

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**



**PROYECTO DE INVESTIGACIONES METALÚRGICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**INSPECCIÓN Y REPARACIÓN DE FALLA POR FATIGA EN UN BALANCÍN  
PARA LA TRITURACIÓN DE PIEDRA EN LA FABRICACIÓN DE CEMENTO.**

**PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN APLICADA MEDIANTE EL USO DE END Y  
MÉTODOS EMPIRICOS DE RECONSTRUCCIÓN POR SOLDADURA.  
CASOS REALES.**

**Roberto Alejandro Aguilar Rivas**

**Enrique H. Soria Lemus**

**Guatemala, julio de 2010**

# INSPECCIÓN Y REPARACIÓN DE FALLA POR FATIGA EN UN BALANCÍN PARA LA TRITURACIÓN DE PIEDRA EN LA FABRICACIÓN DE CEMENTO.

Enrique H. Soria Lemus\* y Roberto A. Aguilar Rivas \*\*

(\*SIE LTDA. – Ensayos No Destructivos –. \*\*EIM-FIUSAC. Proyecto de Inv. Metalúrgicas).

## **Resumen**

*La falla por fatiga de un balancín de trituración, se investiga con la aplicación de Ensayos No Destructivos y se desarrolla un procedimiento empírico de reconstrucción por medio de soldadura con aplicación de tratamientos térmicos. Los resultados fueron totalmente efectivos y su calidad fue comprobada por aplicación del ensayo de ultrasonido.*

## **Inspection and repairing of a fatigue failure in a swing lever crusher stone of cement making.**

## **Abstract**

*The fatigue failure of a crusher swing lever is investigated through non destructive testing techniques, and an empiric reconstruction procedure of welding process with heat treatment application is developed. The results were totally effective and its quality was tested through ultrasonic essay.*

*Palabras Clave: Falla por fatiga, Ensayos No Destructivos (END), Reconstrucción por Soldadura, Tratamientos Térmicos, Swing Lever*

## **Introducción y Antecedentes**

La aplicación de los Ensayos No Destructivos, como herramienta en la investigación y caracterización de las fallas de los elementos metálicos, se realiza en la práctica del mantenimiento y control de calidad de la industria metalmeccánica, desde hace varios años. Por otro lado, la aplicación de las técnicas especializadas de soldadura ha sido la herramienta indispensable en la solución de fallas y reconstrucción de maquinaria y equipo. Ambas técnicas constituyen el conjunto idóneo en la conservación de la infraestructura nacional. Un caso sustantivo de lo expuesto se analiza a continuación:

El balancín de trituración de clinker (producto primario en la fabricación de cemento), denominado **swing lever**, que se aprecia en las fotografías que se muestran más adelante, constituye una masa de once toneladas métricas de peso, que sirve para la molienda de piedra y fabricación de clinker en los molinos que, para el efecto, se usan en la industria cementera. Esta masa sufrió una fractura por fatiga desde el agujero central, por donde se acuna el eje que sirve de pivote y de elemento de transporte de la fuerza motriz del sistema hasta la periferia.

## **Metodología de Investigación de las Características de la Falla y Diagnosis**

Los suscritos, realizaron la investigación de las características de la falla, por medio de la aplicación de técnicas de Ensayos No Destructivos (END), según la AWS, consistentes en Inspección Visual, aplicación de Tintas Penetrantes, Partículas Magnéticas y Ultrasonido, para definir la envergadura de la misma (Ver Fig. 1).

La falla consistía de agrietamientos con ramificaciones sin direcciones definidas, las que fueron totalmente identificadas por los métodos señalados, concluyéndose en que, debido a las características de la misma y a las condiciones de trabajo de la pieza, esta falló por fatiga mecánica, lo que implica que en la inmediata vecindad de la misma podrían existir tensiones residuales que, eventualmente, podrían dar origen a nuevas fallas.

### **Acciones Complementarias**

Con base en los resultados de los END, La falla fue reparada, inicialmente, bajo la definición de procedimientos y la supervisión de especialistas europeos, sin la aplicación de tratamientos térmicos de ninguna clase y el empleo de electrodo de Cromo-Níquel, considerado uno de los superelectrodos de alta versatilidad. No se consideraron los efectos producidos por una total diferencia de composición química entre material base y material de aporte, la velocidad de deposición, el calor generado durante el proceso y la disimilitud de los coeficientes de transferencia calórica entre el material base y el material del electrodo, ni las características cristalográficas y metalmecánicas de la zona afectada por el calor, habiendo fallado la reparación horas después con desprendimiento abrupto de la masa de aporte de aproximadamente 150 libras, y, consecuentemente, con el aumento de la magnitud de la falla.

### **Metodología y práctica experimental de reconstrucción**

Posteriormente, a la falla de la primera reparación, los suscritos realizaron el ensayo empírico “a la chispa”, de la masa del balancín, para verificar, en forma aproximada, la composición química del acero de la pieza, habiéndola ubicado con bastante aproximación en un acero AISI 1015/18. De acuerdo a la caracterización empírica señalada, definieron el procedimiento de reconstrucción por soldadura, tomando en cuenta el material base y sus coeficientes aproximados de transferencia calórica y dilatación térmica, habiendo seleccionado el tipo de material de aporte a emplear, totalmente compatible con el material base. Se concluyó en la necesidad de aplicar tratamientos térmicos pre, durante y post soldadura, y, se definió la velocidad adecuada de deposición del electrodo utilizado, tomando en cuenta la temperatura de aporte. Se definió un procedimiento de “levantado” hasta recuperar la sección perdida por el procedimiento anterior y luego la soldadura final de la grieta. Las fotografías ilustran los procedimientos referidos. La falla original y el “escarbado” en busca de la profundidad de la misma, se pueden apreciar en la siguiente fotografía:

Fig. 1. Falla original del swing-lever. Revelación por partículas magnéticas. Fuente: SIE/INDESA



La siguiente fotografía muestra la falla de la reparación inicial referida, realizada con el electrodo a base de Níquel-Cromo (70/15):

Fig. 2. Zona de desprendimiento de la primera reparación. Fuente: SIE/INDESA



Debido a las necesidades urgentes de disponibilidad del equipo de trituración, cuyo repuesto importado podría estar en el país en el mínimo término de seis meses, se diseñó una metodología experimental de investigación aplicada del proceso, a través de ensayos empíricos, por medio de la aplicación artesanal de tratamientos térmicos previos, durante y después de la soldadura, consistentes en la aplicación de calor en forma directa en el sitio de operación, utilizando multiflamas, como puede observarse en la Fig. 5, y, la aplicación de procesos de soldadura de acuerdo a las normas AWS. La homogeneidad de las temperaturas fue monitoreada permanentemente con termómetros laser.

Se definieron las temperaturas de los tratamientos térmicos, en función de la composición química, del tamaño y dimensiones específicas de la masa de

trituration; de igual forma se definieron los tiempos de homogeneización de la temperatura y la velocidad de deposición de la soldadura, así como el tamaño de los electrodos en función del calor de aporte. Se tomaron en cuenta los mecanismos de solidificación que regulan el proceso, así como las propiedades termodinámicas tanto del material base, cuanto del material de aporte, para evitar las fallas y defectos del proceso, esto es:

Gravedad específica del acero al bajo carbono:	7,85 Kg/ dm <sup>3</sup>
Punto de fusión estimado:	1500°C
Conductividad Térmica:	52W/ (m °K)
Calor específico:	0,46 KJ/ (Kg °K)

Modo de Transferencia Calórica: Por Conducción

Base de cálculo: acero al bajo carbono, tanto del material base cuanto del material de aporte.

Dimensiones y procedimiento de soldadura de acuerdo a AWS y ASM.

Composición metalográfica estructural resultante estimada, después de la soldadura: Ferrita, Perlita y Martensita.

A los efectos de protección del proceso de la acción del viento y de las características del ambiente, se construyó un recinto de aislamiento con ventilaciones previstas para la evacuación de humos y efectos contaminantes.

Se diseñaron los biseles adecuados, considerando desde el principio la eliminación de fisuras secundarias en la inmediata vecindad de la falla. Se aplicaron partículas magnéticas en busca de nuevas fisuras, hasta que ya no aparecieron las mismas.

Se precalentó la pieza hasta la temperatura de ejecución del proceso, realizándose un revenido preliminar y se procedió al levantado con controles intermedios por medio de los END.

las siguientes fotografías muestran el procedimiento de reparación aplicado por los suscritos. Fuente: SIE/INDESA.

Fig. 3. Diseño y ejecución del bisel necesario para la reconstrucción.



Fig. 4. Ejecución de la Reconstrucción por soldadura.



Fig. 5. Sostenimiento de la temperatura de ejecución.



Fig. 6. Terminación del proceso de reconstrucción.



Fig. 7. Aplicación de ultrasonido para verificación de calidad:



Fig. 8. Presentación final de de la sección reparada de la pieza.





## **Resultados**

La soldabilidad de los materiales de liga, fue total durante todo el tiempo del proceso. En la figura 6 se aprecia claramente la calidad de los cordones de soldadura, los cuales mantuvieron esa característica desde el principio de la operación. La calidad fue avalada permanentemente con la aplicación de END durante el proceso de reconstrucción y supervisión permanente las 24 horas, no habiéndose manifestado ninguna discontinuidad ni defectos de soldadura, de acuerdo a las normas AWS. Posteriormente, aproximadamente 48 horas después, como puede verse en la figura 7, se comprobó la falta de defectos internos por medio de la aplicación de ultrasonido, con lo cual se garantizó la efectividad de la reconstrucción. Cabe anotar que la pieza de trituración operó varios años después de su reparación.

## **Conclusiones**

De los resultados logrados durante la reconstrucción de la masa de trituración, tanto del proceso que falló, cuanto del aplicado por los suscritos, puede concluirse en lo siguiente:

1. El proceso de investigación e identificación de fallas por Ensayos No Destructivos, es efectivo y confiable cuando se cuenta con la calificación y experiencia en la aplicación de los mismos.
2. La soldabilidad de los materiales no depende exclusivamente de la alta calidad del material de aporte y de la calificación de los soldadores, sino de la definición completa del proceso basado en todas las variables termodinámicas que entran en juego.
3. La aplicación de las técnicas adecuadas de soldadura, combinadas con el conocimiento científico de la aplicación de los tratamientos térmicos, garantiza la soldabilidad de los materiales en juego.
4. Mediante la investigación experimental y el ensayo empírico, es posible desarrollar procesos efectivos de reparación, en el lugar de los hechos, cuando se conocen los efectos de las variables termodinámicas que entran en juego.

## **Recomendaciones**

A los Ingenieros responsables del mantenimiento curativo en la industria: avocarse a personal calificado para la toma de decisiones en cuanto a la realización de reparaciones como la expuesta, para evitar incurrir en gastos elevados por desconocimiento de los procesos aplicados y riesgos en la seguridad de las personas.

Recurrir a la consulta de las normas específicas, según el caso. En la situación expuesta se recurrió a la consulta de las normas AWS y ASM.

Tener presente los efectos termodinámicos que se manifiestan durante los procesos de soldadura.

## **Agradecimiento**

Los autores desean agradecer expresamente la colaboración de los señores Edwin E. Soria Juárez, Técnico en Ensayos No Destructivos, y, Gilberto Rosas, Técnico en Soldadura, por su colaboración en la realización del proceso descrito.

## **Referencias**

1. Aguilar Rivas R. A. Introducción a la Inspección de Soldaduras. Proyecto Regional de END Para América Latina y el Caribe. NU, RLA-82-T01 (1989). Guatemala.
2. Aguilar Rivas R. A. y Soria Lemus E. H. Inspección y Resolución de Fallas con aplicación de END y procesos de Soldadura en Equipos Industriales. Casos Reales. Proyectos de Investigación Aplicada Mediante el Uso de END y Métodos Empíricos de Reconstrucción por Soldadura. Casos Reales. SIE LTDA-INDESA. (2008). Guatemala.
3. Soria Lemus E. H. Laboratorio de Ensayos No Destructivos de la Carrera De Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería, USAC. Trabajo de Graduación (2004). Guatemala.

### **Enrique Humberto Soria Lemus**

Ingeniero Mecánico. Certificado de la AWS y de la API. Entrenamiento Avanzado en Ensayos No Destructivos, dentro de Proyecto Multinacional de Ensayos No Destructivos ONU-CNEA (Argentina). Director de SIE LTDA – Ensayos No Destructivos en Centroamérica y el Caribe –.

### **Roberto Alejandro Aguilar Rivas (Investigador Principal)**

Dr. Sc. Ingeniero Mecánico, Post-Doctorado en Metalurgia. Ex Investigador Asociado de la USAC, Programa Multinacional de Metalurgia, OEA-CNEA, Argentina. Director de INDESA – Ingeniería, Investigación y Desarrollo –. Profesor-Investigador, Escuela de Ingeniería Mecánica, FIUSAC.