

Evaluación de Integridad Estructural de los Intercambiadores de Calor LX E4 de la planta de Isomax de la Refinería Luján de Cuyo de YPF

Ing. Roberto Edén
Ing. Raúl Roman

Casilla de correo N° 4, Luján de Cuyo, Mendoza, Argentina
reden@email.ypf.com.ar
iroman@email.ypf.com.ar

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo evaluar la integridad estructural de los intercambiadores de calor LX E4 del Hidrocracking de la Refinería Luján de Cuyo de YPF S.A, y los riesgos asociados de tener los equipos en operación. Estos equipos operan con Hidrógeno a 150 Kg/cm² de presión, y con una temperatura que varía entre 290 y 400°C. En una inspección realizada durante la parada de planta se observaron fisuras en el cabezal fijo de uno de los equipos en una plano perpendicular al eje del mismo y de una profundidad de 60 mm y una longitud de casi toda la circunferencia.

De los estudios se concluye que durante el servicio de 27 años a temperaturas superiores a los 300°C, el material se fragilizó por el fenómeno de Fragilización por revenido (Temper Embrittlement), y que a temperatura ambiente se encuentra en el rango de fractura frágil.

La iniciación de la fisura puede asociarse con la presencia de hidrógeno, los efectos locales de concentración de tensiones y los paros de planta.

Se estima como probable que el crecimiento de fisura se produjo como consecuencia de las tensiones térmicas originadas durante las paradas y arranques, facilitado por la fragilidad del material y la presencia de hidrógeno en el mismo.

Se realizó una evaluación del riesgo de seguir operando con los equipos que quedaron en servicio en estas condiciones metalúrgicas.

Aceptando un criterio de decisión de riesgo, se concluyó que el mismo es “no deseable” con decisión de alto funcionario para aceptarlo.

El equipo retirado del servicio se lo utilizó para realizar diversos ensayos para determinar el estado del mismo y así brindar el soporte técnico necesario a la gerencia para tomar una decisión.

Este estudio fue significativo debido a que los restantes 5 intercambiadores estaban en similares condiciones metalúrgicas al extraído y tenían que continuar en servicio.

Se realizaron ensayos Charpy V, ensayos fractomecánicos y cálculo de stress análisis para determinar el valor de J.

Se utilizaron estos estudios como soporte técnico para tomar la decisión de continuar con los equipos en servicio durante un tiempo y bajo ciertas condiciones.

Abstract

The job target is to evaluate the LX E4 heat exchanger aptitude of Luján de Cuyo Refinery Hydrocracking plant and the associated hazard of the running equipment.

These equipments run with hydrogen at a pressure of 150 Kg/cm² and the temperature ranking between 290°C and 400°C.

During the last turnaround it was noted a cracking in a fix head in one of the equipment with 60mm depth and a fully perimetrical length.

According to our research, we concluded that for a period of 27 year working at temperature over 300°C the material was embrittled due to the temper embrittlement phenomena, so this material is embrittlement at room temperature.

The beginning of the cracking can be associated with hydrogen, local stress effect and turnaround.

We estimate that the cracking growing may have been produced as a result of heat stress caused by turnaround and starting up powered by hydrogen and material embrittlement.

Hazard assessment was carried out to know if the equipment could run in the actual condition.

The analysis result was “risk not disable unless it could be authorized by an authority”.

After that we used the out of order equipment for different testes to determine its condition to get the technical support to the authority to decision making.

The important of this research was to establish the real condition for the remaining five exchanger which are in similar condition as the previous mentioned.

We accomplished Charpy V test, fractomechanical test and stress analysis to determine the “J” value.

We used this research as technical support to decision making, to go on with the running equipment for a period of time under certain condition

Sección 1: General

1.1 Objetivo

Evaluar la integridad estructural de los intercambiadores de calor LX E4 del Hidrocracking de la Refinería Luján de Cuyo de YPF S.A, y los riesgos asociados de tener los equipos en operación.

1.2 Hecho

Este estudio fue realizado con el fin de determinar si los equipos en cuestión estaban aptos de continuar en servicio hasta la próxima parada programada de la unidad.

1.3 Metodología

Para determinar la integridad de los equipos se realizaron ensayos Charpy V, ensayos fractomecánicos, cálculo de tensiones por elementos finitos, cálculo del valor J.

Para realizar la evaluación de riesgo se analizaron los historiales de los equipos donde se encuentran todas las anomalías sufridas por los mismos durante su vida útil.

1.4 Introducción

El Hidrocracking cuenta con dos trenes de intercambio, con tres intercambiadores de calor cada uno, denominados LX E4 A/A, A/B, A/C y B/A, B/B, B/C.

Estos intercambiadores están sometidos a una presión de 150 Kg/cm², y el producto que circula por el interior de los mismos es Gas Oil con hidrógeno.

La temperatura de operación de cada intercambiador se observa en la Tabla 1.

TABLA 1

Intercambiador	Temperatura cabezal fijo	Temperatura envolvente
A	409 °C	339°C
B	335°C	282°C
C	290°C	207°C

La metalurgia de cada uno de estos equipos se observa en la tabla 2.

TABLA 2

Intercambiador	Cabezal fijo	Envolvente
A	2 1/4Cr 1Mo, cladding T 347	2 1/4Cr 1Mo, cladding T 347
B	2 1/4Cr 1Mo, cladding T 347	C ½ Mo, cladding T 347
C	C 1/2Mo, Cladding T 347	C 1/2Mo

En 1997 los LX E4 A/A y B/A fueron reemplazados por equipos nuevos construidos con una ingeniería similar a los originales. A partir de la inspección por END de los otros cuatro equipos se detectaron diversas fisuras.

En particular la más grave estaba presente en el LX E4 B/C, encontrándose una fisura en el cabezal fijo en un plano perpendicular al eje del equipo y con una profundidad de aproximadamente 60 mm y una longitud de casi toda la circunferencia (Figura 1).

Es probable que la fisura se hubiera originado debajo del cladding, en la zona de concentración de tensiones asociada con el cambio de espesores del cabezal.

El equipo fisurado fue reemplazado por el LX E4 A/A, equipo diseñado para operar en un rango superior de temperaturas y que fuera reemplazado por uno nuevo.

El equipo LX E4 A/C, gemelo del reemplazado, también presentaba fisuras, pero de menor magnitud. Estas fueron reparadas.

Por lo tanto, la situación al comenzar la operación en 1997, era:

- Los equipos LX E4 A/A y B/A nuevos.
- Los equipos LX E4 A/B, A/C y B/B originales de 1970, ensayados, con eliminación y reparación de fisuras.
- Equipo LX E4 B/C reemplazado por el ex A/A de 1970.

El equipo LX E4 B/C que salió de operación fue ensayado por IMPSA extrayéndose material del cabezal y realizándose a) una curva de Charpy V y b) ensayos fractomecánicos para determinar Jc⁽¹⁾.

Paralelamente se realizó un análisis de tensiones en la zona de la fisura con el objeto de calcular el factor de concentración de tensiones (J aplicado)⁽¹⁾.

De los resultados del estudio, se concluye que la Curva Charpy V muestra una muy neta Transición Dúctil Frágil entre los 60 y 80 °C (Figura 2).

Los certificados del material original muestran valores de 60 J a +20 °C, de este modo se comprueba que durante el servicio de 27 años a temperaturas superiores a los 300 °C, el material se fragilizó.

Se concluye que “el intercambiador en estudio debe operar en la forma más estable posible hasta su salida definitiva de servicio. En particular, su presurización a temperaturas por debajo de los 100 °C debe ser evitada en absoluto”.

Una evaluación de la composición química del material (obtenida de los certificados originales del mismo) permite comprobar que el factor J para dicho material es superior a 200.⁽²⁾

Este factor indica la tendencia a la fragilización por revenido, y según las nuevas especificaciones de UOP no debe ser superior a 120.

Cabe aclarar que UOP es la empresa que diseñó el Hidrocracking de la Refinería Luján de Cuyo de YPF S.A.

$$J = (\text{Mn}+\text{Si})(\text{P}+\text{Sn}) 10^4$$

Con estos antecedentes se puede diagnosticar que:

La tenacidad del material original del cabezal fijo del LX E4 B/C (Acero C ½ Mo) ha disminuido considerablemente por el mecanismo de fragilización por revenido (Temper embrittlement), y que el equipo a temperatura ambiente se encuentra en el rango de fractura frágil.

Esta fragilización del material, comprobada en el B/C, puede extrapolarse a los cuatro equipos fabricados en 1970 que están actualmente en servicio.

La iniciación de las fisuras puede asociarse con la presencia de hidrógeno, los efectos locales de concentración de tensiones y los paros de planta.

Se estima como probable que el crecimiento de las fisuras se produzca como consecuencia de las tensiones térmicas originadas durante las paradas y arranques, facilitado por la fragilidad del material y la presencia de hidrógeno en el material.

Sección 2: Fragilidad por revenido de los aceros (Temper Embrittlement)

Aunque las fallas por fractura frágil no son muy frecuentes en los recipientes a presión, cuando ocurren pueden resultar muy peligrosas por los costos asociados con el reemplazo de los equipos, y por los posibles daños a personas, ambiente e instalaciones.

Para minimizar los riesgos asociados con una fractura frágil se requiere que los materiales tengan una tenacidad adecuada durante toda su vida útil (tanto en el metal base, metal de soldadura y zona afectada térmicamente), aún cuando no operen en condiciones de servicio.

La tenacidad de un material es su habilidad para absorber energía en la forma de deformación plástica sin fracturarse.

La fragilidad por revenido es una de las principales causas de la degradación de la tenacidad de los aceros ferríticos. La degradación puede llevar al retiro del servicio del componente.

El problema aparece cuando se exponen algunos tipos de aceros a temperaturas en el rango de los 315°C y 540°C. Las exposiciones dentro de ese rango pueden ser durante los tratamientos térmicos de revenido o post soldadura, o durante el servicio, y deben ser evitadas dentro de lo posible. Aunque muchos componentes deben operar necesariamente dentro de este rango de temperaturas crítico.

Cabe aclarar que los rangos de temperatura en los cuales ocurre el fenómeno, son valores aproximados y no valores estrictos, y además dependen de la composición química del material y del tiempo de exposición.

A medida que aumenta el contenido de Mo, el material es menos susceptible al fenómeno de fragilización por revenido (ver 2.1 y 2.4).

Por estos motivos es que el equipo LX E4 B/C (0.5% Mo y 290°C) tuvo mas cantidad de fisuras que los restantes equipos (1% Mo).

2.1 Mecanismo de fragilización

La segregación de elementos residuales Antimonio (Sb), Arsénico (AS), Fósforo (P) y Estaño (Sn) hacia los bordes de grano es la principal causa del Temper Embrittlement. También el Mn y el Si tienen un rol importante y su contenido debe ser limitado.

Pueden segregarse tanto los elementos residuales como los de aleación, pero los primeros pueden concentrarse hasta 300 veces su valor promedio en que se encuentran en el material.

La segregación ocurre solo en la ferrita en el rango de temperaturas entre los 315° y 540°C, y no durante un tratamiento térmico de austenización. Es un mecanismo reversible si se supera el rango de temperatura crítico.

La magnitud de la segregación es mayor si el acero tiene una estructura de martensita revenida respecto de una bainita revenida, así como también se incrementa con la disminución de las temperaturas de revenido o el incremento de resistencia del material.

Además de la segregación en el borde de los granos, se puede producir una fina precipitación en el interior de los granos, originando un aumento de la resistencia del mismo (precipitación de Mo₂C).

El fenómeno, relacionado con cambios en los bordes de grano, produce una fractura frágil intergranular. En general la resistencia a la rotura y la ductilidad no son afectadas, sin embargo bajo condiciones severas ambas pueden disminuir.⁽³⁾

En la figura 3 se muestra el resultado de algunos ensayos teniendo en cuenta la influencia del antimonio, fósforo, estaño y arsénico en un acero al Cr-Ni en el 50% FATT a 450°C durante 1000Hs⁽⁴⁾.

El 50% FATT (50% fracture appearance transition temperature) es la temperatura en la cual se tiene una fractura 50% dúctil y 50% frágil.

En la figura 4 se observa la influencia del antimonio, fósforo, arsénico estaño en un acero al Cr, Ni, Mo⁽⁴⁾.

La explicación de la influencia del Mo para retardar la aparición de la fragilidad es debido a que presenta una interacción muy fuerte con las impurezas y forma precipitados evitando la segregación al borde de grano.

Este efecto se observa con el Mo-P y también con el Ti-P en aceros al Cr-Ni.

El efecto del Mo desaparece cuando el acero permanece a alta temperatura durante mucho tiempo.

Una explicación posible es que el Mo forma con el P, Mo₃P y, a tiempos largos precipitan y dejan fósforo libre que migra al borde de grano y produce la fragilización.

El Vanadio retarda la formación de los carburos de Mo y por lo tanto retrasa la aparición de la fragilización⁽⁵⁾.

2.2 Efecto del tiempo

El grado de fragilización depende también del tiempo de exposición a las temperaturas críticas.

En la figura 5 se observa un diagrama Temperatura-Tiempo para un acero AISI/SAE 3140 que muestra niveles de fragilización constantes para una probeta austenizada a 900°C durante 1 hora.

Esta probeta fue templada y revenida, y luego expuesta a temperaturas desde 325° hasta 650°C para tiempos que oscilaron entre 4 minutos y 240Hs. Los resultados se muestran en dicha figura⁽⁴⁾.

2.3 Efecto sobre la tenacidad

Se manifiesta con un corrimiento de hasta 100 °C hacia la derecha de la curva de transición dúctil frágil resultante de un ensayo de impacto.

Algunas veces este efecto está acompañado por un descenso de hasta 25% en la upper shelf energy (energía absorbida en el campo de fractura dúctil). Como la FATT esta vinculada con el K_{Ic}, un incremento de la FATT se corresponde con una disminución del K_{Ic}. Esto significa que el tamaño de defecto crítico para un dado nivel de tensiones se reduce.⁽³⁾

Como resultante de la degradación del material por Temper Embrittlement, pueden producirse desde fracturas frágiles con consecuencias catastróficas, hasta acortamiento de la vida útil de los equipos.

Disminuye la confiabilidad y la eficiencia, dado que puede ser necesario operar a menores temperaturas para evitar el fenómeno o despresurizar completamente para evitar las tensiones mientras el equipo está frío.

2.4 Efecto de los aleantes

En principio solo los aceros aleados son susceptibles. Los aceros al carbono no se fragilizan por revenido. El molibdeno tiene una influencia favorable disminuyendo la susceptibilidad a la fragilización.

En un 2 1/4 Cr, un 0.5%Mo produce el menor corrimiento de la temperatura de transición dúctil frágil.

El Si debe limitarse dado que más de 0.15 % puede afectar la susceptibilidad a la fragilización. Un material con

alto Si puede ser adecuado solo si el nivel de P es ultra bajo. (0.005%P).

El Mn también es perjudicial para la fragilización por revenido, sin embargo como es beneficioso para la templeabilidad y resistencia del material su nivel resulta del compromiso de ambos factores.

Los aceros 2 1/4 Cr- 1/2 Mo con estructura bainítica son los más susceptibles a este fenómeno, aunque también se lo encuentra en los aceros tipo 1/2Mo, 1 Cr- 1/2 Mo ,1 1/4 Cr- 1/2 Mo, 3 Cr 1 Mo, 5 Cr- 1/2 Mo.

Los 9Cr-1Mo son menos susceptibles. En todos los casos la cura del problema pasa por la pureza de las aleaciones.

2.5 Efecto de las tensiones

Las tensiones incrementan la intensidad de la fragilización por revenido al aumentar la segregación de P en los bordes de grano.

2.6 Efecto de los tratamientos térmicos

Si la temperatura de austenización se incrementa, aumenta el tamaño de grano austenítico y como consecuencia es mayor el corrimiento resultante de la temperatura de transición.

El fenómeno de Temper Embrittlement es reversible, un tratamiento térmico por un corto tiempo a temperaturas superiores a los 540°C, seguido de un enfriamiento rápido, puede restaurar las propiedades iniciales. Sin embargo, si los espesores son elevados y no se logran las velocidades de enfriamiento requeridas por la cinética de precipitación puede quedar una fragilidad remanente ; y más aún, puede fracturarse el componente durante el tratamiento térmico por el efecto de tensiones térmicas.

Sin embargo, cuando un material esta expuesto a temperatura de 370 °C a 565 °C, el fenómeno de degradación de las propiedades puede resultar irreversible, en este caso operan simultáneamente el mecanismo de fragilidad por revenido y el de creep.

2.7 Efecto combinado de la fragilidad de revenido y el hidrógeno

Durante la operación de un equipo con servicio con hidrógeno, el hidrógeno ingresa al metal. Para un recipiente de 100 mm de espesor, si el contenido de Hidrógeno en el interior es de 80 ppm, en el lado exterior puede llegar a ser 4 ppm, por lo tanto existe un gradiente de Hidrógeno en la pared del material.

La combinación entre las tensiones térmicas y la sobresaturación con Hidrógeno pueden producir fisuras inducidas por hidrógeno.

Si el material tiene una tenacidad muy disminuida por efecto de la fragilización por revenido el peligro de fractura catastrófica es alto.⁽³⁾

2.8 Caso de fractura frágil de un equipo causada por temper embrittlement

Si bien el problema es conocido⁽²⁾ desde hace más de 50 años, es interesante como ejemplo clásico de fragilización durante el servicio, el caso de un reactor de desulfurización de acero 2 1/4 Cr- 1/2 Mo, que operó 30.000

horas a 330/ 430°C. Como resultado de estas condiciones de servicio, se modificó la temperatura de transición de -37 °C a 60°C para 40 J.

Como consecuencia de la degradación de su tenacidad el reactor se fisuró de modo frágil por un tratamiento térmico de alivio de tensiones localizado aplicado durante una reparación en campo. Las fisuras se iniciaron en la soldadura entre un soporte de acero inoxidable austenítico tipo 321 y el cladding de inoxidable austenítico tipo 347 y se propagaron en forma frágil alrededor de toda la envolvente durante el tratamiento térmico localizado. La propagación de las tres fracturas estuvo acompañada de un sonido fuerte.

Este caso resultó la fuerza impulsora de los cambios en los métodos de fabricación de los aceros principalmente realizado por los Japoneses.

2.9 Evaluación del riesgo

El step cooling treatment es el tratamiento térmico diseñado para promover la fragilización y evaluar la susceptibilidad de un material al fenómeno. Este ensayo permite acelerar el deterioro de un material simulando en aproximadamente 300 horas lo que sucede en 5000 horas.

Medidas a tener en cuenta

- Materiales en servicio:

- Seguir las recomendaciones API respecto de que las operaciones de arranque y parada de los equipos sean lentas para minimizar tensiones y eliminar el hidrógeno del servicio cuando lo hubiera (más de 3 ppm de hidrógeno difusible puede provocar fisuras debajo del cladding de acero inoxidable)⁽²⁾ y de reducir la presión antes de que la temperatura del metal caiga por debajo de la nueva temperatura de transición dúctil-frágil.

- Materiales nuevos:

- La composición química se debe restringir respecto de la Especificación ASTM correspondiente considerando que:

Material Base: con un valor inicial de CHARPY para la menor temperatura de servicio de 40 J (promedio) y 30 J min⁽²⁾.

Forjados y chapas:

Factor J = (Si+Mn)(P+Sn)x10⁴ (elementos en porcentaje)

Factor J = 120 max. según UOP⁽⁷⁾

200 max. límite normal

< 100 valor típico de un material actual

Soldaduras:

Factor X = (10 P+ 5 Sb + 4 Sn + As)/100 < 25 ppm⁽²⁾

Factor X < 14 según UOP⁽⁷⁾

- El material debe cumplir luego de un Step-age cooling test con:

$$VTr40 + 2.5 \Delta VTr40sc \leq 10^{\circ}C^{(7)}$$

VTr40 Temperatura para absorber una energía de impacto de 54 J (40 ft lb) en Charpy V, de un material completamente tratado térmicamente pero antes del Step cool aging⁽⁷⁾.

$\Delta VTr40sc$ Corrimiento en la temperatura para absorber una energía de impacto de 54 J (40 ft lb) en Charpy V, de un material completamente tratado térmicamente después del Step cool aging⁽⁷⁾.

Sección 3 Evaluación del Riesgo

A partir de los antecedentes y peligros detectados se pueden definir tres escenarios de riesgo aplicables a los equipos LX E 4 A/B, A/C, B/B, B/C que datan de 1970.

Los A/A y B/A por ser nuevos tienen un nivel de riesgo menor.

3.1 Escenarios de riesgo analizados:

- Escenario A. Durante el servicio se produce una fractura catastrófica del cabezal fijo con una violenta liberación de energía, dada la elevada presión. Alta posibilidad de propagación del siniestro al resto de la planta con explosión e incendio.

- Escenario B. Durante el servicio se produce una fisura pasante que provoca una pérdida de hidrógeno detectable por la gran presión, peligro de incendio. (LEAK BEFORE BREAK).

- Escenario C. Durante una operación de parada imprevista, a temperaturas bajas (<100 °C) y como consecuencia de tensiones térmicas, el material fragilizado conteniendo hidrógeno del servicio permite una propagación frágil de una fisura hasta la ruptura catastrófica. Eventuales daños a otros equipos y personal.

En la tabla 3 se observan distintas categorías de severidad de peligros. También se puede observar en la tabla 4 las distintas categorías de probabilidad de riesgos.

Estas tablas fueron obtenidas de normas militares de los Estados Unidos (MIL-STD 882C), empleadas en sistemas de seguridad del departamento de defensa de ese país.⁽⁶⁾

Considerando que el Nivel de Riesgo asociado con cada escenario es el producto de la severidad por la probabilidad de falla, se puede construir la matriz de decisión del riesgo (tabla 5).

Luego, se construye la tabla 6 donde se observa cada escenario de riesgo propuesto para los equipos con su nivel de riesgo asociado.

El escenario A es el único cuyas consecuencias pueden ser consideradas catastróficas (Muerte de personal, pérdida del sistema, daño ambiental severo), mientras que en los escenarios B y C, las consecuencias son calificadas como críticas.

Al escenario A se lo puede describir como no probable, aunque sea posible de que ocurra. Esta calificación se justifica debido a que en operación a la temperatura de servicio, el material está en el rango dúctil, y que el mecanismo de propagación de las fisuras sucede durante las paradas por efecto de tensiones térmicas. Por lo tanto no es probable que se propague una fisura preexistente durante el servicio.

Por lo tanto se puede concluir que todos los escenarios analizados tienen una decisión de riesgo "No

deseable decisión formal de alto funcionario para aceptar el riesgo”.⁽²⁾

Sección 4 Aceptabilidad del Riesgo

Con el objeto de brindar los argumentos técnicos para la aceptación o no del riesgo determinado en el análisis anterior, se desarrollará un análisis crítico de la información disponible.

En la figura 6 se presenta esquemáticamente el tamaño de las fisuras versus el tiempo transcurrido desde la puesta en marcha de los equipos.⁽²⁾ Aunque no se dispone de una determinación del tamaño de fisuras anterior a 1997, puede inferirse de la información disponible que el tamaño máximo encontrado en el intercambiador corresponde al B/C con 60 mm de profundidad (y con una longitud de casi toda la circunferencia del cabezal).

Como el mecanismo de crecimiento estimado se asocia con las paradas y arranques y estas fueron muy frecuentes en el período inmediato anterior a 1997, es de prever el crecimiento escalonado esquematizado (línea roja de figura 6).

Dado que la profundidad máxima de fisura encontrada en el LX E4 B/C fue de 60 mm, se puede establecer que este es el tamaño de defecto crítico admisible, debido a que con esta profundidad de defecto no se produjo la rotura.

Una profundidad de fisura mayor podría provocar la propagación inestable de la fisura con rotura catastrófica del equipo.

En el año 1997 los cuatro equipos originales fueron minuciosamente examinados por YPF y se eliminaron todas las fisuras detectadas. Aún asumiendo que algunas fisuras quedaron sin eliminar, se puede afirmar que el tamaño de fisuras existente al ponerse en marcha los equipos en 1997 fue muy inferior al máximo medido.

Como desde 1997 hasta 1999 el número de incidentes fue muy inferior al correspondiente al período anterior (27 despresurizaciones parciales de la planta contra 5 del período actual, y 15 paros totales imprevistos contra ninguno del período actual), las eventuales fisuras remanentes es improbable que hayan crecido hasta un tamaño similar al medido en el B/C (línea amarilla de figura 6).

Por lo tanto es probable que en la actualidad los equipos puedan tener un eventual tamaño de defectos inferior al medido en el B/C.

Para tener un mayor número de herramientas que ayuden a tomar la decisión, se determinaron parámetros fractomecánicos.

Se determinó el parámetro “J”⁽¹⁾, el cual cuantifica la concentración de tensiones provocado por el defecto.

Este valor se compara luego con el valor de tenacidad a la fractura del material “J_c” determinado mediante ensayos⁽¹⁾.

Esta comparación se la realiza de la misma manera que se compara una tensión calculada, con la tensión límite del material.

El valor de “J” calculado por elementos finitos considerando una fisura de 80mm de profundidad fue de 5.03 KJ/m².

El valor de tenacidad a la fractura “J_c” calculado a temperatura de servicio según ASTM E813 fue de 27 KJ/m².

Por lo tanto el valor de J_c es superior en más de 5 veces con respecto al valor de “J”, por lo que se puede considerar como un margen de seguridad aceptable.

Realizando el mismo análisis a temperatura ambiente, se tiene que el margen de seguridad disminuye a un valor de tres.

En la figura 6 se observa con un punto verde éste valor de 80 mm.

Es importante destacar que el tamaño de defecto crítico o admisible “a temperatura ambiente” se reduce por la fragilización sufrida por el material. Y que la eventual presencia de hidrógeno sobresaturado a temperatura ambiente dentro de la pared interior del material también contribuye a disminuir la tenacidad del material y por consiguiente el tamaño de defecto crítico.

Por lo tanto de la figura 6 se puede ver que el tamaño de fisura actual (línea amarilla) esta por debajo del tamaño de defecto aceptable según estudios realizados por IMPSA, por debajo del tamaño de defecto encontrado en el último paro y que no provocó fractura, y también por debajo del tamaño de defecto crítico (línea azul de figura 6).

Sección 5 Conclusiones

La unidad puede continuar en servicio por el término de un año con un nivel de riesgo admisible, dado que:

- *A los equipos se le eliminaron las fisuras detectadas,*
- *La posibilidad de crecimiento se disminuyó por la reducción de paradas desde 1997.*
- *El tamaño de fisuras existente en los equipos es considerablemente menor que el medido en el LX E4 B/C en el último paro programado y que no provocó rotura catastrófica.*
- *Aún considerando un tamaño de fisura de 80 mm hay un margen de seguridad de 5 “a temperatura de operación” (a temperatura ambiente este margen se reduce), según los estudios realizados por IMPSA.*
- *Se modificaron los procedimientos para el caso de paros y emergencias, teniendo en cuenta la eliminación de hidrógeno, despresurización a una temperatura superior a los 100° C y minimización de tensiones térmicas.*

Sección 6 Recomendaciones

- Considerando la información disponible se recomienda a la gerencia la aceptación del riesgo de continuar con la operación hasta el reemplazo de los equipos por equipos nuevos, condicionando la operación a la efectiva implementación de las acciones para minimizar los riesgos evitando paros de planta.

- Utilizar los procedimientos modificados para paros y emergencias.

- Continuar con el análisis de integridad estructural tanto con material correspondiente al B/C (C ½ Mo - sacado del servicio por las grandes fisuras) como al B/A (21/4 Cr Mo), este último fue recambiado en 1997, pero puede aportar datos sobre el comportamiento futuro del equipo gemelo que ocupó la unidad C. El análisis de tensiones se realizará a la totalidad del componente, analizándose también las tensiones térmicas en las condiciones de operación y de paro. Con el estudio terminado se deberá hacer un nuevo análisis de riesgo.

Referencias

- 1- "Análisis de integridad estructural del cabezal fijo", J. Farías, Informe Técnico IMPSA, mayo 1999.
- 2- "Evaluación preliminar de la integridad estructural de los intercambiadores de calor LX E4", M. Solari y A. García, OT 14 IT RLC 003, Convenio CTI – YPF, 1999.
- 3- "Damage Mechanisms and Life Assesment of High Temperature Components, R Viswanathan, Ed ASM International, 1995.
- 4- ASM Handbook, Vol. 1: Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys.
- 5- Aceros, Segundo Núñez, Carlos Andreone. Maestría en Ciencia y Tecnología de Materiales. CNEA.
- 6- USA Defense Department 1993 "Sistem Safety Program Requirement" MIL-STD 882C.
- 7- Especificaciones del proyecto del diseñador de la planta UOP. "Project Specification N° 560543".

NOTA: El presente trabajo fue realizado conjuntamente con CTI (Consultores de Tecnología e Ingeniería SRL).

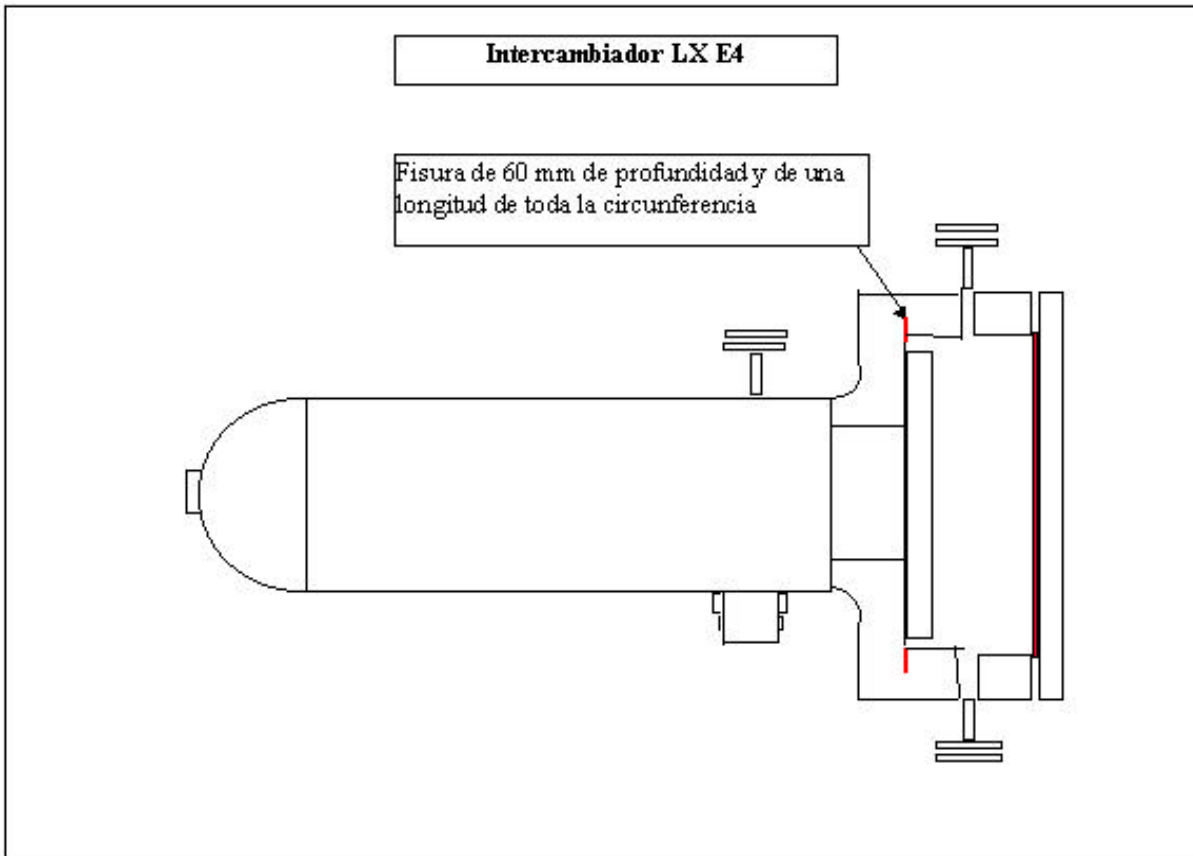


Figura 1

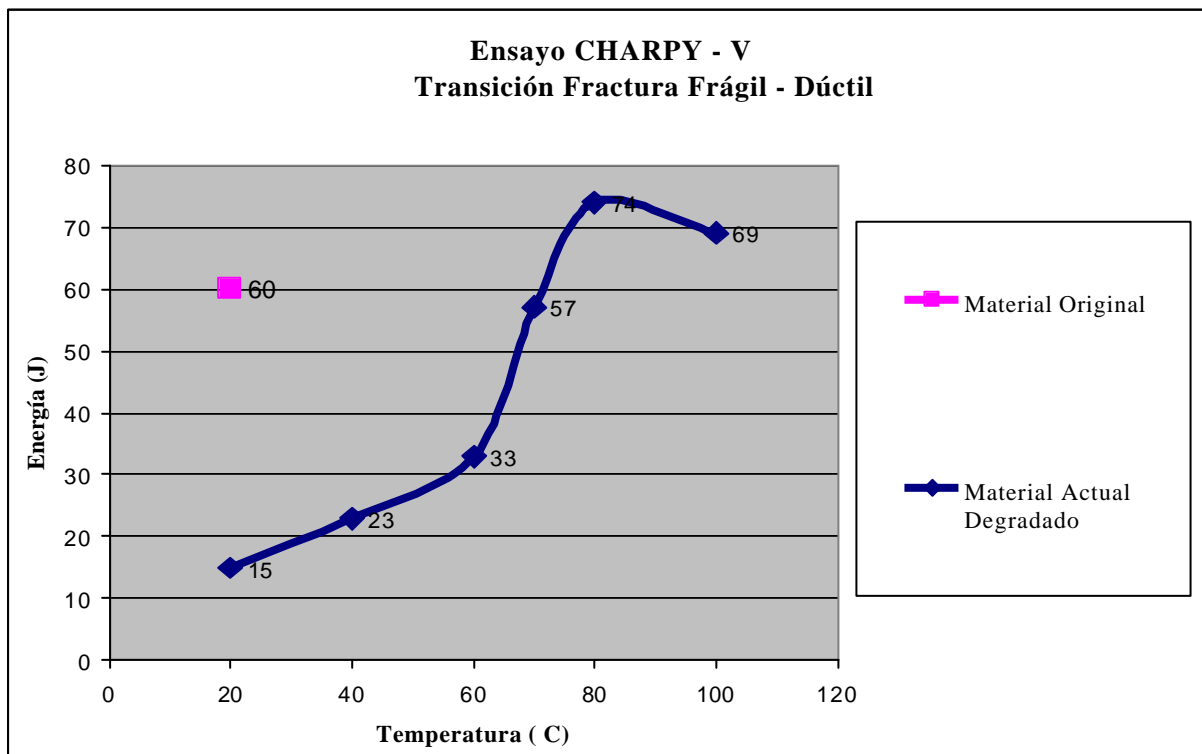


Figura 2

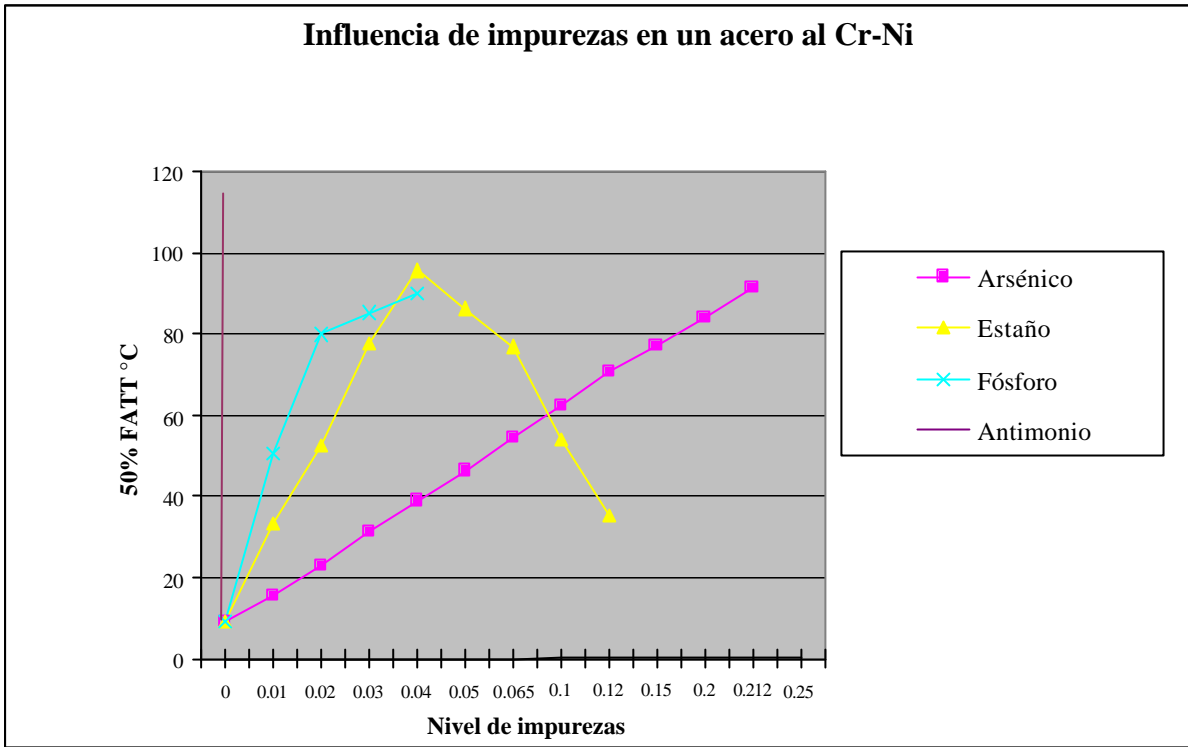


Figura 3

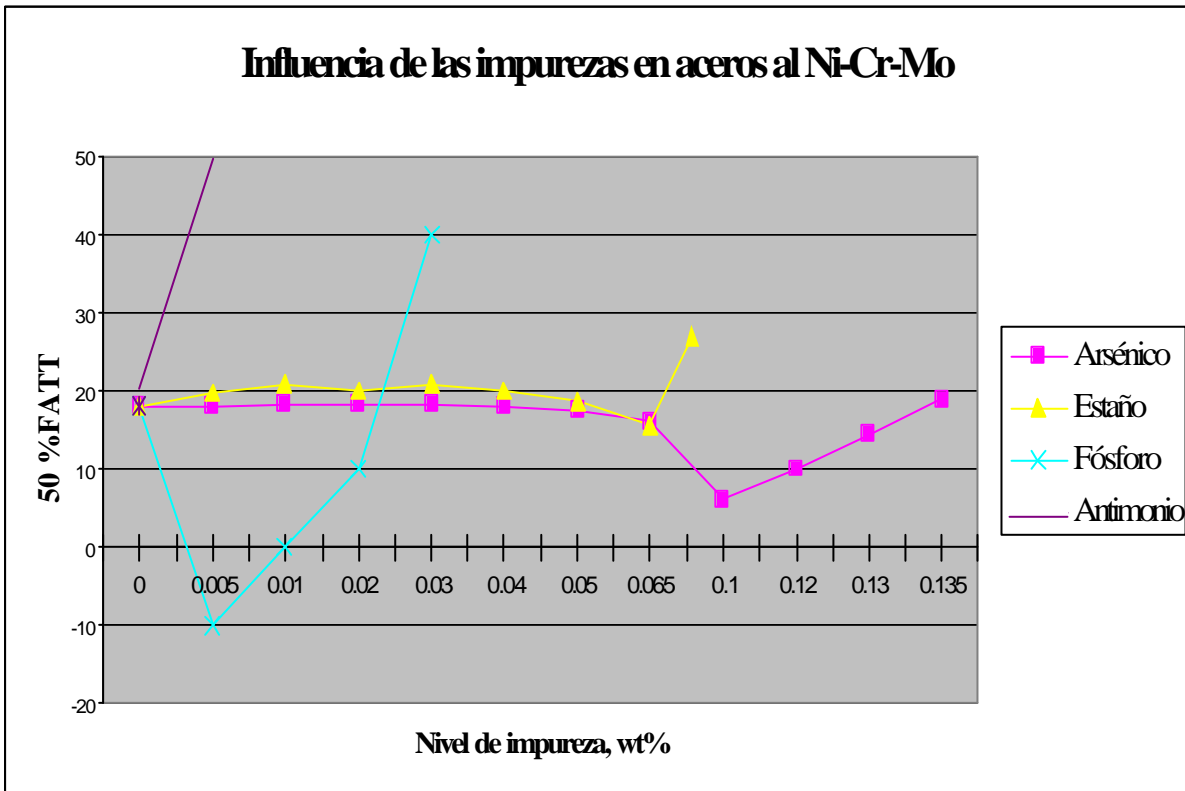


Figura 4

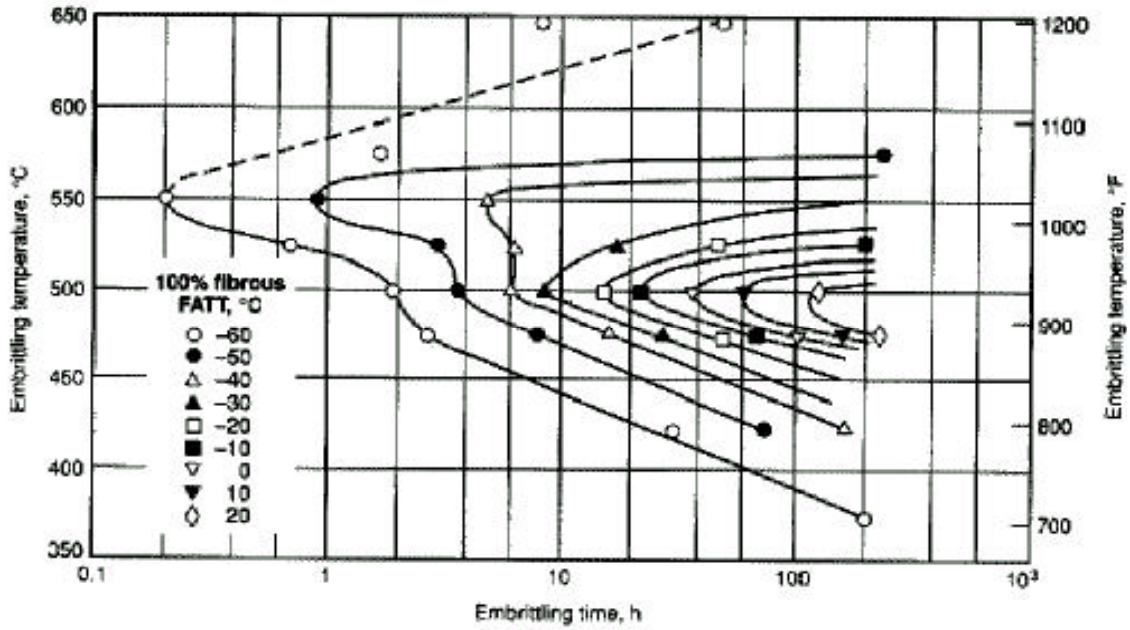


Figura 5

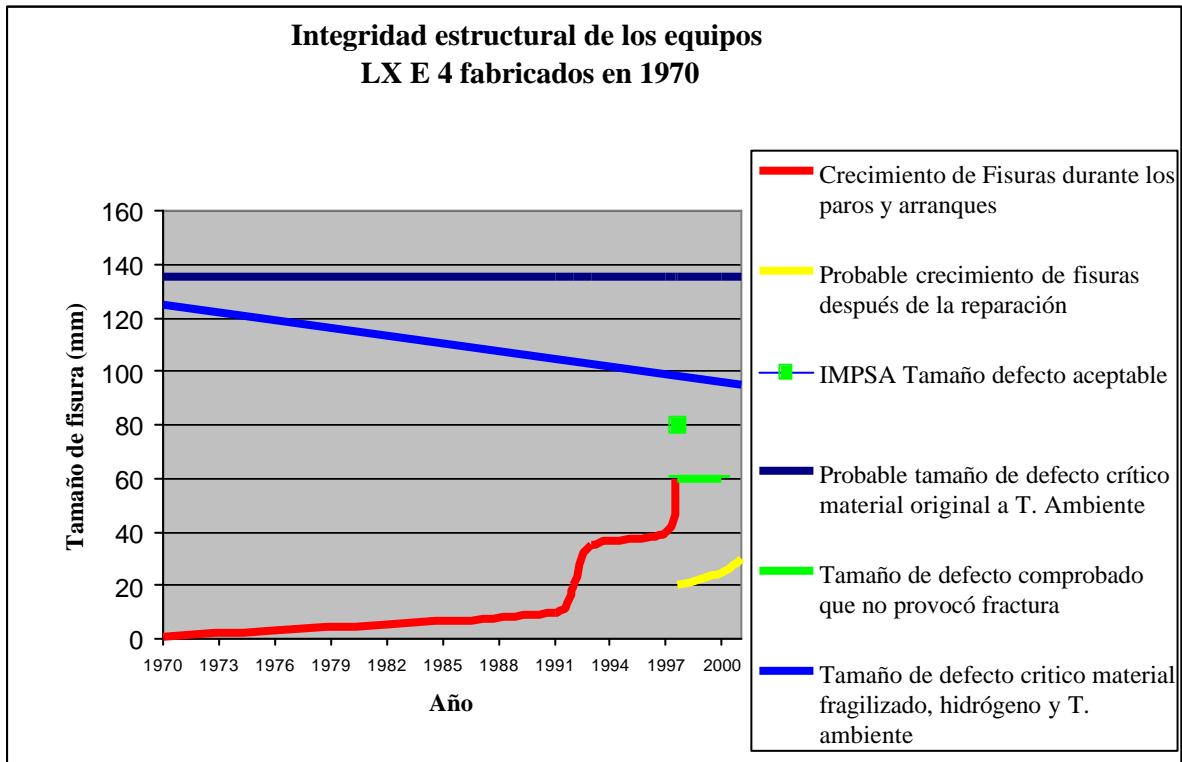


Figura 6

TABLA 3

Descripción del peligro	Categoría	Definición
Catastrófica	I	Muerte del personal, pérdida del sistema o daño ambiental severo
Crítica	II	Herida severa, daño mayor al sistema o daño mayor ambiental
Marginal	III	Herida menor, daño menor al sistema o daño menor
Insignificante	IV	Menos de una herida menor, o daño menor ambiental

TABLA 4

Descripción	Nivel	Elemento Individual Específico	Flotilla o inventario
Frecuente	A	Muy probable que ocurrirá frecuentemente	Pasa continuamente
Probable	B	Ocurrirá muchas veces en la vida del sistema	Ocurrirá frecuentemente
Ocasional	C	Probable que ocurra durante la vida del sistema	Ocurrirá varias veces
No probable	D	No es probable que ocurra durante la vida del sistema pero es posible	No muy probable que ocurra pero es razonable esperar que ocurra
Improbable	E	Tan improbable que se puede suponer que no ocurrirá durante la vida del sistema	No es probable que ocurra pero es posible

TABLA 5

Índice de riesgo	Criterio de decisión de riesgo
IA, IB, IC, IIA, IIB, IIIA	No aceptable. Parar operaciones inmediatamente y resolver
ID, IIC, IIC, IIIB, IIIC	No deseable. Decisión formal de alto funcionario para aceptar riesgo o no
IE, IIE, IIID, IIIE, IVA, IVB	Aceptable con revisión de la gerencia
IVC, IVD, IVE	Aceptable sin aprobación de la gerencia

TABLA 6

Escenario	Consecuencia	Probabilidad	Nivel de Riesgo	Decisión de Riesgo
A. Fractura en servicio	Catastrófica I	No es probable D	ID	No deseable. Aceptable por decisión gerencial
B. Pérdida en servicio	Crítica II	Ocasional C	IIC	No deseable. Aceptable por decisión gerencial
C. Fractura en paro	Crítica II	Ocasional C	IIC	No deseable. Aceptable por decisión gerencial