

## ***Tecnología de reacondicionamiento del mecanismo para fabricar cigarros en máquinas AMF-5000 / Reconditioning technology of the mechanism for making cigars in AMF-5000 machines***

Osmundo Héctor Rodríguez-Pérez<sup>1</sup> [hrgez@uho.edu.cu](mailto:hrgez@uho.edu.cu), <https://orcid.org/0000-0001-7558-087X>; Roberto Pérez-Rodríguez<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5741-5168>; Gilberto Israel Gurri-Villafruela<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0165-042X>

### **Institución de los autores**

<sup>1</sup> Universidad de Holguín

**País:** Cuba

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento - No Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



### **Resumen**

La recuperación de piezas constituye un proceso que facilita el retorno operativo o la funcionalidad de las piezas y partes de una determinada maquinaria, a su estado inicial o muy cercano al estado inicial. Las empresas que producen a ciclo continuo, como las productoras de cigarros, poseen líneas de producción compuestas por diversas tipologías de máquinas, equipos, accesorios, etc. En este artículo se presenta un análisis de la causa principal de la rotura y el proceso de recuperación del mecanismo para la conformación de cajetillas de cigarros de las máquinas AMF-5000, en la Empresa de Cigarros “Lázaro Peña” de la provincia de Holguín. Se utilizan en la investigación la experimentación, la tecnología para la recuperación de piezas por soldadura y el método de elementos finitos. Los resultados obtenidos demuestran la viabilidad de la solución propuesta.

**Palabras clave:** Reacondicionamiento; Soldadura; Tecnología; MEF.

### **Abstract**

The recovery of parts constitutes a process that facilitates the operational return or the functionality of the parts of a certain kind of machinery, to their initial state or very close to the initial state. Companies producing in a continuous cycle, such as cigar producers, have production lines made up of various types of machines, equipment, accessories, etc. This

article presents an analysis of the main cause of breakage and the recovery process of the mechanism for the making of cigarette packs of the AMF-5000 machines, at the “Lázaro Peña” Cigar Company in the province of Holguín. Experimentation, technology for the recovery of parts by welding and the finite element method are used in research. The results obtained demonstrate the viability of the proposed solution.

**Keywords:** Reconditioning; Welding; Technology; MEF

## **Introducción**

La Empresa de Cigarros “Lázaro Peña” tiene la misión de satisfacer el más exigente gusto de los consumidores, mediante la producción y comercialización mayorista de cigarrillos negros y rubios, con la calidad que le confieren las mejores mezclas del tabaco cubano, con una elevada gestión de los recursos humanos, financieros y cumpliendo con la Legislación ambiental vigente.

En el taller secundario de la empresa se encuentran instaladas las máquinas de fabricación de los cigarrillos y la máquina de envoltura dentro de las cuales se encuentran las máquinas con denominación AMF-5000. Este tipo de máquinas es la encargada de conformar las cajetillas. Las máquinas de envasar cigarrillos AMF-5000 organizan el flujo de cigarrillos mediante unos cilindros sacudidores y los hacen llegar en hileras al alimentador de la máquina. El papel o marquilla se le suministra en bobinas y sus mecanismos son capaces de conformar el envase y embalar ordenadamente los 20 cigarrillos que contiene cada cajetilla. Se garantiza mediante mecanismos electrónicos y mecánicos que el producto salga de este proceso con todos los requerimientos de calidad que se solicita.

Estas máquinas fueron fabricadas en el siglo pasado, con un considerable tiempo de explotación. La deficiente entrada de piezas de repuesto al país ha provocado el aumento de las fallas de estas máquinas, lo que ocasiona pérdidas considerables a la fábrica en términos económicos. Una de las causas de la baja eficiencia de las máquinas AMF-5000 es el desgaste y rotura del mecanismo para la conformación de cajetillas de cigarros, afectando directamente el sistema productivo.

La rotura en el mecanismo para la conformación de cajetillas de cigarros de las máquinas AMF-5000 ocasiona la interrupción del proceso productivo de la fábrica, ocasionando cuantiosas pérdidas, por tanto, la presente investigación identificó como problema tecnológico, la recuperación del mecanismo para la conformación de cajetillas de cigarros de las máquinas AMF-5000. El objetivo de esta investigación consiste en el desarrollo de una tecnología de

reacondicionamiento por el método de soldadura bajo gases protectores con electrodo de tungsteno (TIG, Tungsten Inert Gas) basado en el análisis del estado tensional de la solución tecnológica por el método de los elementos finitos.

### **Reacondicionamiento de piezas**

Los procesos tecnológicos asociados a la soldadura y la recuperación ocupan un lugar fundamental en la recuperación de piezas y partes de equipos, ya que con ellos se puede resolver una gran parte de los problemas de desgaste o averías que sufren las piezas. El tipo de deterioro o rotura, las dimensiones y formas de las piezas, el tipo de material base, las condiciones de trabajo, el acceso a las zonas dañadas, etc. son factores que condicionan la solución del método de soldadura o recargue que se debe emplear, además, le imprimen un sello característico de complejidad tecnológica, al requerirse en los casos más complejos de un enfoque multidisciplinario para solucionar el problema en cuestión (Nieves y Madruga, 1994).

La recuperación de piezas por soldadura se utiliza generalmente en caso del deterioro en las piezas y en el rellenado de superficies desgastadas con materiales especiales. La recuperación de piezas por recargue se emplea con el objetivo de devolver a la pieza desgastada su forma y propiedades originales, a través de un material de aporte de propiedades particulares.

El Instituto Internacional de Soldadura define el recargue como la operación consistente en depositar, mediante el proceso de soldadura por fusión, soldadura fuerte o proyección gasotérmica, una o varias capas metálicas de composición y propiedades dadas, sobre una parte o la totalidad de la superficie del material base (Rodríguez, 1996). La recuperación de piezas ha sido una temática ampliamente utilizada a escala mundial (Opresnik y Taisch, 2015; Ridley y Ijomah, 2015), en el caso concreto de nuestro país, ha tenido una repercusión económica importante en función de la necesidad de recuperar las piezas y equipos.

Autores como Batista, 2001) exponen el estudio de las características micro-estructurales de la zona de influencia térmica con el uso de diferentes tipos de electrodos, así como el régimen óptimo de trabajo. Calvo y García, 2010 desarrollaron un método denominado “energético”, con el objetivo de calcular los costos de la recuperación por el método de soldadura.

Hernández y colaboradores (2006) por su parte, utilizaron un nuevo esquema de análisis para el cálculo de las tensiones en la sección de la garganta de los cordones de soldadura de las uniones a solape con costuras de filete longitudinal y transversal. Obtuvieron expresiones de

cálculo que se corresponden mejor que las expresiones clásicas con relación a los valores obtenidos por el MEF (Método de Elementos Finitos).

Batista y colaboradores, 2005 realizaron una investigación que trató sobre las características micro estructurales de la zona de influencia térmica, así como el régimen óptimo de trabajo a utilizar con el uso del electrodo de corte y ranurado. En éste, se seleccionaron dos valores de intensidad de 180 A y 240 A, así como dos valores de ángulos ( $10^\circ$  y  $20^\circ$ ). Para lograrlo, fue necesario hacer un estudio del comportamiento de la zona de influencia térmica en diferentes materiales (el acero 20, acero 65 Mn e hierro fundido).

Rodríguez (1996) estudió las propiedades de los diferentes tipos de hierros fundidos, los problemas de su soldabilidad, principios del precalentamiento y ofreció las recomendaciones para la soldadura en frío y en caliente para los diferentes tipos de hierros fundidos. También analizó los pasos tecnológicos para la recuperación de piezas de acuerdo al tipo de rotura, lo que sirvió de base para la elaboración de la tecnología de fabricación de la pieza.

Rodríguez (2007) describe los requisitos que se deben tener en cuenta para poder realizar la recuperación de una pieza. Se refieren dos ejemplos de gran envergadura desde el punto de vista tecnológico. El MEF ha sido utilizado de manera amplia e intensa en los campos más diversos de la ingeniería mecánica (Madenci y Guven, 2015).

### **Consideraciones teóricas para la recuperación de piezas de hierro fundido por soldadura**

Los hierros fundidos son aleaciones de hierro y carbono, en los cuales el contenido de carbono varía entre el 2 % y el 6,7 %, aunque en la práctica varía entre 2,6 % y 3,7 %. Los elementos que siempre se encuentran presentes en los hierros fundidos son el carbono, manganeso, silicio, fósforo y azufre, aunque en algunos tipos se pueden encontrar el níquel, cromo, cobre, etc. Al igual que los aceros, los hierros fundidos son aleaciones de hierro y carbono, pero se diferencian de éstos en los siguientes aspectos: mayor contenido de carbono, en su estructura puede aparecer la ledeburita, la perlita, la ferrita y el grafito, mayor contenido de silicio, manganeso, fósforo y azufre, menor punto de fusión ( $1\ 150\ ^\circ\text{C}$ ), lo que provoca una mayor fluidez y poca capacidad de admitir deformaciones en comparación con el acero.

Existen diferentes tipos de hierros fundidos de acuerdo con el método de obtención de los mismos y con la forma en que se encuentre el carbono en ellos, éstos son: hierros fundidos grises, de alta resistencia (nodular), blancos, maleables, con grafito compactado y aleados con cromo, níquel, etc.

La estructura y propiedades de los hierros fundidos dependen fundamentalmente de los siguientes factores: composición química, velocidad de enfriamiento y tratamiento térmico. En la soldadura de los hierros fundidos se presentan problemas fundamentales y secundarios. Los problemas fundamentales son los siguientes:

- a) El surgimiento de grietas debido a las características físico-químicas del material (plasticidad casi nula). Esto constituye un problema específico en la soldadura de los hierros fundidos. La presencia del grafito en forma laminar constituye un factor que favorece el desarrollo del agrietamiento.
- b) La formación más o menos localizada de cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), que se puede presentar tanto en la zona fundida como en la zona de influencia térmica, dificulta grandemente la maquinabilidad de los hierros fundidos, cuestión en muchas ocasiones necesaria en la reparación de algunas piezas de estos materiales. Este problema tiene lugar al quemarse el silicio el cual favorece el fenómeno de la grafitización y también debido a la rápida velocidad de enfriamiento.

Los problemas secundarios son los siguientes:

- a) La formación de poros en la zona fundida, debido a que, por el alto contenido de carbono en estos materiales, se forman óxidos de carbono ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ), que no tienen tiempo de escapar del baño fundido por su rápido enfriamiento.
- b) La formación de una película refractaria de óxidos de silicio y manganeso durante el proceso de soldadura, la cual tiene un alto punto de fusión con respecto al metal base.
- c) La alta fluidez de los hierros fundidos que es necesaria desde el punto de vista de fabricación de los mismos, provoca la dificultad de soldar estos materiales en posiciones inclinadas, verticales y sobre cabeza.

En la soldadura de los hierros fundidos grises se aplican los procedimientos de soldadura manual por arco eléctrico y el de soldadura manual con llama oxiacetilénica, los cuales tienen una relación directa con los métodos de "soldadura en frío" y "soldadura en caliente" de los hierros fundidos.

## **Materiales y métodos**

### **Caracterización del mecanismo para la conformación de cajetillas**

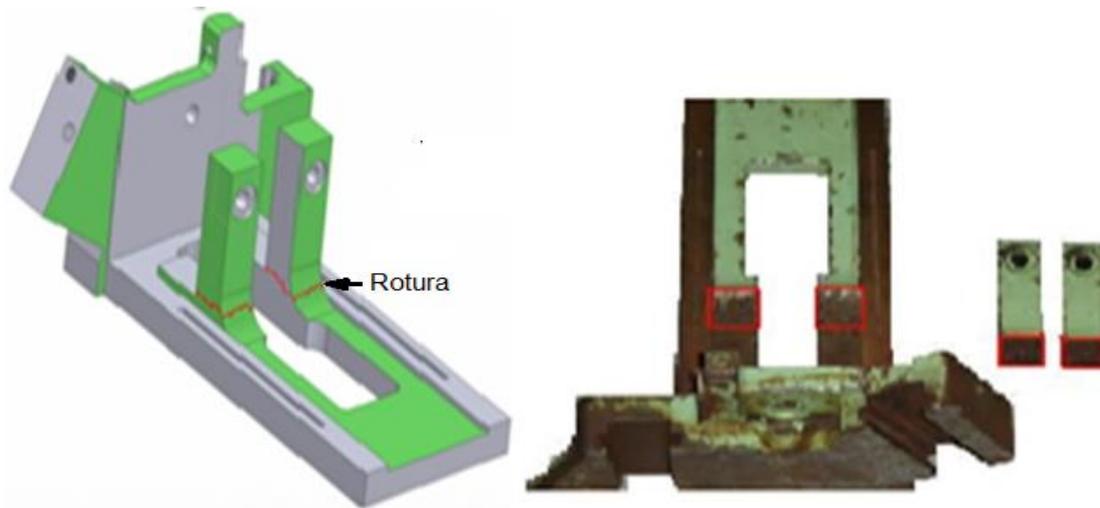
La pieza objeto de estudio (Figura 1) está fabricada de fundición gris con una composición química de 3,2% de C, 2,5% de Si y 0,095% de P. Contiene láminas de grafito en una matriz o base metálica perlítica. Presenta una dispersión entre las láminas de cementita de alrededor

de  $0,2 \mu\text{m}$ . Las regiones blancas representan eutécticas de fósforo. La muestra se sometió a un análisis metalográfico, arrojando los resultados que a continuación se exponen a continuación.

### Formas de las inclusiones de grafito en el hierro fundido

Las inclusiones de grafito son en forma laminar encorvada, correspondiente según norma a la escala (Gf2), (I) (ISO 945-75), con una longitud entre  $120 \mu\text{m}$  y  $250 \mu\text{m}$  (GfL180); (4) según (ISO 945-75), cuya distribución es en forma de colonias (Gfd3), y en una cantidad que ocupa entre el 6 % y el 8 % del área total.

El tipo de base metálica observada es perlítica, que se corresponde con el grado P96 (F4) para un 94 % a un 98 % de perlita y entre un 2 % y un 6 % de ferrita. La dispersión de las láminas de perlita en la estructura del hierro fundido se encuentra entre  $0,3 \mu\text{m}$  y  $0,8 \mu\text{m}$ . En la estructura se observa la presencia de eutéctica ternaria de fósforo (esteadita- fosfuro de hierro  $\text{Fe}_3\text{P}$ ), correspondiente al grado (F2) -eutéctica pseudodoble- fosfuro-cementita, con una distribución del diámetro de la red mayor a  $1\ 250 \mu\text{m}$ .



**Figura 1.** Pieza principal del mecanismo para la conformación de cajetillas de cigarrros y zona de rotura.

Un análisis de las roturas de estas piezas supone dos posibles causas, coincidiendo ambas en que la rotura se produce por la fatiga y desgaste del material, son:

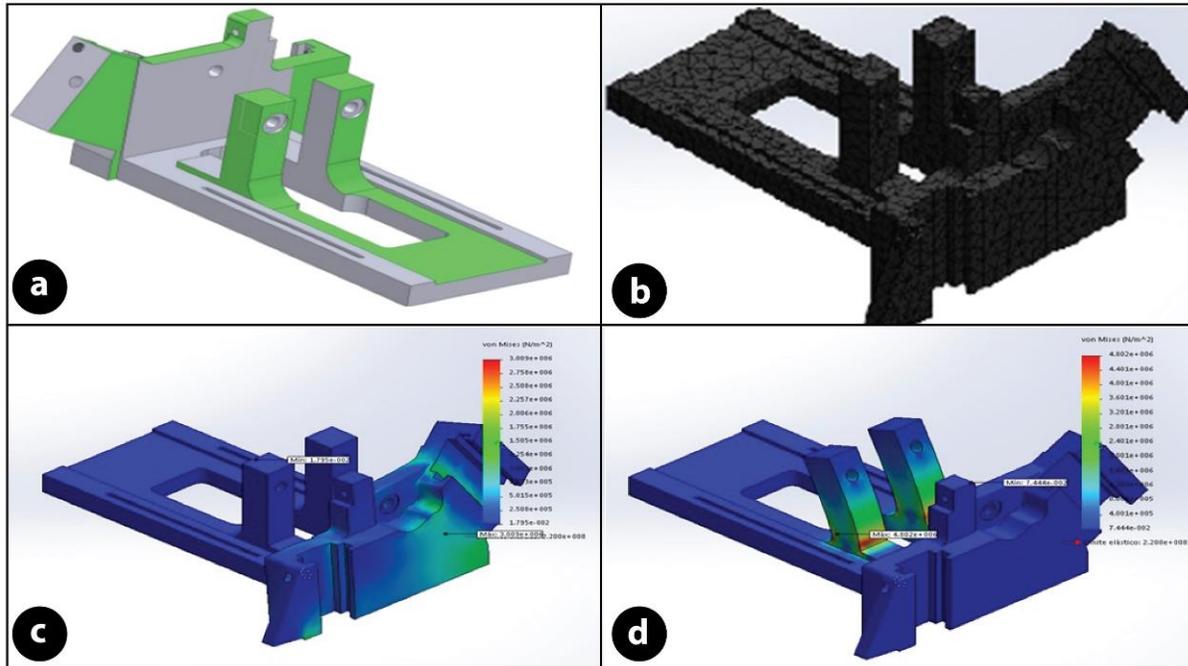
- Cuando el mecanismo para la conformación de cajetillas de cigarrros está ejerciendo su función principal, ocurre una sobrecarga debido a la presión de los resortes.
- En el funcionamiento de la máquina AMF-5000 se genera una gran cantidad de polvo debido a la fragmentación de la hebra contenida en el cigarrillo. Esto trae como

consecuencia una sedimentación de éste polvo en las partes móviles de los diferentes elementos de la máquina, y en mayor proporción en el mecanismo para la conformación de cajetillas de cigarros.

## Resultados

### Determinación del estado tensional del mecanismo para la conformación de cajetillas por el método de los elementos finitos

El primer paso del proceso de análisis del estado tensional del mecanismo objeto de estudio, fue la modelación CAD con el *software SolidWorks* de la pieza objeto de estudio (Figura 2, a). Para realizar el estado tensional de la pieza se utilizó el *software SolidWorks Simulation*. Luego al modelo CAD se le asigna el material (en este caso un hierro fundido), y se procede al proceso de caracterización de las cargas a las cuales está sometida.



**Figura 2.** Cronología tecnológica de la modelación CAD y el análisis por el método de los elementos finitos del mecanismo objeto de estudio.

Para el análisis utilizando el MEF, primero se definió un tipo de estudio y a continuación se le aplicaron directamente sobre la geometría CAD las cargas y condiciones de contorno de la pieza. Además, se definieron las propiedades del material y se realizó el mallado FEM. Como datos de la pieza se tienen: masa de 4,5 kg, densidad de 7 250 kg/m<sup>3</sup>, y un peso de 44,24 N. La tarea de mallado FEM de la pieza soporte es una de las fases más importantes. La Figura 2b muestra el mallado en las diferentes zonas del modelo.

Se realizó por el MEF un primer análisis del mecanismo para la conformación de cajetillas, donde se consideraron las condiciones normales de funcionamiento, tal y como expresa en su documentación tecnológica. Este es el momento donde el mecanismo está subiendo, ejerciéndose la mayor carga debido a la presión de los resortes, aplicándole una fuerza de 100 N/m muy superior a la de trabajo, que es de 2 N/m. Se consideraron dos escenarios posibles.

**Escenario 1.** Cuando el mecanismo para la conformación de cajetillas de cigarros está subiendo, se ejerce la mayor carga debido a la presión de los resortes aplicándole una fuerza de 200 N/m, muy superior a la de trabajo (Figura 2, c).

**Escenario 2.** Análisis del mecanismo para la conformación de cajetillas de cigarros, bajos las condiciones de operación, pero considerando la acumulación de sedimentos producto del polvo que se genera en el proceso de empaquetamiento de las cajetillas. En este caso se aplica una presión de 200 N/m<sup>2</sup> (Figura 2, d).

Como se observa en los estudios de los dos escenarios, las tensiones que surgen en la pieza como reacción al aplicarle una fuerza de hasta 200 N, no sobrepasa el límite elástico del material, por tanto, la pieza resiste. Esto se observa claramente en el gráfico del coeficiente de seguridad, pues para que la pieza se rompa es necesario aplicarle una fuerza 66,31 veces superior para que se produzca una rotura.

El análisis por el método de los elementos finitos realizado, permitió determinar numéricamente las condiciones tensionales del mecanismo para la conformación de cajetillas de cigarros en las máquinas AMF-5000, incluso, cuando se consideran sobrecargas. Esto permitió definir la tecnología de recuperación por soldadura que a continuación se describe.

### **Tecnología de soldadura manual por arco con electrodo refractario en atmósfera protectora de gas inerte (TIG) para la recuperación del brazo de la cremallera**

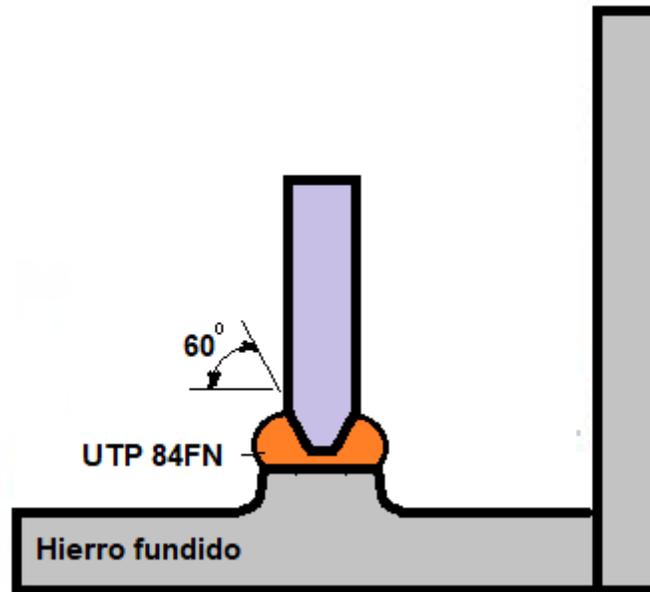
#### a) Preparación de la pieza (Figura 3)

1. Las superficies de las piezas no deben tener aceites, grasas, suciedades, pinturas, etc.
2. El material oxidado debe ser eliminado con disco abrasivo hasta el brillo metálico.
3. Para eliminar las grasas y los aceites se debe utilizar tetracloruro de carbono.
4. Preparación de los bordes con disco abrasivo en forma de U.

#### b) Proceso de soldadura

1. Aplicar un pequeño precalentamiento de 60 °C con antorcha.
2. Se debe soldar con electrodos de diámetro 3 mm y con las menores intensidades de corriente eléctrica posibles.

3. Aplicar corriente directa con polaridad invertida (CDPI).
4. Los cordones se depositan con una longitud máxima de 30 mm y un ancho de 6 mm. Se deben depositar de forma alterna.
5. Los cordones se deben martillar en caliente con martillo de bronce desde el final al inicio del cordón para eliminar los gases que queden atrapados en la soldadura.
6. Se utilizarán electrodos a base de níquel o níquel hierro para evitar la formación de cementita (Electrodo UTP 84 FN básico).



**Figura 3.** Preparación de los bordes del mecanismo de conformación de las cajetillas.

### Conclusiones

Se manifiesta que la recuperación por soldadura propuesta para la pieza principal del mecanismo para la conformación de cajetillas de cigarros de las máquinas AMF-5000 es efectiva desde el punto de vista de la presión de trabajo y del impacto a la que está sometida, incluso, cuando se considera la presencia de sedimentos producto de la acumulación de desechos. Se logra una tecnología de soldadura adecuada con el empleo del método de soldadura en frío para soldar los hierros fundidos, aplicando un precalentamiento de 60 °C con antorcha y el electrodo UTP 84 FN de revestimiento básico.

### Referencias Bibliográficas

Nieves G., O., Madruga A., E (1994). *Manual de recuperación de piezas*. Mérida: Ed. Consejo de Publicaciones de la Universidad de los Andes, Venezuela.

- Opresnik, D., y Taisch, M. (2015). The manufacturer's value chain as a service - the case of remanufacturing. *Journal of Remanufacturing*, 5(2).  
<http://www.journalofremanufacturing.com/content/5/1/2>
- Ridley, S.J., y Ijomah, W.L. (2015). A novel pre-processing inspection methodology to enhance productivity in automotive product remanufacture: an industry-based research of 2196 engines. *Journal of Remanufacturing*, 5(8).  
<http://www.journalofremanufacturing.com/content/5/1/8>
- Batista, R. (2001). Influencia de los parámetros de corte con electrodo en las características de la zona de influencia térmica (ZIT), *Ingeniería Mecánica*, 3, 19-24.  
<http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/313>
- Calvo, A.E. y A. García (2010). *Determinación de la rentabilidad real de la recuperación de piezas empleando la soldadura*. VI Congreso Cubano de Ingeniería Mecánica y Metalúrgica, Ciudad de la Habana.
- Hernández, R., Moya, J., Jackson, I.M. (2006). Nuevas expresiones para el cálculo a torsión de costuras soldadas de filete de configuración compleja, *Ingeniería Mecánica*, 3, 27-34. <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/164>
- Batista, R., Collazo, R., Gómez, D.M. (2005). *Características de la zona de influencia térmica bajo el régimen de corte con electrodo*. Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura. Cuba.
- Rodríguez Pérez, O. H. (1996). *Metalurgia de la soldadura*. Ciudad de la Habana: Ed. Pueblo y Educación. <https://es.scribd.com/doc/2257115/METALURGIA-DE-LA-SOLDADURA-2>
- Rodríguez Pérez, O. H. (2007). *Desarrollo fabril de la recuperación de piezas en Cuba*, III Conferencia Científica Internacional de la Universidad de Holguín, Holguín, Cuba.
- Madenci, E., y Guven, I. (2015). The finite element method and applications in engineering using ANSYS®. Springer. <https://www.springer.com/gp/book/9781489975492>

## Síntesis curricular de los Autores

**Dr. C. Osmundo Héctor Rodríguez-Pérez**<sup>1</sup> [hrgez@uho.edu.cu](mailto:hrgez@uho.edu.cu), [hector041246@gmail.com](mailto:hector041246@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0001-7558-087X> Profesor titular del Departamento de Ingeniería mecánica. Universidad de Holguín. Línea de investigación: tecnologías de recuperación de piezas por procesos de soldadura.

**Dr. C. Roberto Pérez-Rodríguez**<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5741-5168>  
[roberto.perez@uho.edu.cu](mailto:roberto.perez@uho.edu.cu) Profesor titular del Departamento de Ingeniería mecánica. Universidad de Holguín. Línea de investigación: diseño y fabricación asistida por computadoras

**Ms. C. Gilberto Israel Gurri-Villafruela**<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0165-042X>  
[gurrigv@gmail.com](mailto:gurrigv@gmail.com) Profesor Auxiliar del Departamento de Ingeniería mecánica. Universidad de Holguín. Línea de investigación: Desarrollo de tecnologías y materiales.

## Institución de los autores

<sup>1</sup> Universidad de Holguín

**Fecha de Recepción:** 4 de agosto 2020

**Fecha de Aprobación:** 23 de septiembre 2020

**Fecha de Publicación:** 30 de octubre 2020