



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE LERDO  
"LA EXCELENCIA ACADÉMICA AL SERVICIO DE LA SOCIEDAD"

# CIENCIA, INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO

REVISTA DIGITAL UNIVERSITARIA. ISSN: 2448-623X. PUBLICACIÓN ANUAL.

## Artículos de Investigación del 3er. Congreso Internacional de Ciencias de la Ingeniería



AÑO: 2017 VOLUMEN: 1 NÚMERO: 3

revistacid@itslerdo.edu.mx  
<http://revistacid.itslerdo.edu.mx>

L í d e r e s I n n o v a n d o a l M u n d o

**Título de la revista:**


Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo

**Año: 3, Volumen: 1, Número: 3**

Edición 2017

**Editor:**

Instituto Tecnológico Superior de Lerdo



Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo, Año 3, Volumen 1, No. 3, 2017. Publicación electrónica universitaria nacional anual editada por el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico s/n Col. Periférico, c.p. 35150, Ciudad Lerdo, Durango, México. Teléfono: +52 (871) 7 25 23 71, ext. 134. Correo electrónico: [revistacid@itslerdo.edu.mx](mailto:revistacid@itslerdo.edu.mx), página web: <http://revistacid.itslerdo.edu.mx>. Editor responsable: César Ríos Marmolejo. No. de Reserva de derechos al uso exclusivo: 04-2017-052914581300-203, ISSN: 2448-623X, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Departamento de Centro de Cómputo: Ing. Marcos Morales Esparza. Edificio H. Av. Tecnológico s/n, Col. Periférico, C.P. 35150. Ciudad Lerdo, Durango, México. La opinión expresada en los artículos firmados es responsabilidad del autor. Se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes, siempre y cuando se cite la fuente y no sea con fines de lucro. No nos hacemos responsables por textos no solicitados. Fecha de última actualización: 15 de diciembre de 2017.



## CONSEJO EDITORIAL INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE LERDO

PRESIDENTE

ISRAEL CASTRO MUÑOZ

SECRETARIO GENERAL

JOSÉ ÁNGEL MÉNDEZ ORTEGA

SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y DESARROLLO

JESÚS ALEJANDRO VALDÉS NIEBLAS

OTROS MIEMBROS DEL CONSEJO EDITORIAL

CÉSAR RÍOS MARMOLEJO

<http://www.itslerdo.edu.mx>



## COMITÉ EDITORIAL

EDITOR RESPONSABLE  
CÉSAR RÍOS MARMOLEJO

SUPERVISOR EDITORIAL:  
LILIANA LÓPEZ APARICIO

PÁGINA WEB:  
PASCUAL SALAZAR CASTILLO

ARTE, DISEÑO, Y SUPERVISIÓN TÉCNICA:  
JUAN MARTÍN ARZOLA MONREAL

DISEÑO DE PORTADA:  
JOSÉ ÁNGEL GARCÍA ESCOBEDO

WEBMASTER:  
MARCOS MORALES ESPARZA

ASOCIADA EDITORIAL:  
KARLA VERÓNICA RODRÍGUEZ LOZANO

## COMITÉ REVISOR

NOE ALVARADO TOVAR, FRANCISCO JAVIER ARREOLA CARDOZA, JUAN MARTÍN ARZOLA MONREAL, JOSÉ ÁNGEL CANDELAS SAUCEDO, ISELA GUADALUPE CARRERA CALDERÓN, ERNESTO II CASTRO JUÁREZ, MARÍA GUADALUPE FLORES LUEVANOS, KARLA FLORES ROMO, ROBERTO GARCÍA PÉREZ, LUIS AMADO GONZÁLEZ VARGAS, ALEXANDRO GUEVARA AGUILAR, FRANCISCO HUERTA VALENZUELA, BRUNO LÓPEZ TAKEYAS, MARITZA MACIAS CORRAL, VÍCTOR EDI MANQUEROS AVILÉS, CÉSAR OCTAVIO MÁRQUEZ AGUIRRE, JUAN MANUEL MARTÍNEZ BURROLA, ANTONIO MENDOZA RUELAS, HÉCTOR ALONSO MORENO AVALOS, CRISTOBAL FABIÁN NÁJERA MARTÍNEZ, EDMUNDO JAVIER OLLERVIDES VÁZQUEZ, LUIS ALBERTO ORDAZ DÍAZ, ROGELIO PEDROZA DUARTE, CÉSAR RÍOS MARMOLEJO, OMAR FABIÁN RIVERA CENICEROS, FELIPE DE JESÚS RODRÍGUEZ FLORES, KARLA VERÓNICA RODRÍGUEZ LOZANO, PASCUAL SALAZAR CASTILLO, RAQUEL GUADALUPE SAUCEDO CHACÓN, MARÍA CONCEPCIÓN SOSA ÁLVAREZ, JOSÉ DE JESÚS SANTIAGO TELLO MIJARES, SILVIA ADRIANA VIDAÑA MARTÍNEZ.

*e-mail:* [revistacid@itslerdo.edu.mx](mailto:revistacid@itslerdo.edu.mx)

# Aplicación de diseño de experimentos DoE en el análisis de parámetros de soldadura GMAW en un componente de suspensión

J. F. Rizo López, E. Mendoza Rodríguez, J. C. López Aguado

**Resumen**—Se estudió un proceso de soldadura GMAW automatizado del sector automotriz de un componente de suspensión, donde se aplicó el diseño de experimentos para la optimización de parámetros de soldadura analizando a su vez los principales factores que intervienen en el proceso de estampado en frío. Para el análisis de parámetros de soldadura se aplicó un diseño de experimentos en relación a la profundidad de penetración, realizando el estudio modificando parámetros que afectan directamente sobre las características de calidad de la soldadura, como son la corriente en función de la velocidad de alimentación del alambre (WFS), el voltaje, ángulos, stick out y la velocidad de viaje del robot, debido a elevados índices de scrap por defectos de soldadura y altos costos, da la necesidad de diseñar un experimento que permita medir la magnitud y dirección de los factores optimizando el proceso de soldadura y analizando los factores principales en el proceso de estampado reduciendo la probabilidad de producir piezas rechazadas.

**Palabras claves**—Brazo de control FUCA, diseño de experimentos, factores, parámetros de soldadura, Proceso de soldadura GMAW.

**Abstract**—an automated GMAW welding process of the automotive sector of a suspension component was studied, where an experimental design is applied for the optimization of welding parameters, analyzing in turn the main factors involved in a cold stamping process. For the analysis of welding parameters a design of experiments is applied in relation to the depth of penetration, carrying out the study modifying the parameters that directly affect the quality characteristics of the welding, such as the current as function of the wire feed speed (WFS), voltage, angles, stick out and the robot travel speed, due to high scrap percentages for welding defects and high costs, gives the need to design an experiment that allows to measure the magnitude and the direction of the factors optimizing the welding process and analyzing the main factors in the stamping process reducing the probability of producing rejected pieces.

**Keywords**— Control Arm FUCA, experimental design, factors, welding parameters, welding process GMAW

## I. INTRODUCCIÓN

El primer paso hacia la comprensión de los procesos de

soldadura lo constituye el análisis de los fenómenos que intervienen cuando se produce el contacto de dos superficies sólidas a temperaturas de fusión. En el proceso de soldadura estudiado, GMAW, es la unión producida por el calor generado por un arco eléctrico con metal de aporte, esta energía eléctrica se transforma en energía térmica, fundiendo el material a medida que se tiene un avance.

Los parámetros de soldadura no son independientes ya que el cambio de una de ellas produce o implica el cambio de alguna de las otras.

La empresa Multimatic Inmetmatic SA de CV, es un corporativo fundado en 1984, siendo la cabeza operacional en Toronto, Canadá, con divisiones en Norte América, Europa y Asia; provee un servicio de productos manufacturados y servicios ingenieriles para la industria automotriz, los principales servicios de procesos de soldadura constituyen las unidades de negocio de mayor demanda, éstos representan un 70% en soldadura GMAW, siendo un 43% de componentes de suspensión.

Los componentes de suspensión, tales como es el caso de estudio de los brazos de control, se fabrican normalmente de acero o de aluminio y se asemejan a una gran letra "Y", también conocida como "horquilla de suspensión", los brazos de control FUCA unen a la rueda frontal o posterior, gracias al par esférico (*ball joint*) y al chasis con los dos bujes axiales.

Este sistema de suspensión, el brazo de control evita que la rueda gire hacia un lado y mantiene un seguimiento de neumático recto.

Los costos de desperdicio para este componente en el proceso de soldadura en específico ascienden alrededor de \$5,000 usd/semana tomando la evidencia de los primeros tres meses de Junio, Julio y Agosto del año 2016, con un porcentaje en promedio del 5% de partes en relación a la producción, de los cuales el 90% del rechazo se debe a defectos por características de calidad de la soldadura.

En este artículo presenta una aplicación de la metodología de diseño de experimentos, con el fin de determinar la relación que existe entre los parámetros de soldadura a diferentes niveles con relación a la profundidad de penetración y los principales factores en el proceso de estampado en frío.

<sup>1</sup> Departamento de calidad de empresa Multimatic Inmetmatic SA de CV, Avenida Santa Fe #12, Parque Industrial Opción, San José Iturbide, C.P. 37980, Guanajuato, México, frizo@multimatic.com

<sup>2</sup> emendoza@multimatic.com

<sup>3</sup> jclopez@multimatic.com

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

Los modelos de diseño de experimentos son modelos estadísticos clásicos cuyo objetivo es averiguar si unos determinados factores influyen en una variable de interés y, si existe influencia de algún factor, cuantificar dicha influencia.

La metodología del diseño de experimentos se basa en la experimentación. Se sabe que si se repite un experimento, en condiciones indistinguibles, los resultados presentan una cierta variabilidad.

A. *Proceso de soldadura GMAW*

El proceso GMAW puede usar equipos semiautomáticos o automáticos en aplicación de la soldadura de alta producción. La mayoría de los metales pueden ser soldados con este proceso, y más aún pueden ser soldados en todas las posiciones utilizando las variaciones de baja energía del mismo.

El estudio sobre el comportamiento de la soldadura en la pieza de suspensión, una característica de profundidad de penetración sobre la lámina 2 resulta interesante en la calidad de la soldadura, que refleja la resistencia que ésta va a soportar al ser sometida a un esfuerzo dinámico.

Los parámetros de soldadura que en forman parte de las características de la calidad de soldadura son:

- Tensión (voltaje)
- Velocidad de alimentación
- Extensión del electrodo o *stick-out*
- Velocidad de desplazamiento
- Ángulo de inclinación de la pistola
- Gas de protección
- Calor de entrada

B. *Proceso de troquelado*

Es el conjunto de operaciones con las cuales sin producir viruta, sometemos una lámina plana a ciertas transformaciones a fin de obtener una pieza de forma geométrica propia, este trabajo se realiza con troqueles en máquinas llamadas prensas (generalmente de movimiento rectilíneo alternativo).

La Tabla I y II muestran el material especificado por cliente GMW3032M-ST-S-HR420LA es una acero de baja aleación de alta resistencia a la cedencia desde 180 MPa hasta los 700 MPa, y si es aplicable el recubrimiento de pintura o no, con un proceso de laminación en frío.

Tabla I  
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ACEROS DE BAJA ALEACIÓN DE ALTA RESISTENCIA

GMW3032M-ST	C	Mn	P	S	Al	Si	Otros
<b>Clasificación</b>	<b>0.12 %max</b>	<b>1.6 %max</b>	<b>0.03 %max</b>	<b>0.03 %max</b>	<b>0.015 %min</b>	<b>0.6 %max</b>	
<u>Estampado Superior</u>	0.05	0.86	0.014	0.001	0.030	0.02	Nb. 0.03%
<u>Estampado Inferior</u>	0.05	0.88	0.015	0.001	0.027	0.02	Nb. 0.03%

Nota 1. Puede contener microaleaciones de niobio, titanio o vanadio, con un CE de 0.24

Tabla II  
PROPIEDADES MECÁNICAS DE ACEROS DE BAJA ALEACIÓN DE ALTA RESISTENCIA

GMW3032M-ST	Resistencia a la cedencia	Resistencia a la Tensión	Total de elongación	Valor n
<b>Clasificación</b>	<b>420 - 520 MPa</b>	<b>480 MPa min</b>	<b>22% min</b>	<b>0.11 min</b>
<u>Estampado Superior</u>	463	640	27	0.14
<u>Estampado Inferior</u>	467	545	25	0.14

Nota 1. la prueba de valor n es desde 6% hasta el final de la elongación uniforme

C. *Diseño de experimentos*

Los modelos de diseño de experimentos son modelos estadísticos clásicos cuyo objetivo es averiguar si unos determinados factores influyen en una variable de interés y, si existe influencia de algún factor, cuantificar dicha influencia.

El análisis estadístico se basa en un modelo estadístico formal subyacente. La interpretación adecuada del análisis requiere la comprensión del modelo.

D. *Diseño factorial*

Los diseños factoriales producen experimentos más eficientes, pues cada observación proporciona información sobre todos los factores, y es factible ver las respuestas de un factor en diferentes niveles de otro factor en el mismo experimento.

El diseño factorial se puede usar para evaluar si la actuación de los factores es independiente a la profundidad de penetración de los especímenes de prueba. En la tabla IV se ilustra el arreglo factorial para los especímenes de prueba preparados con dos métodos de compactación (alto y bajo) usando cuatro factores.

Tabla III  
CORRIDAS DEL DISEÑO FACTORIAL FRACCIONADO

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	WFS	TS	Trim	Gap
1	1	1	1	300	25	0.9	0
2	2	1	1	550	25	0.9	2.2
3	3	1	1	300	42	0.9	2.2
4	4	1	1	550	42	0.9	0
5	5	1	1	300	25	1.04	2.2
6	6	1	1	550	25	1.04	0
7	7	1	1	300	42	1.04	0
8	8	1	1	550	42	1.04	2.2

El objetivo de correr un diseño factorial fraccionado es reducir el número de corridas identificando las variables significativas del diseño. Así mismo se puede identificar algunas respuestas preliminares que nos muestra el experimento.

E. *Modelo Taguchi*

Los diseños experimentales de Taguchi (ver Tabla IV), están basados en arreglos ortogonales y se hicieron

populares por el ingeniero Genichi Taguchi. Normalmente se identifican con un nombre como L8, que indica un arreglo con 8 corridas.

Los factores críticos que se seleccionaron para esta metodología son: a) velocidad de alimentación del alambre; b) velocidad de viaje; c) voltaje (*trim*); d) *Stick out*; e) ángulo de ataque; f) ángulo de trabajo. Los niveles seleccionados se muestran en la tabla 5.

El diseño de Taguchi se elaboró en el software minitab 17, donde se introdujeron los seis factores con sus respectivos niveles.

La medición de la profundidad de penetración como única variable de respuesta se da a través de una preparación metalográfica con un ataque químico con nital al 20%.

TABLA IV  
CORRIDAS DEL DISEÑO DEL MODELO TAGUCHI

Corrida	Gap	WFS	TRIM	TS	Stick Out	A Ataque	A trabajo
1	0.35	330	0.92	28	10	3	45
2	0.26	330	0.92	28	10	5	50
3	0.68	330	0.92	28	10	10	55
4	0.28	330	0.95	35	15	3	45
5	0.42	330	0.95	35	15	5	50
6	0.33	330	0.95	35	15	10	55
7	0.43	330	1.00	39	19	3	45
8	0.52	330	1.00	39	19	5	50
9	0.47	330	1.00	39	19	10	55
10	0.18	400	0.92	35	19	3	50
11	0.1	400	0.92	35	19	5	55
12	0.33	400	0.92	35	19	10	45
13	0.26	400	0.95	39	10	3	50
14	0.05	400	0.95	39	10	5	55
15	0.13	400	0.95	39	10	10	45
16	0.26	400	1.00	28	15	3	50
17	0.65	400	1.00	28	15	5	55
18	0.52	400	1.00	28	15	10	45
19	0.72	480	0.92	39	15	3	55
20	0.36	480	0.92	39	15	5	45
21	0.61	480	0.92	39	15	10	50
22	0.44	480	0.95	28	19	3	55
23	0.58	480	0.95	28	19	5	45
24	0.25	480	0.95	28	19	10	50
25	0.63	480	1.00	35	10	3	55
26	0.28	480	1.00	35	10	5	45
27	0.22	480	1.00	35	10	10	50

### III. RESULTADOS

#### A. Variabilidad del proceso de GMAW del brazo de control

Para determinar la variabilidad del proceso de soldadura GMAW del brazo de control se contó con una base de datos de las diferentes resultados de piezas que fueron analizadas una vez que fueron rechazadas de las celdas de seis

diferentes celdas designadas M10, M20,..., M60. Ver figura 1.

Los dos principales defectos de soldadura, mostrados en el diagrama de pareto, son el socavado y la perforación, que están directamente relacionados a los parámetros de soldadura y a la preparación del material base en los herramientas de las celdas.

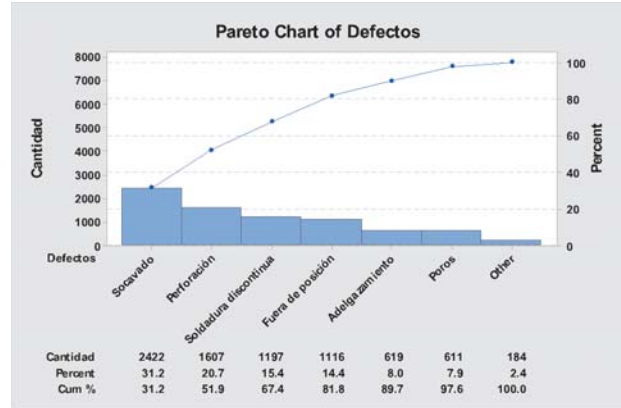


Figura 1. Diagrama de pareto de defectos de soldadura.

#### B. Variabilidad del proceso de troquelado de estampados

En el proceso de troquelado la zona que permite tener una preparación correcta sin generar un tamaño de abertura (gap) en exceso que afecte la aplicación de la soldadura es la superficie donde está colocado el anillo donde van sujetados dos bujes axiales.

En el análisis de variabilidad de las dimensiones de la superficie en el proceso de troquelado fue de una corrida de 3000 piezas tomando un muestreo cada 100 en 100 hasta terminar.

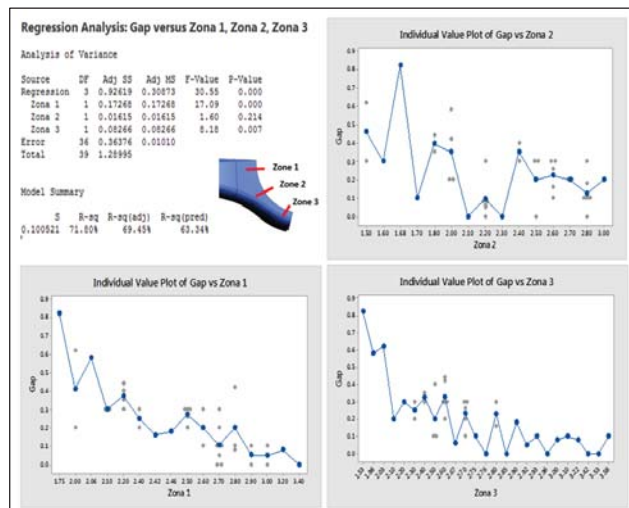


Figura 2. Análisis de varianzas en relación del trim de la superficie del estampado superior con respecto al gap.

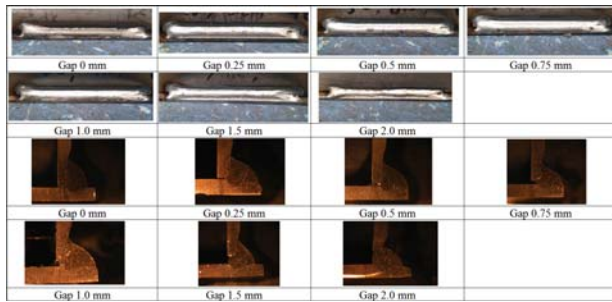


Figura 3. Fotografías y macrografías de soldadura de variación de gap en relación a los parámetros elegidos.

En el análisis de varianzas se determinó que la suma de las tres zonas resulta en un 71.8% de probabilidad en relación lineal, que al disminuir la dimensión del trim (quiere decir que aumentó la fluidez del material en el estampado), el gap que se genere en el sub ensamble del estampado superior/estampado inferior aumentará su valor, esto en el caso de las zonas 1 y 3. En el caso de la zona 2 no impacta en la condición final del gap.

El estudio para determinar el gap máximo permisible se realizó una prueba de soldar partes variando el gap hasta llegar a 2.0 mm con la finalidad de obtener un estimado de la calidad de la soldadura a diferentes cantidades de tamaño de gap a los parámetros establecidos.

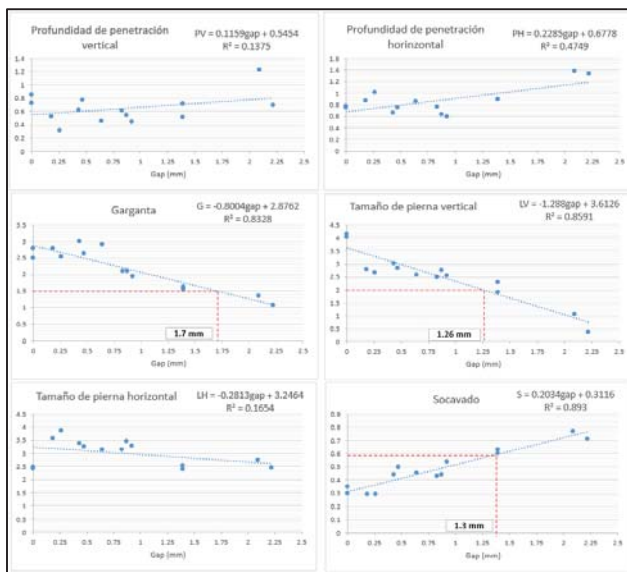


Figura 4. Gráficas de correlación lineal de tamaño de gap en relación a las diferentes características medidas de calidad de la soldadura.

De acuerdo a lo obtenido el efecto del gap sobre la soldadura es directamente proporcional al tamaño de la garganta, tamaño de la pierna vertical y a la profundidad de socavado que lo limita al 30% del espesor del material. Los resultados representan que al aumentar el tamaño de gap se ven afectados estas tres características tomando de referencia máxima de 1.26 mm de gap menos el 14% de

error da finalmente un tamaño de gap máximo de 1.08 mm para asegurar el mínimo tamaño de pierna vertical, así mantiene en un estado aceptable los otros requerimientos medidos.

Para obtener el tamaño máximo de gap de 1.08 mm de acuerdo a la figura 12, es necesario designar los controles necesarios de la superficie del estampado para la zona 1 serían de 2.20 mm a 2.80 mm y para la zona 3 de 2.20 mm a 2.9 mm y finalmente dejando a la zona 2 con 2.40 mm a 2.90 mm. Las modificaciones del troquel fueron realizadas para asegurar estas dimensiones.

Finalmente se realizó un monitoreo del porcentaje de rechazo total de las celdas en el transcurso de un año de junio 2016 a junio 2017 con la finalidad de observar la reducción de éste en el momento de implementación de la optimización de parámetros de soldadura a finales de enero 2017.

La gráfica de porcentaje de rechazo de partes tiene una tendencia de disminución a partir de donde se comenzaron a tomar acciones en agosto 2016 a enero 2017 manteniendo un promedio de 2.3% de rechazo en relación a la producción y un promedio de 1.3% se redujo después de la implementación de la optimización de parámetros de soldadura en febrero a junio 2017 manteniendo un promedio de 1.00 % de rechazo.

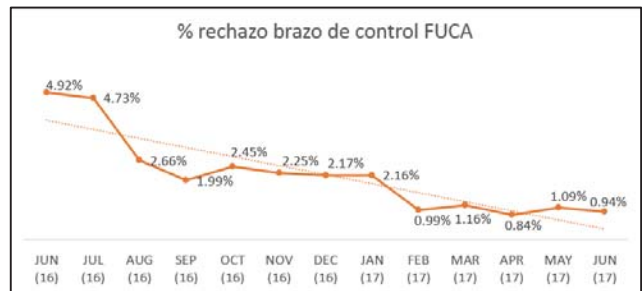


Figura 5: porcentajes de rechazo mensual de piezas del brazo de control FUCA.

### C. Resultados corrida DFF

Los datos de la profundidad de penetración en el estudio preliminar de las corridas que se elaboraron en el DFF, donde se colocaron las ocho corridas y se tomaron en cuenta tres aplicaciones de soldadura dando una profundidad de penetración promedio para los resultados del diseño preliminar con 4 factores.

RunOrder	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	WFS	TS	Trim	Gap	Profundidad de penetración
1	1	1	1	1	300	25	0.90	0.0	0.40
2	2	2	1	1	550	25	0.90	2.2	1.84
3	3	3	1	1	300	42	0.90	2.2	0.41
4	4	4	1	1	550	42	0.90	0.0	2.02
5	5	5	1	1	300	25	1.04	2.2	0.44
6	6	6	1	1	550	25	1.04	0.0	2.24
7	7	7	1	1	300	42	1.04	0.0	0.32
8	8	8	1	1	550	42	1.04	2.2	2.01

Figura 6. Corridas y profundidad de penetración del DFF.



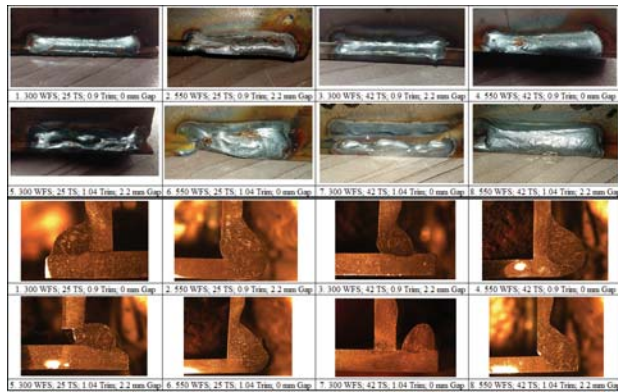


Figura 7. Fotografías y macrográficas de soldadura de las corridas del DFF

Del análisis de inspección visual de los cordones de soldadura se puede observar que la muestra 1 no presenta fusión en el canto ni hundimiento con respecto a los demás, pero se ve afectada la profundidad de penetración por lo que se buscaría un valor objetivo de al menos el 50% al 70% en relación a sus espesor de 2.1 mm.

Se realizó el análisis ANOVA para determinar cuál es el efecto principal y significativo que afecta a la profundidad de penetración (ver figura 8). Los P-Values menores a 0.05 indican los factores significativos. La velocidad de alimentación del alambre (WFS) con un valor de 0.006 fue el único valor significativo en esta corrida con una tendencia lineal a la profundidad de penetración.

Factorial Regression: Profundidad de penetración versus WFS, TS, Trim, Gap					
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	6	5.42029	0.90338	2007.51	0.017
Linear	4	5.35828	1.33957	2976.82	0.014
WFS	1	5.33011	5.33011	11844.69	0.006
TS	1	0.00320	0.00320	7.11	0.228
Trim	1	0.01445	0.01445	32.11	0.111
Gap	1	0.01051	0.01051	23.36	0.130
2-Way Interactions	2	0.06201	0.03101	68.90	0.085
WFS*Trim	1	0.02420	0.02420	53.78	0.086
WFS*Gap	1	0.03781	0.03781	84.03	0.069
Error	1	0.00045	0.00045		
Total	7	5.42074			

Figura 8. Análisis de varianzas y gráfica de pareto sobre la profundidad de penetración en la corrida DFF.

El valor objetivo de la profundidad de penetración será de 50% a 70%, los cuales se mantendrá a una velocidad de alimentación del alambre de 400 a 450 IPM.

**D. Resultados corrida modelo Taguchi**

El 83.03% de la variación de la respuesta “profundidad de penetración” (ver figura 9) es explicada por el modelo. Acorde a los valores que se escogieron como meta del 50% al 70% y un valor en específico de 1.26 mm se elige WFS: 400 IPM, TS: 32 IPM, Trim: 1, Stick Out: 15 mm, ángulo de ataque: 5° y un ángulo de trabajo de 45°, es acorde a las cinco alternativas que reporta el minitab 17 en su resultado de regresión múltiple lineal de proyección y optimización.

WFS	TRIM	TS	Stick Out	A Ataque	A trabajo	Profundidad de Penetración
330	0.92	28	10	3	45	0.60
330	0.92	28	10	5	50	0.32
330	0.92	28	10	10	55	0.77
330	0.95	35	15	3	45	1.12
330	0.95	35	15	5	50	1.25
330	0.95	35	15	10	55	0.74
330	1.00	39	19	3	45	0.82
330	1.00	39	19	5	50	0.72
330	1.00	39	19	10	55	0.91
400	0.92	35	19	3	50	0.30
400	0.92	35	19	5	55	0.44
400	0.92	35	19	10	45	1.26
400	0.95	39	10	3	50	1.07
400	0.95	39	10	5	55	1.12
400	0.95	39	10	10	45	1.14
400	1.00	28	15	3	50	1.19
400	1.00	28	15	5	55	1.58
400	1.00	28	15	10	45	0.96
480	0.92	39	15	3	55	1.68
480	0.92	39	15	5	45	1.75
480	0.92	39	15	10	50	1.72
480	0.95	28	19	3	55	1.49
480	0.95	28	19	5	45	1.68
480	0.95	28	19	10	50	1.62
480	1.00	35	10	3	55	1.26
480	1.00	35	10	5	45	1.15
480	1.00	35	10	10	50	1.00

Figura 9. Corridas y profundidad de penetración del método Taguchi.

**IV. CONCLUSIÓN**

Con esta investigación se cumplió el objetivo general, donde se encontraron los factores significativos del proceso de soldadura del brazo de control FUCA aunado a los parámetros óptimos que redujeron la probabilidad de producir piezas rechazadas por un defecto de soldadura los cuales fueron:

- WFS = 400 IPM
- Velocidad de viaje = 32 IPM
- Trim = 1.00
- Stick out = 15 mm
- Ángulo de ataque = 5°
- Ángulo de trabajo = 45°
- Perfil de superficie en estampado superior = 2.2-2.8 mm (zona 1); 2.4-2.9 mm (zona 2); 2.2-2.9 mm (zona 3)
- Tamaño máximo de gap = 1.08 mm

Para evitar generar piezas rechazadas se debe establecer y mantener los niveles óptimos encontrados, en el proceso de soldadura GMAW del brazo de control FUCA.

Se redujo el porcentaje de piezas desechadas promedio de 2.3% pasando a un promedio de 1.0% con la optimización de parámetros. El costo generado del 2.3% es del \$14,000 usd/mes fue reducido a \$6,500 usd/mes. Al final del año 2017 se estima un ahorro con la implementación del cambio de parámetros en un total de \$82,500 usd.

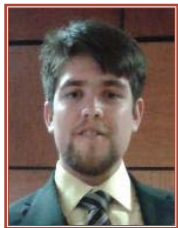
## V. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la empresa Multimatic Inmetmatic por el apoyo recibido mediante el financiamiento al proyecto de la aplicación de un diseño de experimentos en las partes descritas como brazo de control FUCA.

## VI. REFERENCIAS

- [1] An American National Standard. (2001). *Standard Welding Terms and Definitions*. ASW A3.0.
- [2] Ferjutz, K.; Devis J. R. (1993). *Welding brazing and soldering, Metals*. ASM Handbook, Vol 6. Park, Ohio: ASM International.
- [3] Fisher, R.A. (1990) *Introduction to "The Arrangement of field experiments"*. Technical report, No 253, California.
- [4] Granjon, H. *Fundamentals of welding metallurgy*. Cambridge: Woodhead Publishing., 1991.
- [5] Jeffus F. *Welding: Principles and Applications*. Clifton Park. New York, Dekmar Cengage Learning. 2002
- [6] Kah, P. *Welding of sheet metal using modified short arc MIG/MAG welding process*. Finland, 2007.
- [7] Kavanaugh, C. *Los diseños de Taguchi contra los diseños clásicos de experimentos*. Conciencia Tecnológica, núm. 19. Instituto Tecnológico de Aguascalientes Aguascalientes, México. abril, 2002.
- [8] *Manual de Soldadura EXSA-OERLIKON Edición 1995*.
- [9] Montgomery, D. *Diseño y análisis de experimentos*. 2da edición. Limusa Wiley. Arizona, 2004.
- [10] O'Brien, R. *Welding Handbook: Welding Processes*. 8th Edition; Miami: American Welding Society. ISBN 0-87171. 1991.
- [11] Orellana, L. *Regresión lineal*. Mexico, 2008.
- [12] Tanco, M. *Practical applications of design of experiments in the field of engineering*. John Wiley & Sons, Ltd. 2008.

## VII. BIOGRAFÍA



**Rizo López José Francisco.** Nacimiento en la ciudad de Guadalajara Jalisco el 5 de septiembre de 1988. Estudió la carrera de Ingeniero Químico en Materiales en la facultad de química de la Universidad Autónoma de Querétaro en los años de 2008 al 2012.

Actualmente labora en una empresa de autopartes llamada Inmetmatic Multimatic SA de CV en el estado de Guanajuato como Ingeniero de Soldadura siendo responsable del laboratorio de pruebas desde marzo del 2015. Su experiencia desde el 2012 fue como responsable del laboratorio en diferentes giros metal mecánico en la industria. Su línea de investigación está en la optimización de procesos de soldadura con el uso de herramientas estadísticas.

IQM Rizo, Inspector de Soldadura Certificado por la Sociedad Americana de Soldadura. Capacitaciones en *core tools*, procesos de soldadura, tratamientos térmicos, resolución de problemas, materiales.



**Mendoza Rodríguez Elias.** Nacimiento en la ciudad de San Luis de la Paz, Guanajuato el 18 de Junio del 1987. Estudió la carrera de Ingeniero Mecatrónica en el Instituto Tecnológico de Querétaro en los años de 2005 al 2010.

Actualmente labora en una empresa de autopartes en el estado de Guanajuato como Ingeniero de Soldadura siendo coordinador de mantenimiento desde Febrero del 2013. Su experiencia desde el 2010 fue como integrador

robótica, PLC, maquinados. Su línea de investigación está en el ajuste e integración de programas automatizados  
Ing. Mendoza, capacitaciones en integración de robots, mantenimientos a controladores, programación de robots.



**López Aguado Juan Carlos.** Nacimiento en la ciudad de Celaya, Guanajuato el 31 de Enero del 1980. Estudió la carrera de Ingeniería Mecánica en el Instituto Tecnológico de Celaya en los años de 1997 al 2001, cuenta con una Maestría en Ciencias de Ingeniería Mecánica en el ITC en los años 2003-2005.

Actualmente labora en una empresa de autopartes llamada Inmetmatic Multimatic SA de CV en el estado de Guanajuato como Gerente de Producción desde noviembre del 2012.

Su experiencia desde el 2005 fue en la industria automotriz desempeñando diferentes funciones de ingeniero y gerente. Su línea de investigación está en la optimización de procesos de soldadura.

M. en C. López, Capacitaciones en administración, procesos de soldadura, resolución de problemas, liderazgo.

## GUÍA PARA AUTORES

Se invita a todos los docentes, estudiantes e investigadores a enviar sus artículos de difusión científica y tecnológica en fechas programadas en la página del CONINCI y/o en la página web de la presente revista. Las colaboraciones deberán estar escritas en un lenguaje claro, didáctico y accesible correspondiente al público objetivo, con un discurso que aproveche al máximo los recursos narrativos, literarios y gramaticales. Se deben seguir los siguientes criterios editoriales.

### Criterios editoriales (difusión)

- No se aceptarán trabajos que no cumplan con los criterios y lineamientos indicados. Sólo se aceptan artículos originales, entendiéndose por ello que el contenido sea producto del trabajo directo y que una versión similar no se ha publicado o enviado a otras revistas.
- Los autores deben demostrar haber trabajado y publicado en el tema del artículo.
- El artículo debe ofrecer una panorámica clara del campo temático.
- El artículo debe ser ordenado. Separar las dimensiones del tema y evitar romper la línea de tiempo.
- Debe considerarse la experiencia nacional y local, si la hubiera.
- No se aceptan reportes de mediciones. Los artículos deben contener la presentación de resultados de medición y su comparación, también deben presentar un análisis detallado de los mismos, un desarrollo metodológico original, una manipulación nueva de la materia o ser de gran impacto y novedad social.
- Sólo se aceptan modelos matemáticos si son validados experimentalmente por el autor.
- No se aceptarán trabajos basados en encuestas de opinión o entrevistas, a menos que aunadas a ellas se realicen mediciones y se efectúe un análisis de correlación para su validación.
- Para su consideración editorial, el autor deberá enviar el artículo vía electrónica en formato “.doc”, así como el material gráfico (máximo cinco figuras, incluyendo tablas), fichas biográficas de cada autor de máximo 100 palabras y carta firmada por todos los autores (formato en página web) que certifique la originalidad del artículo y cedan derechos de autor a favor del ITSL.
- Los originales deberán tener una extensión máxima de seis páginas (incluyendo figuras y tablas) de acuerdo al formato que a continuación se especifica:
  - Respetar el formato vigente para artículos del CONICNI (disponible en página web)
  - Tamaño carta; el margen superior deberá ser de 2.5 cm. y el resto de 2 cm.
  - Título. Máximo dos renglones, tipografiado en altas y bajas, tipo Times New Roman a 24 puntos, con interlínea normal, en negritas.

- Nombre del autor o autores. En mayúsculas con alineación al margen derecho, misma fuente tipográfica en 12 puntos, asterisco sobrescrito al final.
- Adscripción. Colocarla en pie de página de la 2a. columna antecedida por un asterisco, en tipografía Times New Roman de 8 puntos.
- Cuerpo del texto. A dos columnas, con tipografía Times New Roman de 10 puntos, justificado.
- Resúmenes. No mayores de 100 palabras tanto en inglés como en español. Incluir a lo sumo cinco palabras clave tanto en inglés como en español para ser utilizadas en índices. Deben ubicarse al terminar el cuerpo y antes de las referencias. Misma tipografía que el cuerpo.
- Deberán ser numeradas y aparecerán en el orden que fueron citadas en el texto, utilizando la misma tipografía del cuerpo. Las fichas bibliográficas deberán contener los siguientes datos: autores o editores, título del artículo, nombre del libro o de la revista, lugar, empresa editorial, año de la publicación, volumen y número de páginas.
- Subtítulos. Tipografía Times New Roman, 10 puntos, en negritas.
- Notas al pie. Times New Roman, 8 puntos.
- Material gráfico (incluye figuras, imágenes y tablas). Mínimo dos, máximo cinco a una o dos columnas, máximo media página, todas las imágenes deberán ser de al menos 300 DPI.
- Pie de gráficos. Tipografía Times New Roman, itálica de 9 puntos.
- Deberán evitarse en lo posible las notas a pie de página.

#### Nota importante

Todas las colaboraciones, sin excepción, serán evaluadas; en el caso de los artículos de investigación (difusión) serán arbitrados por especialistas por área científica. Los criterios aplicables a esta clase de artículos serán: el rigor científico, la calidad y precisión de la información, el interés general del tema expuesto y la claridad del lenguaje.

En el caso de los artículos de difusión, serán evaluados por especialistas en el tema, quienes valorarán la pertinencia, el lenguaje y la calidad del contenido.

Todos los textos son sometidos a revisión y los editores no se obligan a publicarlos sólo por recibirlos.

Una vez aprobados, los autores aceptan la corrección de textos y la revisión de estilo para mantener criterios de uniformidad de la revista.

La revista se reserva el derecho de no acusar recibo de los trabajos que no se ajusten a estas normas.

Todos los artículos deberán remitirse a la dirección de correo:  
revistacid@itslerdo.edu.mx

o bien, al siguiente dirección:

Revista *CIENCIA, INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO*

Edificio "F", Planta Alta

Av. Tecnológico 1555 Sur Col. Periférico

C.P. 35150. Ciudad Lerdo, Durango, México

Para cualquier comentario o duda estamos a disposición de los interesados en:

Tel: +52 (871) 7 25 23 71. ext. 134

<http://www.itslerdo.edu.mx>

<http://www.coninci.mx>

LA REVISTA CIENCIA, INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO TIENE COMO PROPÓSITO DIFUNDIR LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA, TECNOLÓGICA Y DE CONOCIMIENTO, QUE EMERGE DE LAS PONENCIAS ACEPTADAS EN LAS EDICIONES ANUALES DEL CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA (CONINCI) DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE LERDO, EN LOS ÁMBITOS ACADÉMICO, CIENTÍFICO, TECNOLÓGICO E INDUSTRIAL.

EN ESTA OCASIÓN, EN SUS PÁGINAS SE PUBLICAN LOS TRABAJOS Y/O AVANCES DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO PRESENTADOS EN LAS DIVERSAS ÁREAS DE LAS PONENCIAS DEL CONINCI EN SU EDICIÓN 2017.

