

# DISEÑO DE METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE APLICACIONES DE SOLDADURA LÁSER EN LABORATORIO MULTIFUNCIONAL ROBOTIZADO

J. Luis Villalón[1], Dr. Dirk Frederik de Lange[2].

[1]Alumno del Posgrado en manufactura avanzada de CIATEQ campus SLP, [2]Target Robotics SA de CV.

[luis.villalon@targetrobotics.com](mailto:luis.villalon@targetrobotics.com)

## RESUMEN

La presente publicación es un acercamiento al diseño experimental, para la evaluación y optimización de parámetros de proceso de soldadura láser, de potencias superiores a los 2KW, para láminas de acero al carbón, de hasta 24 mm de espesor. Se desarrolla una serie de procedimientos y metodologías de experimentación, que permitan, de una forma estandarizada y bien sustentada, evaluar y determinar los parámetros óptimos de soldadura láser para aplicaciones variadas.

Los procedimientos y metodologías de pruebas generados en esta investigación, son aplicables para un laboratorio multifuncional que consta de un resonador láser de 4KW, montando el cabezal en un robot de seis grados de libertad, que permita soldar piezas aseguradas en un banco de trabajo. Los resultados permitirán la evaluación de diferentes aplicaciones, para determinar la viabilidad técnica y económica para emigrar, de un proceso de soldadura convencional, a un proceso de soldadura láser, mediante la utilización de un sistema de manufactura flexible.

Palabras clave: soldadura, laser, robot.

## 1. INTRODUCCIÓN.

### 1.1. Antecedentes

La industria en general, especialmente la automotriz, está modificando constantemente sus estándares de procesos productivos, con el objetivo de volverlos cada vez más eficientes.

Uno de los procesos que ha recibido especial atención es el de soldadura, por las áreas de oportunidad generadas a consecuencia de los avances tecnológicos en las técnicas y equipos para producirlo.

Se comprobó la viabilidad de sustituir procesos de soldadura MIG y SPOT por soldadura láser, debido a la reducción de tiempo que representa. Por lo que la mayoría de las líneas de producción que fabricarán autopartes en el 2016, estarán compuestas por estaciones de soldadura láser robotizadas.

Los sistemas láser en tres planos suelen utilizar CNC, los cuales son costosos. El robot ha comenzado a desplazar con éxito las aplicaciones 3D, reduciendo el costo considerablemente.

Aunque en México se tiene algo de conocimiento de sistemas láser de bajas potencias para aplicaciones de grabado y marcaje en un plano, no existe el conocimiento para desarrollar sistemas industriales de soldadura láser operadas con robots, con los estándares de calidad, eficiencia y seguridad que exige la industria en general.

## **1.2. Planteamiento del problema.**

Para determinar si una aplicación de soldadura o corte puede optimizarse mediante la utilización de sistemas láser, se requieren pruebas realizadas en un laboratorio con personal calificado.

Actualmente estas pruebas son realizadas en el extranjero, donde tienen un costo muy elevado, pero principalmente, los resultados no están enfocados a dar una solución que pueda satisfacer un mercado con características tan particulares como el de la industria mexicana.

Aun cuando se haya determinado que la implementación de una solución de manufactura mediante procesos de soldadura láser es viable técnicamente, la implementación se vuelve inviable, debido a la necesidad de importar tecnología y conocimiento a un alto costo.

Esto elimina la posibilidad de crear centros de producción que utilicen procesos asistidos con láser en México, creando una desventaja competitiva frente a países emergentes como Brasil e India.

Lo anterior, muestra la importancia que tiene el desarrollar un laboratorio en donde se puedan evaluar aplicaciones de soldadura, con el objetivo de determinar la viabilidad de realizarlas mediante soldadura láser, así como encontrar los parámetros de proceso de aquellas aplicaciones que hayan sido determinadas como viables, permitiendo esto, una conceptualización del diseño de la estación de manufactura que dará la mejor solución, considerando las características económicas de la industria en México.

## **1.3. Justificación.**

El desarrollo de los procedimientos de experimentación permitirá la selección del equipo y la construcción de un laboratorio con características multifuncionales, que abarquen rangos amplios de tamaño y formas de piezas. Ambos, un laboratorio de pruebas y una metodología experimental, brindarán a industrias mexicanas, la posibilidad de conocer la información sobre la pertinencia de realizar una inversión en tecnología, con el objetivo de volver sus procesos más competitivos.

#### **1.4. Objetivos**

##### GENERAL

- a) Generar una metodología experimental de evaluación y caracterización de aplicaciones realizadas mediante procesos de soldadura convencional, que permita a investigadores desarrollar estudios paramétricos, buscando la optimización del proceso mediante una estación robotizada de soldadura asistida con láser, en un laboratorio multifuncional, con capacidad para evaluar una variedad de aplicaciones, con fines experimentales, así como la obtención de los parámetros óptimos de proceso para una aplicación, mediante ésta metodología.

##### ESPECÍFICO

- a) Desarrollar herramientas que permitan evaluar y optimizar aplicaciones de procesos de soldadura, para determinar si pueden realizarse de manera más eficiente, mediante la utilización de soldadura láser con robots, y tecnología de punta.
- b) Definir los estándares de diseño de experimentos para una estación de manufactura robotizada para aplicación de soldadura asistida por láser.
- c) Desarrollar un procedimiento que permita la conceptualización, el diseño y la selección de equipo de una estación de manufactura para una aplicación de específica.

##### PARTICULAR

- a) Generar un procedimiento que ayude en la selección del mejor proceso de soldadura, para una aplicación específica.
- b) Contar con un laboratorio y personal calificado, accesible a la industria mexicana, para evaluar e implementar soluciones a aplicaciones de soldadura, mediante el uso de tecnología láser y robots, que permitan mayor competitividad a la industria manufacturera mexicana.
- c) Utilizar estándares internacionales de diseño de control eléctrico y seguridad.
- d) Definir metodologías para caracterización de un haz láser.
- e) Definir metodologías de selección de equipo láser.
- f) Definir metodologías de optimización de aplicaciones de soldadura.
- g) Establecer programas de entrenamiento en procesos de soldadura láser.

#### **1.5. Hipótesis**

1. Si se genera una metodología experimental de evaluación y caracterización de aplicaciones de soldadura, realizadas mediante una estación robotizada de soldadura asistida con láser, es posible determinar el equipo necesario y la construcción de un laboratorio multifuncional para pruebas.

2. Si se construye un laboratorio para realizar análisis y evaluación de diferentes aplicaciones, teniendo como objetivo determinar la viabilidad de realizar estas aplicaciones mediante procesos láser, se permitirá a los investigadores adquirir conocimiento y experiencia tanto de procesos láser, como en la operación, diseño y desarrollo de estaciones de manufactura flexibles para procesos de tecnología láser.
3. Si se desarrollan investigadores con suficiente conocimiento en tecnología láser, entonces se reducirán considerablemente los costos de fabricación, implementación y operación de estaciones de soldadura con proceso láser, al dejar de importarse tecnología y mano de obra especializada.
4. Si el costo de compra y operación de una estación de soldadura láser se lograra reducir, entonces permitirá a las industrias mexicanas utilizar y ofrecer soluciones de manufactura altamente competitivas.

## **2. FUNDAMENTOS**

Aunque la tecnología láser fue descubierta desde hace varios años, los sistemas de altas potencias tienen aun bastante por desarrollar. Los equipos utilizados hoy en día, son cada vez más eficientes, en el 2001 se obtenían eficiencias de 4% a 6%, y hoy en día han alcanzado rangos del 30% para ciertos tipos de láser y potencias.

Las máquinas más comerciales, de fabricación alemana principalmente, utilizan un sistema CNC para mover el haz, lo que eleva aun más su costo.

La utilización de robots para mover el haz, está en su fase inicial, existiendo pocas estaciones estandarizadas o de catálogo, bajo este concepto.

Las investigaciones están enfocadas a producir resonadores más eficientes y de menor tamaño, mediante la utilización de semiconductores para producir el haz, lo que les ha permitido reducir los costos y aumentar la eficiencia de las fuentes láser.

La importación de estas tecnologías, más la dependencia de servicio especializado extranjero para mantener el equipo funcionando, hacen inviable muchas aplicaciones en México, limitándola a aplicaciones específicas, como en armadoras de la industria automotriz.

El alcance de esta investigación abarcará solamente sistemas láser de potencias altas, arriba de los 2KW, para aplicaciones de soldadura de lámina de metal, con formas volumétricas.

Para la realización de la presente investigación, se comenzó por conocer a fondo los procesos de soldadura [4], como son: soldadura MIG/MAG [9]; soldadura TIG [25]; soldadura SPOT [25] y la soldadura por proyección [25] poniendo especial atención en los efectos que cada una de los diferentes procesos genera, como es el esfuerzo residual y la deformación [6].

Una vez terminado el estudio de los procesos de soldadura, se enfocó en el estudio del proceso de soldadura láser, desde los fundamentos básicos, como son su historia [5], la luz, la óptica, los principios del láser, los tipos de láser, las aplicaciones láser [10], el proceso de soldadura láser [1][2][3], los conceptos de soldadura láser, el láser CO2 [18] y el laser de fibra.

Por último, se estudió el estado de la técnica del análisis de soldadura [11][12][13][14][15][16][25].

### **3. PROCEDIMIENTO.**

Para definir el procedimiento del diseño del experimento [11], primero se desarrolló el modelo [12][16], definiéndose los materiales [13], la velocidad de avance, la potencia [13], estimándose los esfuerzos residuales[6][17], asegurando para cada experimento una penetración [13][21] y apariencia [13][23][24] dentro de los estándares que exige cada ramo industrial. Para esta investigación se tomó como base los estándares de calidad de soldadura de General Motors, GMW14058, la cual define el criterio de aceptación de soldadura para los siguientes procesos:

Gas Metal Arc Welding (GMAW)

Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)

Flux Cored Arc Welding (FCAW)

Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

Plasma Arc Welding (PAW)

Aunque no incluye a la soldadura láser, se consideró como una referencia bastante completa, puesto que se incluyen la mayoría de los procesos de soldadura.

Durante los experimentos, se tuvo el cuidado de controlar el proceso, reduciendo deficiencias como el exceso y socavación[23][24] del cordón, el "spatter" [22] y la porosidad[24].

Los defectos evaluados son:

- a) Socavación del cordón.
- b) Porosidad
- c) Longitud de soldadura
- d) Concavidad y convexidad
- e) Fisura
- f) Cráter
- g) Sección transversal
- h) Longitud de soldadura
- i) Penetración
- j) Discontinuidad
- k) Porosidad

## l) Perforación

Con el objetivo de verificar que el proceso de soldadura ha sido seleccionado de manera correcta, antes del análisis principal de esta investigación, se tienen una serie de entradas al sistema:

- a) Material a soldar.
- b) Espesor de la pieza.
- c) Precisión requerida de la posición de soldadura.
- d) Calidad requerida de soldadura.
- e) Penetración.
- f) Fuerza de unión.
- g) Apariencia.
- h) Distorsión producida o esfuerzo residual.
- i) "Spatter" generado y su afectación en el proceso.
- j) Número de soldaduras.
- k) Longitud.
- l) Geometría y disposición de los cordones.
- m) Velocidad de la soldadura.
- n) Número de piezas por hora.
- o) Costo de la pieza.
- p) Costo de la mano de obra.
- q) Costo de la infraestructura requerida para realizar el proceso.

Cada uno de éstos conceptos tiene un coeficiente y se la asigna una ponderación, se ingresa a una función, la cual nos entrega un primer resultado, del cual determinamos si la aplicación debe ser realizada de forma manual o automática.

Posteriormente, con esta misma información, pero aplicada a otra función, sabemos cuál de los procesos de soldadura es el más adecuado: fricción, spot, mig/mag, tig, plasma o láser. Si la función nos entrega un valor dentro de cierto rango, esto nos indica que uno de los procesos posibles es el láser, se fijan entonces algunas variables, como las referentes a material, espesor, precisión, calidad, y otras. De la función se conoce entonces las características que el equipo que realizará este proceso debe tener, el costo de producción por pieza y la capacidad de producción en términos de piezas por hora, de forma teórica.

En este punto es donde se concentra la investigación: un procedimiento experimental, donde se fija de manera metodológica cada una de las cuatro variables del experimento: potencia del láser, velocidad de soldadura, posición focal y espesor del material. El procedimiento comienza variando la potencia del láser, para diferentes valores de velocidades de soldadura, manteniendo las distancias focales. Como resultados se obtienen los siguientes valores: afectación de dureza de material cercano a la soldadura, "HAZ heat

affected zone", penetración, fuerza de unión, ancho de cordón, calidad, apariencia, "spatter", distorsión en la pieza.

#### **4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Durante la experimentación, fue determinándose los factores relevantes [15] en base a los estándares de calidad de soldadura, la experiencia, las observaciones, y las aplicaciones, encontrándose una relación de los parámetros y asignándose una ponderación a cada uno de ellos. Los resultados del experimento, nos entregan una viabilidad técnica, con ventajas y desventajas ponderadas de acuerdo al valor previamente asignado para cada uno de ellas.

Se obtuvieron una serie de funciones, con diferentes coeficiente que nos permitirán, a partir de la información del proceso, determinar el tipo, la potencia de la fuente, características de la óptica, y demás componentes del sistema, así como la velocidad de soldadura para estar en condiciones de estimar costos del sistema y conocer su productividad. También podremos modificar, dentro de ciertos rangos, las entradas del sistema, y ver la afectación que provocan en la salidas, con el objetivo de ajustar presupuestos, eficiencia, productividad, turnos disponibles de producción y cantidades de producción.

#### **5. CONCLUSIONES.**

Con la metodología experimental, se podrá desarrollar las bases de diseño para la creación de un laboratorio de pruebas, cuyo potencial es enorme, ya que permitirá determinar la factibilidad de la inversión en tecnología y sistemas de manufactura flexible para procesos de soldadura con láser, para diferentes empresas mexicanas manufactureras, brindando certeza en sus retornos de inversión.

A futuro se pretende extender ésta investigación para procesos de corte láser y corte plasma.

#### **6. BIBLIOGRAFÍA**

- [1] William M. Steen, Jyotirmo Mazumder. **Laser Material Processing**, Springer, 4<sup>th</sup> Ed., 2010.
- [2] Narendra B. Dahotre, Sandip P. Harimkar. **Laser Fabrication and Machining of Materials**, Springer, 2008.
- [3] Laser Institute of America, John F. Ready, Dave F. Farson. **LIA Handbook of Laser Materials Processing**, Laser Institute of America, 2001.
- [4] J. Norris. **Advanced Welding process**, IOP, 1992.
- [5] Benjamín Alonso Fernández, Rocío Borrego Varillas. **El Láser**, Isabel Arias Tobalina 2010.
- [6] Zhili Feng. **Processes and Mechanisms of Welding residual stress and distortion**, Woodhead, 2005.
- [7] Fuji Antony, Frenie Antony. **Teaching the taguchi method**, Work Study Volume 50, MCB, 2001.

- [8] Ronald Aylmer Fisher. **The Design of Experiments**, Hafner Press, 1<sup>st</sup> Ed., 1971.
- [9] Richard J. Klein. **Welding Processes, Quality, and Applications**, Nova science Publishers, 2011.
- [10] Hector Alfonso castillo Matadamas. **Construcción de un laser de pulsos ultracortos para aplicaciones en metrología**. PhD tesis, UNAM, 2010.
- [11] M.M.A. Khan, L.Romoli, M.Fiaschi, G.Dini, F.Sarri. **Experimental design approach to the process parameter optimization for laser welding**. Elsevier, June 2010.
- [12] Mikhail Sokolov, Antti Salminen, Mikhail Kuznetsov, Igor Tsibulskiy. **Laser Welding and weld hardness analysis of S355 structural steel**, Elsevier, June 2011.
- [13] Y.S. Tarng, H.L. Tsai, S.S. Yeh. Modeling, **optimization and clasification of weld quality in TIG welding**, pergamon, September 1998.
- [14] K.Y. Benyounis, A.G. Olabi. **Optimization of different welding processes using statistical approaches**, Elsevier, may 2007.
- [15] S.C. Juang, Y.S. Tarng. **Process parameter selection for optimizing the weld pool geometry in the tungsten inert gas welding of stainless steel**, Elsevier, November 2000.
- [16] L. Quintino, A. Costa, R. Miranda, D. Yapp, V. Kumar b, C.J. Kong. **Welding with high power fiber lasers - preliminary study**, Elsevier, Agosto, 2005.
- [17] E.M. Van Der Aa. **Local cooling during welding: prediction and control of residual stress and buckling distortion**, thesis PhD, Delft University of technology, junio 2007.
- [18] Elijah Kannatey, Asibu, Jr. **Principles of laser material processing**, Wiley, 2009.
- [19] **Ventajas de soldadura Laser**, UNAM.
- [20] E.M. Anawa, A.G. Olabi. **Using Taguchi method to optimize welding pool of dissimilar laser-welded components**, Elsevier, February, 2007.
- [21] Mingjun Zhang, Genyu Chen, Yu Zhou, Shenghui Liao. **Optimization of deep penetration laser welding of thick stainless steel 10KW fibler laser**, Elsevier, Junio 20013.

- [22] M.J. Zhang, G.Y. Chen, Y. Zhou, S.C. Li, H. Deng. **Observation of spatter formation mechanisms in high-power fiber laser welding of thick plate**, Elsevier, May, 2013.
- [23] Farid Vakili-Tahami, Ali Ziaei-Asl. **Numerical and experimental investigation of T-shape fillet welding of AISI 304 stainless steel plates**. Elsevier, January 20013.
- [24] Mikhail Sokolova, Antti Salminen. **Experimental investigation of the influence of edge morphology in high power fiber laser welding**, Elsevier, 2012.
- [25] Osbaldo Martin Galicia Gutierrez. **Análisis del proceso de soldadura láser de distintas aleaciones de aluminio**, MC tesis, UASLP, Agosto 2013.