

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



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

**“INSPECCIÓN Y REPARACIÓN DE FALLA DE UN HORNO DE CLINKER  
EN LA INDUSTRIA CEMENTERA”.**

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

**Enrique H. Soria Lemus**

**Roberto Alejandro Aguilar Rivas**

**Guatemala, Septiembre de 2011**

# **INSPECCIÓN Y REPARACIÓN DE FALLAS DE UN HORNO DE CLINKER EN LA INDUSTRIA CEMENTERA.**

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

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

## **Resumen**

*Se investiga el origen y características de las fallas en un horno de clinker de la industria cementera con apoyo de Ensayos No Destructivos y se desarrolla la metodología de reparación empírica expuesta en un trabajo previo<sup>3</sup>. La efectividad de los resultados fue totalmente satisfactoria.*

## **Abstract**

*The origin and characteristics of clinker furnace failures of a cement making industry are investigated with the application of Non Destructive Testing, and one empiric methodology of reconstruction exposed in a previous work<sup>3</sup> is developed. The effectiveness of the results was completely satisfactory.*

*Palabras clave: horno de clinker, tratamientos térmicos, precalentamiento, Ensayos No Destructivos, ultrasonido.*

## **Introducción y Antecedentes**

En el trabajo que fundamenta el presente artículo, se hizo uso de las técnicas de Ensayos No Destructivos (END) para la investigación de las características generales de las fallas que se presentaron en un horno de clinker de la industria cementera. De igual manera, se aplicó un ensayo empírico de reconstrucción por soldadura, similar al utilizado en un trabajo previo<sup>3</sup>, con la aplicación de tratamientos térmicos artesanales, bajo control total de tiempos y temperaturas.

El horno de clinker analizado, es un horno preparador de materia prima para la fabricación del cemento, en la industria de dicho material. Está conformado por un cilindro de grandes dimensiones, con una fase cónica denominada “Virola” y sus respectivos ductos de acceso calórico, para una operación a alta temperatura. El material de construcción es acero al bajo carbono. Los volúmenes de clinker – piedra caliza triturada sometida a cocción –, están constituidos por varias toneladas del mismo y el horno trabaja en voladizo. Las características del horno, lo hacen susceptible a solicitaciones tanto de tipo mecánico, cuanto térmico, por lo que la fatiga de ambos tipos puede hacerse presente en cualquier momento durante los procesos.

Debido a lo anterior, las principales fallas en la chapa del horno se hacen presentes en forma de fisuras, paulatina o abruptamente, las cuales se identifican hasta que ya han logrado un tamaño de consideración, y, las cuales pueden prosperar produciendo fallas catastróficas si no son atacadas a tiempo.

En el presente caso, se encontraron una serie de fallas que habían sido reparadas con acero inoxidable austenítico, lo cual, si produce una liga perfecta, aún en aceros de diferente composición, en los casos en donde entra en juego el efecto

de la temperatura, el material de aporte se comporta de forma diferente al material base dando origen a nuevas fallas.

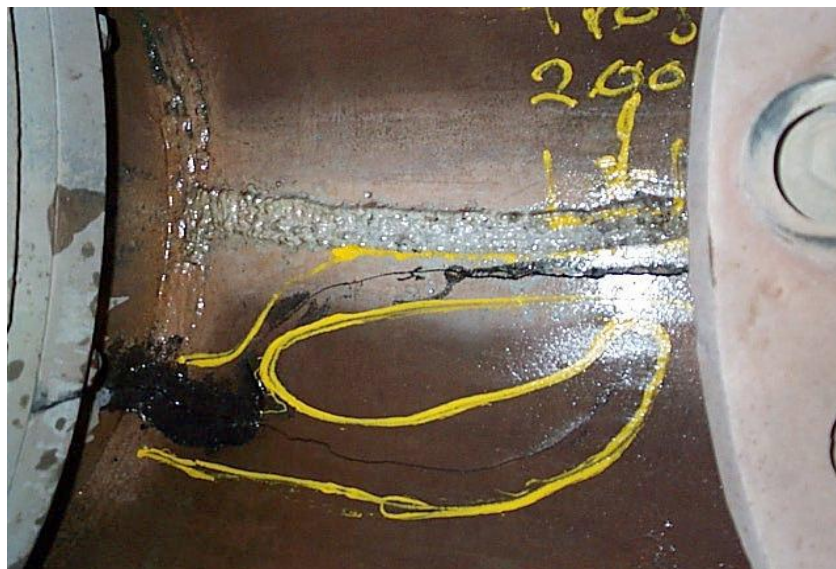
## Metodología de Investigación de las características de las fallas

Para la investigación de las características de las fallas, se procedió al empleo de los Ensayos No Destructivos (END): Inspección Visual, Ultrasonido y Partículas Magnéticas, habiéndose definido las mismas como se ve en las fotografías a continuación, en donde se puede apreciar, entre otras, las fallas en las zonas de aplicación de acero inoxidable, principalmente en las zonas afectadas por el calor. Algunos de los resultados de aplicación de ultrasonido se aprecian en las siguientes fotografías:

Fig. 1. Fallas en las soldaduras de acero austenítico.



Fig. 2. Fallas en las zonas afectadas por el calor creciendo en direcciones caprichosas.



## **Resultados del análisis de las fallas**

Como pudo observarse en gran parte de las fallas – fisuras y grietas en la chapa de la virola –, que no habían sido reparadas, las mismas son características de falla por el efecto combinado de la fatiga mecánica y la fatiga térmica. Sin embargo las que se manifestaron en la soldadura de acero inoxidable y la zona afectada por el calor, son consecuencia del efecto referido anteriormente y de la reparación realizada con materiales inadecuados, sin el tratamiento térmico correspondiente a tales situaciones, lo cual responde a materiales con diferentes propiedades termodinámicas.

### **Metodología de reparación en sitio. Ensayo Empírico.**

Se procedió a diseñar un procedimiento basado en la metodología de investigación empírica desarrollada en un caso anterior<sup>3</sup>, tomando en cuenta el material base y las condiciones de trabajo del horno, principalmente las sollicitaciones termo-mecánicas desarrolladas durante el proceso de producción, así como la normativa AWS relacionada con el tema. En tal sentido, por su versatilidad, se procedió a la aplicación de partículas magnéticas durante todo el periodo de reconstrucción. Como puede observarse en las fotografías anteriores, la mayoría de las fallas se encontraron en zonas que ya habían sido reparadas con materiales y procedimientos no adecuados.

Con base en lo anterior y de acuerdo a lo estipulado por las normas AWS aplicadas a las características señaladas, se diseñó un procedimiento de alto compromiso, habiéndose escogido un material de aporte de similar composición química a la del material base y tratamientos térmicos pre, durante y post soldadura, con utilización de multiflamas, tomando en cuenta posiciones especiales de aporte y métodos de limpieza preventiva para eliminación garantizada de residuos de escoria, porosidades y demás defectos inherentes al proceso.

Las siguientes fotografías ilustran los procedimientos empleados y la presentación final de las reparaciones realizadas. Cabe observar que las fallas analizadas presentaban ramificaciones secundarias que fueron detectadas por la aplicación permanente de las partículas magnéticas, lo que permitió la identificación total de las fallas presentes.

En la siguiente fotografía se observa el procedimiento de eliminación de fisuras y preparación del área a soldar, empleando pulidoras mecánicas. Se puede apreciar, también, el dimensionado de biseles de acuerdo al espesor de la chapa, y a las fisuras en sí, tanto las primarias como las secundarias. Dos terceras partes de la chapa se repararon desde la parte interior del horno, y, una tercera parte desde la parte exterior:

Fig. 3. Preparación de biseles



Fig. 4. Zona de reconstrucción lista para iniciar la soldadura.



Fig. 5. Inspección por Partículas Magnéticas de las fisuras existentes, antes de iniciar el proceso de soldadura:



Fig. 6. Mantenimiento de la temperatura durante el proceso de soldadura



Fig. 7. Aplicación de la soldadura. Posición Vertical Descendente



Fig. 8. Presentación final de una reparación, por uno de los lados externos del casco del horno.



## Resultados

Como puede verse en la figura 8, representativa del elevado número de fallas que fueron reparadas, los procedimientos de soldadura empleados fueron totalmente efectivos, lo cual se pudo garantizar por medio de la supervisión permanente, durante 24 horas diarias, y, finalmente constatarse por medio de la aplicación de ultrasonido.

La soldabilidad de los materiales en juego fue total, lográndose mediante la utilización del material de aporte adecuado y la aplicación de los tratamientos térmicos específicos.

La presentación final de las soldaduras, tanto internas como externas, puede apreciarse en la figura 8, ya que no era necesario entregar superficies pulidas.

## Conclusiones

La aplicación de los END en la investigación y análisis de fallas constituye una gran herramienta, ante todo para la caracterización de las mismas. Si bien estas técnicas no son capaces de indicar cuáles fueron las causales, ni de predecir su ocurrencia, contribuyen con gran precisión a su identificación. Por otra parte, el conocimiento o identificación de los materiales de construcción y aporte, así como de la aplicación de los tratamientos térmicos necesarios, y de las variables termometalúrgicas que entran en juego, permite diseñar las técnicas de reconstrucción que garanticen la puesta en operación de los equipos.

En el presente caso, además de la inspección visual, se realizó la aplicación combinada de la técnica de ultrasonido con el uso de las partículas magnéticas, con un alto grado de eficiencia como puede observarse en las figuras 1 y 2, y, en las 4 y 5.

Al ponerse las fallas en relieve, es posible determinar sus causas y posibles prevenciones, así como definir el proceso de reparación. Por otro lado, es evidente el apoyo que prestan los END durante el proceso de reconstrucción coadyuvando a la identificación de nuevas fallas o ramificaciones.

De acuerdo a lo anterior, puede concluirse en lo siguiente:

1. Las técnicas empleadas de END, permitieron identificar a totalidad las fallas ocurridas en la virola y, posteriormente, sus ramificaciones durante la ejecución de la soldadura, debido al efecto de la temperatura.
2. La selección del material de aporte fue de total compatibilidad con el material base.
3. El proceso de soldadura aplicado con el empleo de tratamientos térmicos pre, durante y post soldadura, fue totalmente efectivo como puede apreciarse en la figura 8, y, como pudo constatarse con la aplicación de ultrasonido.
4. La soldabilidad de los materiales en juego queda garantizada cuando se conoce el efecto complementario a la compatibilidad de tales materiales, proporcionado por la aplicación de los tratamientos térmicos.
5. El proceso de reparación empírico, diseñado en un caso previo<sup>3</sup>, implementado por los suscritos, y, aplicado a la virola, con total eficiencia,



constituye una garantía al confirmarse su repetitividad de acuerdo a los conceptos de la investigación científica.

## **Recomendaciones**

Al análisis de los resultados obtenidos durante el proceso de reconstrucción descrito, se recomienda lo siguiente:

1. A los afectados por los procesos de reparación sin fundamentos científico-técnicos: asesorarse de personal especializado y con experiencia en la resolución de casos reales.
2. A los técnicos dedicados a los procesos de reconstrucción por soldadura: Apoyarse permanentemente en las normas de específicas de la AWS, API, ASM, etc.

## **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. VI Congreso Nacional y III Regional de Ingeniería Mecánica. CIM 2009. Guatemala.
3. Aguilar Rivas R. A. y Soria Lemus E. H. Investigación y reparación de falla por fatiga en un balancín para la trituración de piedra en la fabricación de cemento. Presentado al Centro de Investigaciones de Ingeniería de la FIUSAC. (2008). Guatemala.
4. 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 dentro del Programa Multinacional de Metalurgia OEA-CNEA, Argentina. Director de INDESA, – Ingeniería, Investigación y Desarrollo –. Profesor-Investigador Escuela de Ingeniería Mecánica FIUSAC.