

EMPRENDIMIENTO, INNOVACIÓN Y LIDERAZGO EN INGENIERÍA MECÁNICA

ENTREPRENEURSHIP, INNOVATION AND LEADERSHIP IN MECHANICAL ENGINEERING

Dr. Sc. Ing. Roberto A. Aguilar Rivas

E-mail: raarivas@hotmail.com

Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería-Universidad de San Carlos de Guatemala,
Ciudad Universitaria zona 12, 01012, Ciudad de Guatemala, Centro América.

Recibido 17/08/2020; Aceptado: 02/12/2020

Resumen: Se analizan competencias y destrezas de la ingeniería mecánica, desarrolladas por tres empresas de emprendimiento en Ensayos No Destructivos (END), Tratamientos Térmicos de los aceros y Soldaduras, aplicadas a problemas del sector industrial nacional, mediante ejemplos reales de innovación y liderazgo.

Mientras se hace énfasis en la evolución de una de las empresas, mediante la innovación y desarrollo de las técnicas de END, hasta tomar el liderazgo en la región Centroamericana y parte del caribe, se hace referencia a los procesos de reparación aplicados por las tres empresas, en la práctica del mantenimiento curativo y la investigación aplicada “in situ”, con resultados óptimos.

Se describen los procedimientos desarrollados, de acuerdo a las necesidades emergentes de mantenimiento curativo de alta magnitud, en cada caso, con empleo de técnicas disponibles en el momento y, posteriormente, se hace referencia a técnicas innovativas empleadas en la actualidad para la resolución de los problemas.

Palabras clave: Ensayos no destructivos; tratamientos térmicos; soldadura; líquidos penetrantes; partículas magnéticas.

Abstract: Specific competencies and skills of mechanical engineering activities, developed by three entrepreneurship companies in Non-Destructive Testing (NDT), Heat Treatments of Steels, and Special Welds, applied to problems of the national industrial sector, are analyzed, directly involving real examples of innovation and leadership.

While emphasizing the evolution of one of the companies, through the innovation and development of NDT techniques, until taking the lead in the Central American region and part of the Caribbean, reference is made to the processes of technology applied in form interactive, by the three companies, in the practice of curative maintenance and applied "on-site" research, with optimal results.

It describes the procedures developed, in accordance with the emerging needs of curative maintenance of high-scale production companies, with the use of techniques available at the time. Subsequently, reference is made to innovative techniques used for problems solving.

Key words: non-destructive testing; heat treatments; welding; liquid penetrant methods; magnetic particles.

1. Introducción

La Escuela de Ingeniería Mecánica, EIM, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, FIUSAC, como un aporte al desarrollo nacional, ha sentado las bases de los conceptos reales de emprendimiento e innovación, que debieran tomarse en cuenta para las actividades futuras. De esta manera ha creado, entre otros, el “Proyecto de Investigaciones Metalúrgicas”, aportando algunas bases para emprendimientos universitarios, comprometido con la investigación científico-tecnológica en varios temas de la especialidad, con resultados beneficiosos que se encuentran a la disposición y que pueden ser consultados en la página web de la Escuela de Ingeniería Mecánica: (<http://emecanica.ingenieria.usac.edu.gt/sitio/>), y que se espera trasladarlos al sector productivo de las MIPYMES, mediante un proyecto piloto de transferencia de tecnología, para poder aportar las bases tecnológicas que sirvan de apoyo a la fabricación, mejoramiento e innovación de piezas metálicas necesarias para el consumo nacional, así como a la satisfacción de las demandas del mantenimiento mecánico.

En el presente artículo se analizan casos de investigación empírica realizada por el autor en la aplicación de procesos metalúrgicos, a la resolución “in situ” de problemas industriales, de gran envergadura, haciendo uso de las técnicas de ensayos no destructivos como técnicas de apoyo para diagnóstico de causas, y procedimientos empíricos de reparación por soldaduras especiales, mientras se exponen las metodologías específicas empleadas por las empresas de

emprendimiento involucradas, así como su evolución en aras de la innovación y el desarrollo.

2. Marco conceptual

2.1 Emprendimiento o Emprendedorismo

El concepto de emprendimiento o emprendedorismo, consiste en la acción de iniciar una actividad específica de desarrollo socioeconómico, que requiere del máximo de esfuerzo y dedicación, ya sea de un individuo o de una sociedad. Generalmente consiste en un proyecto que demanda de la creatividad para la realización de una empresa o negocio con fines lucrativos, generadora de empleo y productividad, enfrentándose a dificultades de todo tipo y competencias.

Un *emprendedor*, es la persona que inicia un nuevo proyecto bajo los conceptos citados. Es una persona con la capacidad de realizar un esfuerzo adicional por alcanzar una meta u objetivo específico, tendiendo a sustentar el *liderazgo* de la actividad, incluyendo, preferiblemente, el concepto de *innovación*.

La *innovación*, es un cambio o creación, que introduce novedades y que se refiere a modificar elementos ya existentes con el fin de mejorarlos o renovarlos. En ingeniería, consiste en la búsqueda, a través de la investigación científica y tecnológica, de nuevos conocimientos que mejoren o sustituyan las tecnologías existentes y que puedan ser trasladados a los sectores implicados en aras del desarrollo.

2.2 Ensayos No Destructivos

Los ensayos no destructivos son una modalidad de inspección y análisis de piezas, materiales y equipos que se realizan sin interferir con el uso de los mismos, permitiendo detectar discontinuidades o defectos que afecten su calidad o utilidad, sin modificar las características físicas, químicas o mecánicas que podrían perjudicar su uso posterior.

Estos ensayos se dividen en dos grandes grupos, a saber:

a) Métodos de ensayo visuales, empleados para la detección de discontinuidades superficiales, siendo los más comunes: el ensayo visual; ensayo por líquidos

penetrantes; ensayo por partículas magnéticas y, el ensayo por corrientes inducidas.

b) Métodos de ensayo volumétricos, empleados para la detección de discontinuidades, tanto superficiales, como dentro del material sujeto a ensayo. Aquí se destacan el método de ensayo por ultrasonido y el método por radiografía industrial.

En función de lo anterior, como en los casos que se analizan en el presente artículo, estos métodos se emplean también para monitorear el avance de los procesos de recuperación de piezas falladas, tanto por soldadura, como por otros procesos.

2.3 Soldaduras especiales

Aunque el término “soldaduras especiales” está sujeto a un alto grado de interpretaciones, en el presente artículo se emplea en la definición de los procesos empíricos utilizados para la reconstrucción de partes o elementos de maquinaria y equipo, que no han podido recuperarse por los métodos tradicionales de soldadura, por lo que se ha tenido que diseñar metodologías especiales de aplicación en el lugar de aplicación.

2.4 Tratamientos térmicos

Al igual que el concepto anterior, en el presente trabajo se da este nombre a los procesos de calentamiento pre, durante y post soldadura, realizados empíricamente durante los procedimientos de reconstrucción por soldadura, desarrollados en general en forma manual con aplicación de multiflamas.

3. Desarrollo del estudio

A la manera de ilustración se presenta un ejemplo de *emprendimiento ingenieril*, que reúne varias de las destrezas de la Ingeniería Mecánica, realizado por la empresa “SIE Ltda., Ensayos No Destructivos”, que en la actualidad ocupa el primer lugar nacional y centroamericano, abarcando parte del caribe, en la especialidad de aplicación de los Ensayos No Destructivos, y participando en varios casos en la solución de los problemas encontrados mediante la aplicación de tecnologías desarrolladas con el apoyo de la empresa “INDESA – Ingeniería, Investigación y Desarrollo” –, dedicada a la asesoría y asistencia técnica industrial, en el área de los procesos metalúrgicos, y de otra empresa emprendedora especializada en soldaduras especiales, “SPS – Servicios Profesionales de Soldadura–”, logrando resultados al por demás significativos en el desarrollo nacional, constituyendo también una especie de testimonios empresariales que se han puesto a la disposición de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la FIUSAC .

Esta metodología de análisis de empresas surgidas con el concepto de *emprendimiento e innovación* individualista, presenta bases sólidas en la aplicación de sistemas para la conformación de futuros emprendimientos.

A continuación, se presenta un breve análisis de la formación, evolución técnica y crecimiento en calidad e innovación de servicios de las empresas referidas.

SIE Ltda. fue fundada en el año 1979 por el Ingeniero Mecánico Enrique H. Soria Lemus, especialista en “Ensayos No Destructivos”, con el apoyo financiero de dos socios, iniciándose con la aplicación de Partículas Magnéticas, Tintas Penetrantes, Radiografía Industrial y Ultrasonido, con el mínimo de equipamiento para la localización de fallas y defectos en elementos de máquinas, siendo el Ingeniero Soria el único operario.

Por otro lado, la empresa SPS, – Servicios Profesionales de Soldadura –, despegó en forma individual, casi simultáneamente con SIE Ltda., por medio de su propietario el Perito en Soldadura Gilberto Rosas, que también se inició en la carrera de Ingeniería Mecánica, con la prestación de servicios especiales de soldadura y ahora cuenta con un plantel de aproximadamente 20 a 25 soldadores especializados, certificados bajo los conceptos de normas AWS y equipos de soldadura de primera línea.

A principios de los años 2,000, se asocian con la empresa INDESA – Ingeniería, Investigación y Desarrollo –, fundada por quien suscribe, con el fin de ampliar el campo de acción hacia la prestación de servicios técnicos, con la aplicación de procesos metalmecánicos especializados, y énfasis en soldaduras especiales.

En el inicio de la citada sociedad, la empresa SIE Ltda., ya contaba con varios operarios especializados, entrenados internamente en las áreas referidas y equipos manuales relativamente modernos, de acuerdo al medio, habiendo evolucionado y expandido sus servicios a Centroamérica y El Caribe.

En la actualidad SIE Ltda. cuenta con oficinas y laboratorios propios y un plantel, incluyendo personal administrativo, de aproximadamente cincuenta personas. Dos hijos del Ingeniero Soria, uno graduado de Ingeniero Mecánico, han sido entrenados en el exterior, en las técnicas de los END y proporcionan el apoyo principal al desarrollo de la empresa.

3.1 Metodología

Se presentan cuatro casos de falla reales y su reparación, en la industria nacional, mediante el análisis de las técnicas empleadas para resolverlos, con la participación conjunta de las tres empresas citadas, cada una en su especialidad, siguiendo los lineamientos de soldadura señalados en el Metals Handbook, ASME 1982, y el Welding Handbook, AWS 1987. Al final se hace una demostración de la aplicación de las mismas técnicas señaladas con un grado de tecnificación actualizada a nivel

mundial, bajo el concepto de innovación y desarrollo, respetando las normativas ASME 1998. Los procesos se analizan solo en el primer caso.

La evolución e innovación de la empresa SIE puede observarse mediante el análisis de dichos casos.

4. Resultados y análisis

4. 1 Inspección y reparación de falla en un balancín de acero al carbono

En un balancín de acero, de once toneladas de peso, para la trituración de piedra para la fabricación de cemento, con empleo de partículas magnéticas y ultrasonido, SIE Ltda. localizó una falla transversal consistente en una fisura longitudinal de aprox. 40 cm de longitud por 20 cm de profundidad. INDESA, mediante ensayo a la chispa, identificó el tipo de material del balancín y diagnosticó la falla tipificada con características de fatiga mecánica, diseñando la metodología de reparación de la misma, con aplicación de soldaduras bajo tratamientos térmicos empíricos. La empresa SPS –Servicios Profesionales de Soldadura–, ejecutó la reconstrucción de la pieza con las soldaduras diseñadas para el efecto, bajo monitoreo permanente de SIE e INDESA, con aplicación de inspección visual, partículas magnéticas y ultrasonido.

Las características de la falla permitieron identificarla como causada por fatiga mecánica con un alto grado de expansión.

La siguiente figura muestra la falla original y la preparación de biseles, realizada a ambos lados del balancín. Se aprecia claramente la magnitud de la falla. El proceso fue monitoreado con aplicación de partículas magnéticas para su identificación total.



Figura 1. Preparación de la pieza para su reparación. Fuente: Aguilar R. y Soria L. 2008.

El procedimiento de reconstrucción consistió en precalentamiento manual y levantado con soldadura, con limpieza entre cordones mediante empleo de pulidoras manuales, monitoreándose permanentemente el proceso con empleo de partículas magnéticas. Se emplearon posiciones de soldadura plana, horizontal y sobrecabeza.

Durante el proceso se realizó el mantenimiento permanente de la temperatura de operación con empleo de multiflamas y finalmente se realizó el calentamiento de revenido durante dos horas y media, y enfriamiento bajo control con recubrimiento de lana mineral en ambiente totalmente cerrado.



Figura 2. Aspecto final del área reconstruida. Fuente: Aguilar R. y Soria L. 2008.

La figura 2, es representativa de los procesos señalados y muestra los resultados obtenidos. Finalmente se realizó el pulido total, inspeccionándose con empleo de ultrasonido.

Los trabajos de reconstrucción permitieron a la pieza de once toneladas de peso, operar durante más de diez años sin daños relacionados.

4.2 Detección y reparación de falla en un crisol para galvanización de chapas de acero con empleo de tintas penetrantes

Se detectaron fugas cuantiosas de zinc, con invasión dentro del horno de calentamiento, habiéndose tenido que realizar un paro de emergencia y vaciado del crisol.

Se realizó análisis de chispa para la identificación del material del crisol, identificándose la chapa de 62.5 mm de espesor como acero al bajo carbono. Se diagnosticó la causa de falla como producida por fatiga térmica, con fractura atravesando la totalidad del material. Se diseñó y ejecutó reparación por soldadura eléctrica al arco, con aplicación de tratamientos térmicos empíricos, pre, durante y post soldadura, similares a los señalados en el caso anterior, con resultados totalmente satisfactorios.

La figura 3, muestra la aplicación del medio de contraste y la identificación total de la falla del crisol, con empleo de tintas penetrantes autoemulsificables y luz ultravioleta. Posteriormente se confirmó la identificación de la falla con aplicación de partículas magnéticas húmedas.

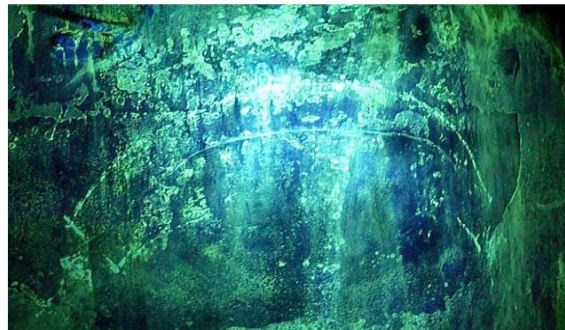


Figura 3. Falla del crisol. Fuente: Aguilar R. y Soria L. 20011.

4.3 Inspección y reparación de fallas de un horno de clinker en la industria cementera

A continuación se muestra la secuencia metodológica de inspección, con empleo de tintas penetrantes y partículas magnéticas, y reparación de una serie de fallas, cinco en total, debidas a técnicas inadecuadas de soldadura para la reparación de fisuras en el casco de un horno de clinker, de acero al bajo carbono, de 75mm de espesor.

La calidad del acero se definió por ensayo a la chispa.

El procedimiento preliminar de reparación había sido realizado con material de aporte no compatible con el material base, como se aprecia claramente en la figura, sin aplicación de tratamientos térmicos. Esto provocó los tipos de fallas que se observan.

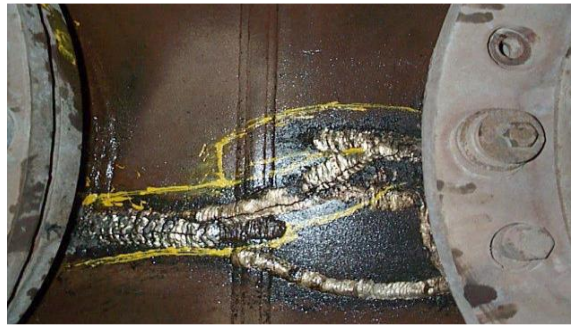


Figura 4. Fallas en los cordones y HAZ. Fuente: Aguilar R. y Soria L. 2011.

Se revelaron grietas longitudinales en los cordones de soldadura y en la zona afectada por el calor (HAZ). Conociéndose la calidad del material base, se diseñó el proceso de reparación por medio de soldadura al arco, con material de aporte de bajo hidrógeno compatible y aplicación de tratamientos térmicos. Como en el caso 1, se procedió a la separación de la parte dañada, incluyendo el material de aporte y la HAZ, y la preparación de los biseles.



Figura 5. Preparación de la base, zona de reconstrucción lista para iniciar la soldadura. Fuente: Aguilar R. y Soria L. 2011.



Figura 6. Monitoreo con partículas magnéticas, yunque manual. Fuente: Aguilar R. y Soria L. 2011.

Se realizó la reparación con aplicación de tratamientos térmicos, como en los casos anteriores, y monitoreo del proceso con partículas magnéticas.

En la figura 7, se aprecia el resultado final de la reparación, monitoreada con aplicación de ultrasonido. Se ve claramente el tipo de superposición de cordones (Metals Handbook, 1983, pp.89.), y la consistencia del levantado en la zona pulida. No se consideró necesario el pulido superficial de los cordones.



Figura 7. Presentación final con pulido de la parte vertical. Fuente: Aguilar R. y Soria L. 2011.

4.4 Inspección y diagnóstico de falla en una tubería de acero inoxidable. Aplicación de tintas penetrantes y radiografía

En un conjunto de tuberías de acero inoxidable austenítico para conducción de aguas suaves, por medio de la inspección visual y con aplicación de tintas penetrantes, se detectaron fugas de agua por aspersión, principalmente en las soldaduras de contorno y zona afectada por el calor. Este tipo de falla se manifestó intermitentemente a lo largo de toda la tubería convirtiéndose en un grave problema para los procesos de producción.

Para la identificación clara de las características de la fallas, y debido a que se trataba de acero austenítico, se realizó inspección por medio de tintas penetrantes autoemulsificables y posteriormente radiografía de rayos gamma.

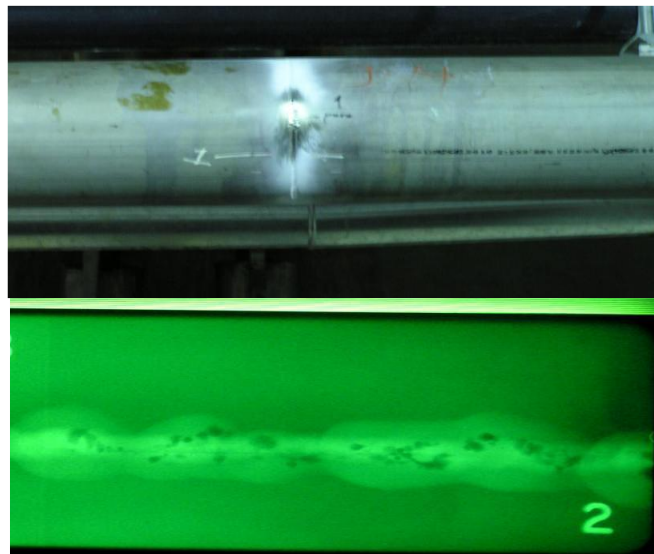


Figura 8. Tintas penetrantes y Radiografía de rayos gamma. Fuente: Aguilar R. y Soria L. 2019.

Se definieron los tipos de falla debido a corrosión por picaduras, causados por sensibilización en los cordones de soldadura y la HAZ, a causa de los procedimientos de soldadura sin control de las temperaturas de operación. Se recomendó la eliminación total de las zonas de falla y sustitución de todas las soldaduras con los procedimientos adecuados.

Los ejemplos anteriores dan crédito del desarrollo tecnológico logrado por las empresas señaladas, mediante sus respectivas competencias, operando en el inicio con técnicas manuales y equipos primarios de operación.

5. Evolución

A continuación, se presenta la evolución que ha tenido la metodología analizada y que convierte a SIE Ltda. – Ensayos No Destructivos –, además de su liderazgo en Centro América y el Caribe, en un ejemplo real de ***emprendimiento, innovación y liderazgo, vinculados directamente a la Ingeniería Mecánica y sus especialidades.***

Así como la magnitud y dificultad de los elementos que se inspeccionan en la actualidad ha crecido exponencialmente, hoy en día SIE Ltda. cuenta con equipos modernos para la realización de inspecciones de fallas y control de calidad por medio de ensayos no destructivos, que van de la mano con el desarrollo de dichas metodologías a nivel mundial. Las metodologías de diagnóstico y reparación “in situ” han evolucionado en función de las necesidades actuales.

Los siguientes ejemplos muestran la magnitud de los elementos que se inspeccionan en la actualidad y de los equipos modernos para el efecto, siguiendo, entre otras, las normativas ASME 1998.

Los equipos de NDT más relevantes que vale la pena analizar son los siguientes:

5.1 El PAUT (Phase array ultrasonic tester)

Este es un equipo ultrasónico, automático, detector de fallas o discontinuidades por arreglo de fases, puede realizar los ensayos con aplicaciones hasta de 32 o 64 canales en un solo evento, con respuestas inmediatas computarizadas.

Consiste en un equipo de aplicación masiva que se puede aplicar tanto en las empresas demandantes, cuanto en el campo.



Figura 9. Inspección de fondo con PAUT Fuente: archivos SIE-INDESA 2019.

5.2 El NAVIC-3

Este es un robot electrónico para detección de fallas de mayor magnitud y penetración, a distancias considerables, por medio de aplicación de ondas ultrasónicas, con arreglo de fases. Sustituye, en los casos necesarios, a los equipos tradicionales de aplicación de ultrasonido, proveyendo resultados en forma automática, computarizados y de alta resolución. Las figuras 10 y 11 muestran dos casos reales de aplicación del robot referido.

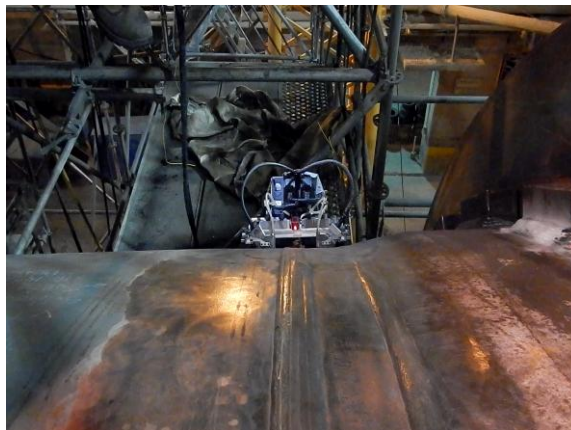


Figura 10. NAVIC-3. Robot de inspección ultrasónica automática a control remoto. Fuente: archivos SIE-INDESA 2019.



Figura 11. Inspeccion con NAVIC3. Fuente: archivos SIE-INDESA 2019.

5.3 El MFL (Magnetic flux leakage)

El MFL, o detector de fallas por fugas de flujo magnético, como su nombre lo indica, es un equipo electrónico que permite ubicar fallas o discontinuidades en estructuras de acero, en forma automática por medio de lecturas computarizadas. Este equipo se emplea en sustitución de los equipos o yunques de partículas magnéticas tradicionales. Se aprecia en la siguiente figura.

En la figura 12, se muestra la aplicación del MFL en el fondo de un tanque para el almacenamiento de combustibles, en donde, debido a la peligrosidad de las fugas que pueden suceder eventualmente, se hace necesaria la supervisión permanente por períodos prolongados. Los resultados del equipo han demostrado ser de suma eficiencia en la prevención de riesgos.



Figura 12. Inspección de fondo con MFL. Fuente: archivos SIE-INDESA 2019.

6. Conclusiones

Los aspectos evolutivos de **emprendimiento, innovación y liderazgo** expuestos, dan cuenta de una metodología pragmática, con base en competencias específicas de la Ingeniería Mecánica, basadas en eventos reales de servicio industrial, de tres empresas de emprendimiento, que han logrado su desarrollo tecnológico mediante la satisfacción de las necesidades de montaje y mantenimiento demandadas en la región, y que debieran emplearse como ejemplos por parte de las instituciones académicas involucradas, ya que representan resultados significativos de desarrollo científico y tecnológico del país.

7. Recomendaciones

Un sistema de mejora continua como el expuesto, podrá ser más valedero y exitoso si se involucra en él la participación conjunta e interactiva de los sectores nacionales totalmente responsables del desarrollo socioeconómico de los países, a saber:

1. Gobierno.
2. Sector productivo: pequeñas, medianas y grandes empresas.
3. Infraestructura Científico-Técnica encabezada por las universidades, centros de enseñanza e investigación en general.

8. Referencias bibliográficas

Aguilar R. Roberto. Metalurgia Básica para Ensayos No Destructivos. Proyecto Regional de Ensayos No Destructivos para América Latina y el Caribe, RLA-82-TO1. ONU-CNEA. Guatemala, 1984. 191 p.

Aguilar R. Roberto y Soria L. Enrique. Curso de Radiografía Industrial Nivel I. Proyecto Regional de Ensayos No Destructivos para América Latina y El Caribe, RLA-82-701. ONU-CNEA. Guatemala, 1984. 150p.

Aguilar R. Roberto y Soria L. Enrique. Metalografía y Ensayos No destructivos como apoyo al análisis y corrección de fallas en materiales y equipo. I Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica. Universidad Nacional de San Carlos. Guatemala, 2004.

Aguilar R. Roberto y Soria L. Enrique. Inspección y reparación de falla por fatiga en un balancín para la trituración de piedra en la fabricación de cemento. Revista CIENTIFICA, Vol. 5. No. 5 pp. 5-15, CII. FIUSAC. Guatemala, 2008. ISSN 1993-3711 y en línea 1993-372X.

Aguilar R. Roberto y Soria L. Enrique. Inspección y reparación de falla de un horno de clinker en la industria cementera. Proyecto de Investigaciones Metalúrgicas. EIM-FIUSAC. Guatemala, 2011.

Aguilar R. Roberto y Soria L. Enrique. Inspección y reparación de falla en un crisol para galvanización de chapas de acero. Proyecto de Investigaciones Metalúrgicas. EIM- FIUSAC. Guatemala,2011.

Aguilar R. Roberto y Soria L. Enrique. Inspección y análisis de falla por corrosión en una tubería de acero inoxidable. Proyecto de Investigaciones Metalúrgicas. EIM-FIUSAC. Infomecánica. Guatemala, 2019.

ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Nondestructive Examination. (Sección V). New York USA,1998.

Metals Handbook, Vol. 6. Welding, Brazing and Soldering. American Society for Metals (ASM), 1983. USA. p.p 75-95.

SIE LTDA. – INDESA. Archivos de resultados de análisis de fallas con aplicación de END y Metalografía. Guatemala, 2019.

Welding Handbook, Vol. I. Welding Technology, Chap. 5. American Welding Society (AWS). USA. 1987. p.p 123-158.