos operacionales son ampliamente usados. Se debe tener mucho cuidado en la instalación de los cupones para que estos estén expuestos a las condiciones corrosivas de interés.

**4.- Cupones – Laboratorio:** Los cupones expuestos en soluciones de laboratorio similares a las operaciones de planta, o soluciones sintéticas menos confiables que aproximan la química de la corriente de la planta, generan información útil si las pruebas son diseñadas y conducidas adecuadamente. Dichas pruebas permiten estudiar los efectos de los cambios de la química del proceso sobre la corrosión.

**5.- Métodos de Prueba Instrumental:** Métodos avanzados, incluyendo monitoreos basados en resistencia eléctrica y polarización lineal, son adiciones valiosas para los métodos de pruebas de corrosión. Estos pueden generar un registro continuo de la rata de corrosión. También pueden ser usados para ver dentro de los mecanismos de la corrosión.

## CONDICIÓN SUPERFICIAL DE LOS CUPONES:

La condición de la superficie de los cupones es un tema de debate sustancial. Un tanque típico, como instalado en la planta tendrá grandes áreas de superficie en las condiciones originales, áreas pequeñas, estarán afectadas por el calor y soldaduras, y otras áreas habrán sido enterradas durante el proceso de fabricación. Es posible reproducir todas estas condiciones en un cupón. Sin embargo, en el interés de la simplicidad y consistencia, es común manejar cupones con superficies planas, dejando las superficies estándar definidas por el tamaño gradiente del medio esmerilador. Un ejemplo sería el “acabado 120 grit”, alcanzado realizando un esmerilado con una correa de 120 grit. Esto deja una superficie plana con ralladuras claramente identificables, todas en una dirección consistente. Cualquier desviación de esta superficie estándar inicial es atribuible a las condiciones de exposición en el medio ambiente. Cualquier efecto en la corrosión sería debido al acabado inicial, o el acabado en la zona donde se ha aplicado el calor o soldado, o enterrado, sería muy temporal en un sistema corrosivo.

También es importante resaltar que si la condición de la superficie presenta una resistencia a la corrosión desmejorada con respecto al metal sin esta condición superficial, esta situación tendría una confiabilidad cuestionable en el sistema operacional. Cuando la condición de la superficie es deteriorada mecánica o químicamente, la resistencia a la corrosión se revertirá a aquel metal con la superficie sin tratamiento.

## **MONTAJE DEL CUPÓN**

Los cupones deberían estar montados de tal manera que estén seguramente fijados y eléctricamente aislados de todo contacto con otros metales (a menos que el propósito sea estudiar la corrosión galvánica). Los materiales de montaje y los materiales de aislamiento deben ser seleccionados para ser resistentes totalmente al ambiente. Una falla en cualquiera de estos componentes, llevaría a la pérdida de datos o la pérdida del aislamiento eléctrico.

## **TIEMPO DE PRUEBAS**

En términos generales, las pruebas de corrosión deben durar como mínimo una semana. En muchos casos, sería recomendable y deseable evaluar el efecto del tiempo de exposición que puede ser hecho por medio de pruebas de intervalos controlados.

## **LA ECONOMÍA DE LAS PRUEBAS DE CORROSIÓN**

Las pruebas de corrosión no son económicas. Más específicamente, los materiales para pruebas de campo con 10 cupones debería costar alrededor de \$ 150 con un material 316 o \$250 con un material Hastelloy C-276. Si una prueba de campo programada requiere 10 de estas pruebas, el costo total sería de \$1500 a \$2500 más los costos directos (montaje, instalación y remoción, grabación, evaluación, reportes, etc). Estos costos deben ser evaluados en término de los beneficios derivados de la información generada por las pruebas.

En los procesos de la industria actuales, los costos directos del mantenimiento asociados a las fallas prematuras por corrosión usualmente oscilan, como mínimo, en los \$10.000 americanos y frecuentemente cientos de miles. Las pérdidas de negocios asociados a estas fallas pueden ser fácilmente diez veces los costos directos del mantenimiento. Considerando esto, parece evidente que los gastos en las pruebas de corrosión con cupones pueden ser fácilmente justificados.

## EVALUACIÓN DE LOS CUPONES DESPUÉS DE LA EXPOSICIÓN

Al final de las pruebas, las observaciones en el cupón antes de ser limpiado deben ser registradas (es recomendado que se haga fotográficamente). Las muestras son limpiadas por varios medios (detallados en las especificaciones apropiadas) para remover todos los depósitos y productos de la corrosión del metal. Después de la limpieza, el cupón es pesado nuevamente y la rata de corrosión es calculada por la pérdida de peso:

$$\text{RatadeCorrosion} = \frac{\text{PerdidaDePeso}(g) \times K}{\text{DensidaddeMetal}(g/cm^3) \times \text{AreadelMetal}(A) \times \text{Tiemposexposición}(hr)}$$

La constante puede variar al calcular la rata de corrosión en varias unidades

Note que estos cálculos son hechos en base a una rata promedio, asumiendo que las pérdidas de metal son perfectamente uniformes en toda la superficie. Examine los cupones bajo un zoom de bajo poder y grabe cualquier evidencia de ataques localizados. Cualquier tipo de alteración por corrosión debe ser observada. La profundidad de penetración en ataques localizados debe ser determinada por medios de exámenes microscópicos o exámenes metalográficos.

Unidad Deseada	K- FACTOR DE CONVERSIÓN
Mils/año (mpy) (A=pulg <sup>2</sup> )	5,34 x 10 <sup>5</sup>
Mils/año (mpy) (A=cm <sup>2</sup> )	3,45 x 10 <sup>6</sup>
Milímetros/año (mmy) (A=cm <sup>2</sup> )	8,76 x 10 <sup>4</sup>
Pulg/año (ipy) (A=cm <sup>2</sup> )	3,45 x 10 <sup>3</sup>
Pulg/mes (ipm) (A=cm <sup>2</sup> )	2,87 x 10 <sup>2</sup>

## **VENTAJAS DE LAS PRUEBAS DE CUPONES**

Las pruebas de cupones son bajas en costos, simples de realizar y permiten la evaluación simultánea de numerosos efectos y las variaciones en un solo material. Las variaciones químicas y metalúrgicas de las aleaciones (ej. Efecto de tratamientos con calor, micro estructura, soldado, etc) pueden ser consideradas. Las pruebas con cupones son fácilmente adaptables para evaluar tipos específicos de corrosión, como la galvánica.

## **SUMARIO**

Las pruebas con cupones siguen siendo una herramienta poderosa en el kit de herramientas para la corrosión. El uso inteligente y sistemático de esta herramienta provee datos que brindan información al ingeniero experimentado información para hacer predicciones confiables en las aplicaciones de campo.

## **PARA INDAGAR MÁS PROFUNDAMENTE**

- Aquí se presenta una larga lista de literatura relacionada a las pruebas de corrosión con cupones. Estas referencias les servirán como una introducción útil:
- 1.- AILOR, W.H. Ed. Handbook on Corrosion Testing and Evaluation. J. Wiley, 1971.
  - 2.- ASTM G1-81.
  - 3.- ASTM G4-84.
  - 4.- ASTM G-30.
  - 5.- ASTM G31-72.
  - 6.- ASTM G46-76.
  - 7.- ASTM G-58.
  - 8.- ASTM G78-8



**Por John E. Orth de Metal Samples Company,**

Los cupones de corrosión son un método económico y efectivo para monitorear la rata de corrosión en cualquier sistema o estructura. Sin embargo, obtener resultados significativos con estas pruebas no siempre es una tarea sencilla como medir las pérdidas de peso y calcular la rata de corrosión uniforme. El acabado de la superficie, la ubicación del cupón y la duración de la prueba, afectan significativamente la calibración de sus datos. Lo siguiente está diseñado para ser un repaso de las pruebas con cupones de corrosión y de cómo obtener los datos más confiables.

Las pruebas con cupones de corrosión son una técnica de monitoreo en línea; los cupones son ubicados directamente en la corriente del proceso y extraídos para mediciones. Esta técnica de monitoreo provee una medición directa de la pérdida de metal que le permite calcular la tasa de corrosión general. Además, cuando se usan cupones de corrosión, sus resultados no dependen de la fase del ambiente en la que se realizan las mediciones.

## **BENEFICIOS DE LAS PRUEBAS CON CUPONES DE CORROSIÓN**

- ✓ Es un principio simple y directo.
- ✓ Provee especímenes para exámenes de laboratorio posteriores.
- ✓ Permite la comparación entre las diferentes aleaciones e inhibidores.
- ✓ Mide todas las formas de corrosión.
- ✓ Bajo Costo.

Los cupones de corrosión son frecuentemente usados para investigar la corrosión general y determinar la tasa de corrosión basada en las pérdidas de peso del cupón. Sin embargo, varias otras formas de corrosión pueden ser examinadas con estos cupones:

- ✓ Corrosión de agrietaduras: Arandelas o espaciadores especiales están disponibles para simular grietas donde la superficie del cupón se encuentra parcialmente bloqueada del líquido.
- ✓ Picaduras: Este tipo de ataque puede ser evaluado con exámenes visuales o con microscopio del cupón. Use cupones con superficies grandes, ya que el número de picaduras es proporcional al área de superficie del espécimen.



- ✓ Corrosión Galvánica: Los cupones de diferentes aleaciones pueden ser ubicados en contactos eléctricos.
- ✓ Susceptibilidad a la corrosión de rupturas por esfuerzos: Cupones especiales como los C-rings y U-bends están disponibles para investigar la ocurrencia de esta forma de corrosión.
- ✓ Incrustación: Son cupones especiales con perforaciones de varios diámetros que son usados para determinar visualmente la extensión y severidad de problemas de incrustación.

## LIMITACIONES DE LAS PRUEBAS CON CUPONES DE CORROSIÓN

- ✓ Miden solo la tasa de corrosión promedio durante el tiempo de exposición.
- ✓ Las tasas de corrosión solo pueden ser calculadas después de la remoción del cupón.
- ✓ Periodos cortos de exposición pueden llevar a tasas de corrosión no representativas, especialmente para aleaciones que forman películas pasivas, como el acero inoxidable. Los periodos de exposición normales frecuentemente se aproximan a 90 días. Por ejemplo, la ASTM G31 recomienda un tiempo mínimo de exposición, en horas, como:

$$\text{TiempoDeExposición(horas)} = \frac{2000}{\text{TasaDeCorrosiónEsperada}}$$

Por lo tanto, si la tasa de corrosión de un mil por año (pulg) es esperada, el tiempo de exposición mínimo recomendado sería de 2000 hrs o 83 1/3 días.

## SELECCIÓN DE CUPONES Y LOCALIZACIÓN

Seleccionar la aleación correcta a usar como su cupón de corrosión es el paso más importante en este proceso. Si está relacionado con la tasa general de corrosión general de algún sistema o estructura, designe un material que sea idéntico, o lo más parecido posible al material de la construcción.



Por ejemplo, seleccione cupones de aceros medios (UNS G10100 o G10200) para uso en la mayoría de las torres de enfriamiento, y cupones de cobre (UNS C11000 o C12200) para servicios en intercambiadores de calor de cobre. Si no está seguro del material de la construcción, consulte a su proveedor. Además, duplique los especímenes de pruebas para validar sus resultados.

Para obtener los resultados más significativos, el acabado de la superficie y las condiciones de dureza del cupón deberían ser idénticos a las de la estructura de interés. Esto es usualmente imposible, ya que es difícil duplicar la escala mill y los tratamientos de calor de estructuras grandes en cupones individuales. La mejor recomendación es que sea consistente en sus pruebas y determine el acabado específico de la superficie, como de 120 grit o glass beaded.

Los contaminantes de la preparación de la superficie también pueden afectar la exactitud de sus resultados. Muchos cupones son pulidos en óxido de aluminio o con papel abrasivo silicón carbide. Durante la pulitura, estas partículas pueden adherirse a la superficie del cupón, modificando la química de la superficie. Una técnica de acabado que emplea un torno que genera un acabado con una piedra vitrificada, como pulidores de doble disco, minimiza la contaminación de la superficie del cupón. Frecuentemente, los cupones son blasteados con arena o vidrio durante el acabado. El material del blasteo penetra en la superficie y permanece adherido al cupón. Esto se nota especialmente en los metales suaves como el aluminio y el cobre. El Glass evades es preferido porque este reduce los daños en la superficie; este es menos abrasivo que el sand blasteado.

La localización del cupón en el proceso frecuentemente determina el tamaño y la forma del mismo. Obviamente, si el cupón debe ser insertado en el proceso a través de una válvula de paso completo de 1", el ancho del cupón deberá ser menor de 1". Los "racks" de prueba permiten pruebas simultáneas con varios cupones. Debe estar seguro de que este instrumento sea insertado o retraído en el momento justo. Confirme que estas barras (racks) y los tubos de inserción sean resistentes a los ataques corrosivos del ambiente muestreado. Además, para eliminar cualquier efecto galvánico, verifique que los cupones se encuentren aislados eléctricamente del rack de pruebas. Si estos racks de pruebas se rompen o existe una pérdida de cupones, se puede generar destrucción de bombas, mezcladores y tanques.

Por ejemplo, considere un cupón que, por cualquier razón, se ha soltado de su portacupón. El cupón cae al fondo de la tubería o del tanque. La corrosión galvánica en algunos sitios puede ser creada, dando como resultado el ataque rápido corrosivo a la tubería o al tanque. El comportamiento de la corrosión de muchas aleaciones depende significativamente de la presencia de oxígeno disuelto. Ubique los cupones de corrosión en lugares que son representativos del grado de aire normalmente encontrado en el ambiente de interés.

La acumulación de productos de la corrosión en los cupones de prueba, ya sea de un equipo corroído de planta o de otros cupones, puede influenciar adversamente los resultados. Por ejemplo, la presencia de iones cúpricos en la solución, resultante de la corrosión de intercambiadores de calor, elevará la resistencia de la corrosión de los cupones de acero inoxidable.

Guías adicionales para seleccionar la geometría de los cupones y localizaciones están detalladas en la Norma ASTM G4-84<sup>3</sup>.

## INSPECCIONES POST EXPOSICIÓN

Los cupones de prueba deben ser enjuagados con agua destilada o algún solvente, secado con aire y ubicado en una bolsa sellada. Las bolsas plásticas tratadas con inhibidores de corrosión por vapor son útiles. Pesen el cupón limpio. Los procedimientos específicos para limpieza y pesado están resaltados en la Norma ASTM G-1<sup>4</sup>. La fórmula para calcular la tasa de corrosión en mil por año es:

$$\text{TasaDeCorrosión}(mpy) = \frac{534 \times W}{D \times A \times T}$$

Donde W es la pérdida de peso en miligramos, D es la densidad del cupón en gramos/cm<sup>3</sup>, A es el área expuesta en pulgadas<sup>2</sup> y T es el tiempo de exposición en horas.<sup>5</sup>

Ocasionalmente, los usuarios obtendrán los datos de pérdidas de peso y entonces desecharán el cupón. Esto es desafortunado, ya que información importante puede ser obtenida de estos cupones. Por ejemplo, una inspección visual o microscópica muestra si el ataque es uniforme o localizado. Mantenga un record de las condiciones y apariencia de los cupones, especialmente si alguna capa o película se presenta.

## MÉTODOS DE PRUEBA AVANZADOS

Los intervalos planeados de pruebas necesitan que el individuo se involucre mas con los análisis de cupones individuales, pero la información adicional obtenida justifica el esfuerzo adicional. Esta técnica identifica el efecto acumulado de la corrosión en muchos intervalos de tiempo, como lo son: la tasa de corrosión inicial del metal fresco, la tasa de corrosión inicial del metal fresco luego de largas exposiciones y la tasa de corrosión del metal después de largas exposiciones. Esencialmente, esta técnica le permite monitorear la corrosividad en función del tiempo. Esta es una herramienta efectiva para monitorear la efectividad del inhibidor a lo largo del tiempo. Las guías y procedimientos específicos para conducir pruebas a intervalos planeados se encuentran detallados en 6,7.

## USOS ADICIONALES DE LOS CUPONES DE CORROSIÓN

A pesar de que la razón principal de las pruebas y análisis de cupones es monitorear las tasas de corrosión, muchas otras razones del “mundo real” existen:

- ✓ Defenderse contra los reclamos de la competencia por poseer un programa de control de corrosión inferior. Un competidor podría tratar de desacreditar la efectividad de su programa de control de la corrosión colocando un cupón en el proceso que usa sus inhibidores y comparando su apariencia y pérdida de peso con respecto a otro cupón en un proceso similar usando los químicos de ellos. Encuentre donde se encontraban ubicados estos cupones en cada proceso. Esto es como que el cupón de su proceso estaba suspendido por un cable de cobre en una localidad de turbulencia de alta velocidad, donde el cupón de su competidor se encontraba fijo en un tubo de inserción aislado en un reservorio desaireado.
- ✓ Supervise la efectividad del programa de control de corrosión de su vendedor. Si usted emplea un vendedor para servicios de control de la corrosión, instalando sus propios cupones puede ser un método costo-efectivo para evaluar sus resultados, además de asegurarse de que usted está obteniendo todo aquello por lo que ha pagado.



- ✓ Evaluar la actuación de inhibidor y los niveles de dosificación. Exámenes microscópicos de la superficie del cupón y los datos de pérdidas de peso son herramientas valiosas para evaluar la actuación a largo plazo de sus inhibidores.
- ✓ Procedimientos de limpieza y parada, monitoreados. Insertar cupones al inicio de la limpieza o parada y removerlos antes de que vuelva a iniciar la operación, identifica cualquier daño corrosivo que puede haber ocurrido durante este período.

## SUMARIO

Muchos estándares ASTM han sido referenciados en este documento. Las prácticas recomendadas para las pruebas con cupones de corrosión en campo y de acabado superficial en los cupones de corrosión se encuentran actualmente escritas por la National Association of Corrosion Engineers y ASTM, respectivamente. Estos estándares y prácticas intentan cubrir las aplicaciones que van desde aplicaciones de crudo hasta plantas de procesos químicos y facilidades de tratamiento de aguas. Revisar estos documentos y aplicar sus recomendaciones le ayudarán a obtener resultados significativos de las pruebas con cupones de corrosión, cualquiera sea su área de especialización.

Examine sus necesidades y requerimientos en su negocio y explore las oportunidades donde las pruebas con cupones de corrosión y análisis puedan beneficiarle. Cuando realice una prueba de corrosión, pregúntese ¿Porqué estoy conduciendo estas pruebas y que espero ganar de este trabajo?, entonces, diseñe sus experimentos en concordancia. Registre sus resultados en una base de datos para asistirle en la realización de comparaciones y recomendaciones certeras para futuros proyectos.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASTM G31-90. "Estándard Method for Conducting Corrosion Coupon Test in Plant Equipment", Annual Book of ASTM Standards. Vol. 3.02, ASTM, Philadelphia, PA., 1993.
2. ASTM Committee G1: Workshop on the Effects of Surface Finish on Corrosion Testing, ASTM Fall Meeting, Dallas, TX, Nov., 1993.
3. ASTM G4-84, "Standard Method for Conducting Corrosion Coupon Tests in Plant Equipment", Annual Book of ASTM Standards. Vol. 3.02, ASTM, Philadelphia, PA., 1993.
4. ASTM G1-90, "Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens", Annual Book of ASTM Standards, Vol. 3.02, ASTM, Philadelphia, PA., 1993.
5. M. Fontana, Corrosion Engineering. Third Edition, McGraw-Hill, New York, NY., 1986, p. 14.
6. ASM Handbook on Corrosion (ED. Vol. 13, ASM International, Metals Park, OH, 1992, pp 223-4.
7. A. Wachter and R. Treseder, "Corrosion Testing of Metals for Process Equipment", Chemical Engineering Progress, Vol. 43, 1947, pp. 315-326.

