

Inspección en Reactores de Unidad de Platforming

Dr. Ing. Mario Solari
Ing. Agustín A. García

Florida 274 Piso 3 Oficina 35 – Buenos Aires - Argentina

masolari@cpsarg.com
aggarcia@cponline.org.ar

ABSTRACT: The present work summarizes the in-service inspection results and corrective actions performed on four petroleum reactors pressure vessels that belong to a Platforming Unit. Inspection by Visual, Magnetic Particles, Penetrant, and Ultrasonic testing, as well as non-destructive metallography, thickness and hardness measurement were performed. Hydrogen attack cracking was observed in the heat-affected zone of one of the inspected reactors. Repair procedures by welding and in-service inspection plan were specified. The failure analyses of a specimen extracted from the cracked reactor confirm the Hydrogen attack diagnosis performed during in-service inspection.

I. INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo Técnico, realizado en diciembre de 1998, resume los resultados de las inspecciones y ensayos realizados sobre Reactores de una Unidad de Platforming. Se realizaron ensayos metalográficos mediante extracción de réplicas y sobre una muestra de material, observación visual, medición de espesores, medición de dureza, partículas magnetizables, tintas penetrantes y ultrasonido, a fin de determinar el estado de los componentes. En base a ello se recomendó las acciones correctivas a seguir y las futuras frecuencias de las inspecciones.

II. ALCANCE

De los análisis, estudios y ensayos realizados, se determinó que uno de los cuatro reactores, presentaba una fisura interna de aproximadamente 2.000 mm de longitud y 25 mm de profundidad particularmente en las proximidades de los cordones de soldadura (ZAC), iniciándose en la superficie interna, propagándose hacia el interior. Las inspecciones realizadas y la experiencia desarrollada en equipos similares, indican que los materiales utilizados para la fabricación de estos reactores son susceptibles a mecanismos de fisuración por hidrógeno.

Diagnosticado el mecanismo de falla actuante, se propuso un plan de reparación, se confeccionaron procedimientos de soldadura y se recomendó *continuar en servicio* con la condición que debería ser inspeccionados en un período de aproximadamente 6 (seis) meses, con el objeto de mantener un grado de confiabilidad acorde a las condiciones de diseño.

Durante la reparación de la fisura, se extrae un trozo de material para ser analizado metalográficamente, donde se determina que la propagación de la fisura es de características intergranular, en forma escalonada y particularmente asociadas a la ZAC.

II. RESULTADOS EXPERIMENTALES

II.1.- DATOS DE DISEÑO Y OPERACIÓN

Los datos de diseño y operación fueron suministrados por personal técnico de Mantenimiento y Verificación de Equipos de la Refinería.

MATERIAL DE LA ENVOLVENTE: ASTM - A 387
II CL2

Composición química

Carbono %	0,17 máx.
Silicio %	0,50 / 0,80.
Manganeso %	0,40 / 0,65
Fosforo %	0,035 máx.
Azufre %	0,040 máx.
Cromo %	1,00 / 1,50
Molibdeno %	0,45 / 0,65

Dimensiones y condiciones operativas

Longitud:	2030,4 mm
Diámetro interior:	1.676,4 mm
Espesor original:	Envolvente 57,45 mm Cabezales 55,88 mm
Presión de diseño:	28 Kg / cm ²
Temperatura metálica:	560° C
Horas de servicio:	145.000 horas aproximadamente.

II.2.- MEDICION DE ESPESORES

Los datos correspondientes a la medición de espesores que se adjuntan, fueron tomados sobre distintas zonas del interior del reactor. Los resultados de los ensayos se detallan a continuación:

PUNTOS N°	CASQ. SUP	CASQ. INF	ENV. SUP	ENV. MEDIA	ENV. INF
1	68.1	68.1	57.8	57.8	58.3
2	71.2	69.2	58.2	57.9	58.0
3	71.1	68.8	57.9	57.7	58.2
4	71.6	68.5	58.5	58.1	58.3
5	69.7	68.2	57.9	58.0	57.9
6	69.9	68.6	57.6	57.9	58.0

No se observaron pérdidas en los espesores que hagan pensar que algún mecanismo corrosivo este actuando.

II.3.- MEDICION DE DUREZAS

Se tomaron una serie de improntas sobre la envolvente del reactor, en los mismos puntos donde se midieron los espesores, arrojando los siguientes valores promedios mínimos y máximos:

HB = 120 - 140

II.4.- CONTROL NO DESTRUCTIVO

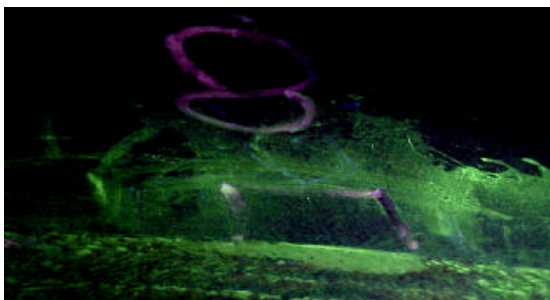
MEDIANTE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS Y ULTRASONIDO

Se inspeccionaron todos los cordones de soldadura, circunferenciales y longitudinales en un 100% mediante partículas fluorescentes y ultrasonido. Los ensayos arrojaron las siguientes indicaciones:

Discontinuidades en el cordón circunferencial inferior existente entre el casquete inferior y la envolvente.

La fisura detectada en el reactor, tiene una longitud de aproximadamente 1500mm y una profundidad determinada por ensayos de ultrasonido de 25 mm, situada en la zona afectada por el calor, existente entre el cordón de soldadura circunferencial que une el cabezal inferior con la envolvente. La fisura se desarrolló en la ZAC de la soldadura correspondiente a la envolvente resultando paralela a la línea de fusión. Por sus características morfológicas, modo de propagación, la falla fue asociada con un ataque por hidrógeno. En las fotografías N° 1 y 2, puede observarse partes de la fisura detectada.

Fotografía N° 1



Fotografía N° 2



II.5.1.- ESTUDIO METALOGRAFICO MEDIANTE LA EXTRACCIÓN DE RÉPLICAS.

El estudio metalográfico se llevo a cabo mediante la extracción de réplicas metalográficas celulósicas. La ubicación de las mismas corresponde a 1,5 metros aproximadamente sobre el nivel del piso.

El material presenta una estructura ferrítica con restos de perlita transformada. Tal como se observó posteriormente, el material presenta una descarbonización superficial de aproximadamente 0,5 mm de profundidad. La distribución de los granos es heterogénea y su tamaño varía entre el N° 5/7 según ASTM E-112. Esto puede ser observado en las micrografías N° 1 y 2.

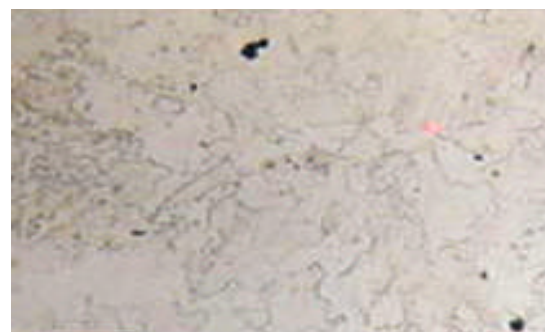
Micrografía N° 1



X 125

Ataque: Nital 2%

Micrografía N° 2



X 125

Ataque: Nital 2%

II- 5.2.- ESTUDIO METALOGRAFICO SOBRE UNA MUESTRA DE MATERIAL

Una vez encarada la reparación de la fisura, se extrajo una pequeña “nave” de las ZAC, a fin de analizar las características morfológicas de la fisura detectada mediante ensayos no destructivos y evaluar las características metalográficas del material correspondiente al reactor.

La muestra se extrajo por amolado y las dimensiones son de aproximadamente unos 150 mm de longitud y 10 mm de altura, tal como puede ser observada en la figura N° 3

Fotografía N° 3



El material de la envolvente, presenta una zona descarbonada de aproximadamente 0.5 mm de profundidad, estando su estructura metalográfica formada por ferrita y perlita, con un tamaño de grano correspondiente al N° 6, según ASTM E-112, tal como se puede observar en la micrografía N° 4.

Micrografía N° 4

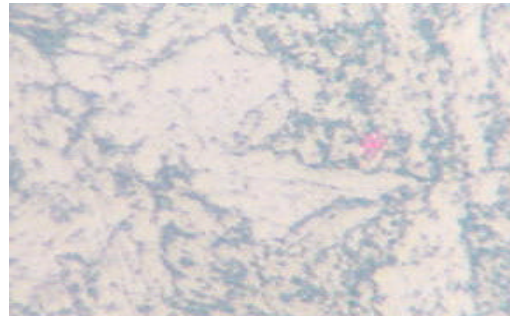


X 250

Ataque: Nital 2%

La estructura perlitica, se observa parcialmente disociada, como producto de las temperaturas de servicio, aunque aún mantienen sus colonias primitivas. Ver micrografía N° 5.

Micrografía N° 5



X 500

Ataque: Nital 2%

Micrografía N° 5



X 250

Ataque: Nital 2%

La micrografía N° 6, corresponde al cordón de soldadura, donde coexisten estructuras de colada con variados tamaños de grano, zona propicia para la incubación y posterior propagación de las fisuras.

Micrografía N° 6

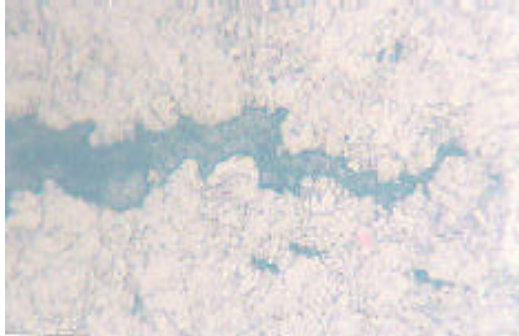


X 125

Ataque: Nital 2%

Finalmente, en la micrografía N° 7, es posible observar el extremo de la fisura, a mayor magnificación, donde es posible ver la propagación de la misma y la existencia de microhuecos asociados al avance de la fisura, zona dañada por hidrógeno.

Micrografía N° 7



X 400

Ataque: Nital 2%

III. CARACTERÍSTICAS DEL ATAQUE POR HIDRÓGENO

Del análisis de los factores de riesgo de daño del material durante el servicio, surge que los reformadores catalíticos son susceptibles al ataque por hidrógeno y al daño por creep, agravándose estos mecanismos por efecto de la presencia de H₂S.

El ataque por hidrógenos puede causar fracturas catastróficas, dadas las sollicitaciones térmicas, mecánicas y químicas asociadas, considerándose como factor de riesgo de **primer orden**.

El hidrógeno se puede disolver en el metal como hidrógeno atómico reaccionando con los carburos de hierro para producir metano. El metano formado no puede difundir fuera del metal y si la presión es suficiente genera fisuras en el acero.

A temperaturas elevadas puede producirse descaburización interna, tal como se observó en la muestra extraída del reactor. La acumulación de metano en cavidades, generalmente en bordes de grano produce elevadas tensiones que originan microfisuras que llevan al fenómeno de fisuración aquí descrito.

El daño producido por altas presiones de hidrógeno y altas temperaturas está precedido por un período de incubación, en el que no se pueden determinar cambios por medios de ensayos convencionales. Esta etapa dura hasta que se nucleen cavidades estables, luego la densidad de las cavidades aumenta hasta un punto de saturación.

Mayores temperaturas, altas tensiones, altas presiones de hidrógeno, deformación plástica en frío reducen el tiempo de incubación y aumentan la densidad de cavidades en bordes de grano, siendo las variables del material el contenido de aleantes, impurezas, tratamiento térmico, trabajado en frío y tamaño de grano.

En general, la zona afectada por el calor alrededor de las soldaduras son más susceptibles que el metal base en cuanto al ataque por hidrógeno. Esto es debido a la presencia de mayores tamaños de grano y posible existencia de defectos, zonas duras y elevadas tensiones residuales.

La detección del daño por hidrógeno es difícil. Las réplicas metalográficas permiten determinar si hay descaburización superficial y la medición superficial de dureza puede permitir observar una disminución asociada con descaburización superficial. Sin embargo, la fisuración debe ser detectada mediante partículas magnéticas y/o ultrasonido.

La descaburización y fisuración interna puede ocurrir sin descaburización superficial. En ese caso solo ensayos destructivos permiten seguir y detectar el fenómeno. Este ataque resulta similar al creep en los estudios de superficies de fractura.

IV. RECOMENDACIONES

- Seguir en operación por un período máximo de 6 meses, las temperaturas y presiones deberán limitarse a 520 °C y 28 Kg/cm²).
- La operación de parada deberá ser cuidadosa con el objeto de eliminar el hidrógeno que se incorpora en el servicio, particularmente en las soldaduras de reparación que actualmente son austeníticas. Esto significa descender la temperatura entre los 400 y 250 °C como mínimo en 6 horas, despresurizando el sistema a la mayor temperatura compatible con el proceso.
- Los reactores deberán ser inspeccionados con MT y UT con el objeto de determinar eventuales fisuras, en caso de encontrarse deberá evaluarse la magnitud de las mismas para determinar si corresponde la reparación. Particularmente deberá evaluarse las soldaduras de reparación.
- Se deberá cuidar la posible contaminación con S.
- En caso de resultar favorable el estudio realizado a los 6 meses se podrá prolongar el servicio por otro período equivalente.
- Deberá realizarse un estudio de integridad estructural con el objeto de determinar el tamaño de defecto

crítico y evaluar el grado de peligrosidad asociado con la operación del reactor.

V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

De las observaciones realizadas surge que:

En unidades de media presión, tales como los reformadores catalíticos, el ataque por hidrógenos puede causar fracturas catastróficas. Dadas las sollicitaciones térmicas, mecánicas y químicas asociadas con estos reactores, el mecanismo de **ataque por hidrógeno** resulta un **factor de riesgo de primer orden**, conjuntamente con el **daño por creep** y el efecto de la **presencia de H₂S**. La fatiga térmica, la fragilización, y la oxidación son factores de segundo orden para estas unidades.

De los ensayos realizados, surge que:

- No se han detectado ampollas sobre las envolventes de los reactores, que por su espesor serían las zonas preferenciales donde se manifestarían estos mecanismos. Para los bajos valores de H₂S presentes en el caso analizado y la temperatura de servicio no resulta relevante la corrosión a alta temperatura en ambientes con H₂/H₂S.
- Los elementos microestructurales observados indican una estructura acorde a las sollicitaciones impuestas, aunque ligeramente transformada, no evidenciándose signos de que hayan operados mecanismos de creep terciarios. Por lo que corresponde según el criterio de Neubauer clasificar a las microestructuras observadas con un Parámetro de daño "C", recomendar intervalos de inspección de 2 años.
- Los valores de dureza y mediciones de espesores, están dentro de los rangos aceptables para las condiciones operativas actuantes.
- Las indicaciones observadas mediante técnicas no-destructivas fueron eliminadas por amolado y reparadas por soldadura. Ensayadas nuevamente, no registraron nuevas indicaciones.

VII. CONCLUSIONES

La fisura detectada está localizada en la ZAC, en la región de grano grueso próxima a la línea de fusión, iniciándose en la superficie y propagándose en forma intergranular hacia el interior.

El principal responsable del daño fue el ataque por hidrógeno.

Se debe hacer un estudio de análisis de riesgo e integridad estructural para determinar cuanto tiempo puede seguir el reactor reparado en operación con un riesgo operativo controlado.

El estado microestructural del reactor está en correspondencia con el servicio al que está sometido.

Se considera apto para continuar en servicio con la condición de que deben ser inspeccionados en un período de aproximadamente 6 meses, particularmente en la zona reparada por soldadura y cordones aledaños, con el objeto de mantener un grado de confiabilidad acorde a las condiciones de diseño.

Por lo expuesto se recomienda realizar inspecciones periódicas preestablecidas, particularmente en la ZAC, por ser las más susceptibles al ataque por hidrógeno. Esto es debido a la presencia de mayores tamaños de grano y posible existencia de defectos, zonas duras y elevadas tensiones residuales.

Resultados

Eliminación total de la discontinuidad por amolado y reparación por soldadura. Se **ANALIZÓ Y ESPECIFICÓ UN PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA DE REPARACIÓN.**

REFERENCIAS

- 1.- Defectos y Fallos de los Metales – Polushkin
- 2.- Damage Mechanisms and Life Assessment of High Temperatura Components – 1995.
- 3.- Metals Handbook – Volumen 10 – 1983.