



## ESTUDIO DE MEJORA DEL PROCESO DE SOLDADURA DE SOLDAME DEL VALLE S.A.S. A PARTIR DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE EXPERIMENTOS (STUDY OF IMPROVED WELDING PROCESS SOLDAME SAS VALLEY FROM ANALYSIS AND DESIGN OF EXPERIMENTS)

### RESUMEN

El presente trabajo estudia de cerca el proceso de soldadura de la empresa Soldame del Valle S.A.S. en la unión de láminas de recubrimiento para vagones y/o contenedores utilizados para el transporte de distintos materiales, encontrando diversos factores que intervienen en la calidad de la unión de piezas, destacando la intensidad de corriente y el nivel de limpieza de las piezas, como los factores más influyentes y a la vez controlables del proceso. Determinados estos factores se realizan diversos análisis: control del proceso a través de gráficos por atributos tipo P, análisis de varianza ANOVA de un solo factor y análisis de diseño de experimentos de un solo factor. Se concluye en la importancia de la limpieza previa de las piezas para poder garantizar una buena unión y la estandarización de la intensidad de corriente para llevar a cabo la operación, la cual debe ser igual a 100 amperios (A), garantizando así la calidad de las piezas ensambladas y la disminución de quejas y devoluciones para la organización.

**Palabras Clave:** Soldadura, ANOVA, Diseño de experimentos, Control proceso.

### ABSTRACT

This research took place in the factory Soldame del Valle S.A.S. with the purpose of study closely the welding process and the union of coating films for wagons and containers used as transportation of different materials, finding various factors influencing the quality of the connection of parts, highlighting the current intensity and the level of cleaning of the parts as the most influential factors and to the controllable time of the process. Given these factors are carried out various analyses such as: Control of the process through graphics by attributes type P, analysis of variance ANOVA of a single factor, and design analysis of experiments of a single factor. Concluding that is very important the pre-cleaning of parts to ensure a good union and the standardization of the current intensity to carry out the process, which must be equal to 100 amperes (A). This way assembled parts will get quality and will decrease complaints and returns by the organization.

**Keywords:** Welding, analysis of variance, Experimental design, Statistical Process Control

#### Jairo Arboleda

Magister en Ingeniería Industrial.  
Docente del programa de Ingeniería Industrial. Grupo de investigación Productividad y competitividad.  
Universidad Pontificia Bolivariana;  
Palmira, Colombia. Correo electrónico: jairo.arboleda@upb.edu.co

#### Fabio Eduardo Escobar Raquira, Bryan Salcedo Moncada

Estudiantes de ingeniería industrial.  
[Grupo de investigación Productividad y competitividad]; [Semestre VII – Ingeniería industrial]; [Universidad Pontificia Bolivariana]; [Palmira]; [Colombia]. Correo electrónico: eduardo.escobar@upb.edu.co; bryan.salcedo@upb.edu.co



## INTRODUCCIÓN

El control de procesos aplicado a la industria lleva consigo muchas ventajas. Una frase muy popular es "quien controla, sabe", lo que no está tan alejado de la realidad, ya que podemos ver que lo ideal hoy en día es llevar los procesos operativos a un proceso de optimización, pero para poder llevarlo a cabo mediante el control, tal y como dice Smith & Corripio (1991) se debe conocer las condiciones, factores cuantitativos y cualitativos, causas, especificaciones y demás información de primera mano con la finalidad de diagnosticar, recomendar y mejorar el proceso como tal. Si esta premisa básica no se cumple y solo se ejerce el control por el control mismo, se corre el riesgo de caer en un círculo vicioso que nos llevará a medir absolutamente todo sin un sentido claro.

El presente trabajo de investigación y aplicación, pretende, como indica su título, estudiar detalladamente el proceso de soldadura que se realiza en la empresa Soldame Del Valle S.A.S a base de análisis y diseños de experimentos, por lo cual se ha estructurado en dos variables que consideramos son las más influyentes y pertinentes para el estudio, las cuales son la limpieza previa antes de la operación y el ajuste de la intensidad de corriente del equipo de soldadura; se eligen estas dos variables con la finalidad de mejorar y encaminar a la optimización de la operación de soldadura.

Se procede a analizar y describir la operación de soldadura y la problemática que esta misma genera,

en la que encontraremos los diferentes tipos de variables controlables y no controlables. Al analizar estas variables se justifica el estudio a realizar por parte de la variable limpieza y la variable intensidad de corriente, y cómo estas afectan de manera directa la eficacia, calidad, rentabilidad y duración del proceso de soldadura y de qué manera esto repercute en toda la organización.

Al abordar la primera variable, "limpieza antes de la operación de soldadura", se describe las condiciones, restricciones y especificaciones que tiene dicho proceso, en el cual se analizará información recopilada en un periodo de tiempo de 10 días. Y a partir de estos datos se realizará un control de proceso con gráfico por atributo P, con el fin de determinar las unidades defectuosas en determinado periodo de tiempo.

La recopilación de toda esta información permite tener una visión más específica sobre las causantes de dichas partes defectuosas del proceso. Se realiza una serie de pruebas con muestras limpias y muestras sin limpieza, de manera que los resultados obtenidos permiten realizar un análisis de varianza ANOVA, el cual probará que la limpieza del material previo a la aplicación de la operación afecta de manera directa la calidad del proceso.

Ya realizado el análisis de la prueba estadística referente a la primera variable, de manera objetiva se enfoca en la segunda variable, la de intensidad de corriente. Al tener previamente la información sobre las especificaciones y condiciones tanto del equipo de soldar como del proceso de soldadura, se



realiza una serie de pruebas con soldadura 60—1 calibre 1/8 y se ajusta la máquina en 4 diferentes intensidades de corriente, con el fin de encontrar la relación calibre e intensidad de corriente más óptima. Una vez realizada esta prueba, se procede al diseño de experimentos de un solo factor, con el fin de determinar la relación más óptima.

Para finalizar se analiza de manera general los diferentes estudios estadísticos realizados y los resultados arrojados previamente, en los que encontraremos que estas variables inciden de manera directa sobre el proceso de soldadura, con lo cual se busca emprender el camino hacia la optimización del proceso.

### **Planteamiento del Problema y Justificación**

Soldame Del Valle S.A.S. es una empresa dedicada a la reparación general de maquinaria agrícola y de transporte, con más de 15 años de trayectoria, en los cuales ha trabajado con diferentes empresas a nivel regional como son los ingenios azucareros Providencia, Incauca, Manuelita, entre otros.

La organización ofrece diversos servicios. El más demandado por los clientes u otras empresas es el de reparación general de maquinaria agrícola y de transportes. El proceso clave para abordar este tipo de reparaciones es la soldadura, la cual es utilizada para el ensamble de láminas de recubrimiento de vagones o contenedores de carga y diferentes piezas que se requieran.

La soldadura es un proceso de vital importancia, ya que estas láminas son las que van a ayudar a soportar las altas toneladas de almacenamiento de distintos materiales, como la caña de azúcar, el bagazo, semilla de caña y cargamento en general. Si estas uniones llegaran a fracturarse, el trabajo hecho por la Soldame del Valle S.A.S. se desmantelaría y entraría la empresa a prolongar la licitación de la reparación, como también los gastos correspondientes a garantías. Esto generaría múltiples pérdidas para la empresa.

Debido a esto, el servicio de soldadura proporcionado por la empresa debe ser completamente eficiente, generándose bajo condiciones necesarias para que se cumpla de manera efectiva. Dentro de estas condiciones se encuentran el nivel de limpieza del material, el calentamiento de la soldadura, el amperaje de la maquinaria especializada, la técnica del soldador y, por último, el tipo de varilla de soldadura.

Los factores que pueden generar problemas a la hora de llevar a cabo el proceso son: la fijación del amperaje correcto en la maquinaria y la preparación previa y limpieza de las piezas a soldar, lo que a incide en la calidad de la unión que se realiza. Como consecuencia de no hacer esto, aumentan los tiempos de producción, lo que afecta a la productividad; y también se genera un aumento del gasto energético de la maquinaria y se acorta la vida útil de la misma. Por otro lado, un mal contacto puede llevar a futuros daños. Por esto se debe realizar una buena preparación previa tanto de las



maquinarias como de los materiales, eliminando todo tipo de contaminantes para garantizar el mejor trabajo posible.

### **OBJETIVO GENERAL**

Realizar una propuesta para la mejora del proceso de soldadura de Soldame del Valle S.A.S. utilizando las técnicas de diseño de experimentos con el fin de mejorar la satisfacción de los clientes.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diagnosticar la situación actual del proceso de soldadura de la empresa Soldame del Valle S.A.S.
- Analizar la información recolectada para encontrar causas de variación del proceso de soldadura y seleccionar las variables críticas que están generando inconformidades.
- Elaborar diseño de experimentos teniendo en cuenta las variables críticas.
- Desarrollar propuesta para establecer las condiciones de operación, con el fin de optimizar el proceso.

### **Referente Teórico**

#### **Control estadístico de procesos:**

Un proceso industrial está sometido a una serie de factores de carácter aleatorio que hacen imposible fabricar dos productos exactamente iguales. Dicho de otra manera, las características del producto fabricado no son uniformes y presentan una variabilidad. Esta variabilidad es claramente indeseable y el objetivo ha de ser reducirla lo más posible o al menos mantenerla dentro de unos límites. El Control Estadístico de Procesos es una herramienta útil para alcanzar este segundo objetivo. Dado que su aplicación es en el momento de la fabricación, puede decirse que esta herramienta contribuye a la mejora de la calidad de la fabricación. Permite también aumentar el conocimiento del proceso (puesto que se le está tomando "el pulso" de manera habitual), lo cual en algunos casos puede dar lugar a la mejora del mismo (Montgomery, 2001).

Una herramienta para establecer control en un proceso es el gráfico de control por atributos. Para que tenga sentido la aplicación de los gráficos de control, el proceso ha de tener una estabilidad suficiente que, aun siendo aleatorio, permita un cierto grado de predicción. En general, un proceso caótico no es previsible y no puede ser controlado. A estos procesos no se les puede aplicar el gráfico de control ni tiene sentido hablar de capacidad. Un proceso de este tipo debe ser estudiado mediante herramientas estadísticas avanzadas hasta que el grado de conocimiento empírico obtenido sobre el



mismo permita conocer las causas de la estabilidad y se eliminen.

### **El análisis de la varianza (ANOVA):**

Es una potente herramienta estadística, de gran utilidad tanto en la industria, para el control de procesos, como en el laboratorio de análisis, para el control de métodos analíticos. Los ejemplos de aplicación son múltiples, pudiéndose agrupar, según el objetivo que persiguen, en dos principalmente: la comparación de múltiples columnas de datos y la estimación de los componentes de variación de un proceso. La comparación de diversos conjuntos de resultados es habitual en los laboratorios analíticos. Así, por ejemplo, puede interesar comparar diversos métodos de análisis con diferentes características, diversos analistas entre sí, o una serie de laboratorios que analizan una misma muestra con el mismo método. También sería el caso cuando queremos analizar una muestra que ha estado sometida a diferentes tratamientos o ha estado almacenada en diferentes condiciones. En todos estos ejemplos hay dos posibles fuentes de variación: una es el error aleatorio en la medida y la otra es lo que se denomina factor controlado (tipo de método, diferentes condiciones, analista o laboratorio...) Una de las herramientas estadísticas más utilizadas que permite la separación de las diversas fuentes de variación es el análisis de la varianza (ANOVA, del inglés Analysis of Variance) [Massart, 1997].

### **Diseño de experimentos:**

La experimentación forma parte natural de la mayoría de las investigaciones científicas e industriales, en muchas de las cuales los resultados del proceso de interés se ven afectados por la presencia de distintos factores, cuya influencia puede estar oculta por la variabilidad de los resultados muestrales. (Rojas, 2006). Es fundamental conocer los factores que influyen realmente y estimar esta influencia. Para conseguir esto es necesario experimentar, variar las condiciones que afectan a las unidades experimentales y observar la variable respuesta. Del análisis y estudio de la información recogida se obtienen las conclusiones.

Las técnicas de diseño de experimentos se basan en estudiar simultáneamente los efectos de todos los factores de interés, son más eficaces y proporcionan mejores resultados con un menor coste. Las etapas a seguir en el desarrollo de un problema de diseño de experimentos son las siguientes:

1. Definir los objetivos del experimento.
2. Identificar todas las posibles fuentes de variación.
3. Elegir una regla de asignación de las unidades experimentales a las condiciones de estudio (tratamientos).
4. Especificar las medidas con que se trabajará (la respuesta), el procedimiento experimental y anticiparse a las posibles dificultades.
5. Ejecutar un experimento piloto.



6. Especificar el modelo.
7. Esquematizar los pasos del análisis.
8. Determinar el tamaño muestral.
9. Revisar las decisiones anteriores. Modificarlas si se considera necesario.

### Metodología

Para poder entrar a diagnosticar la situación actual del proceso de soldadura de la empresa Soldame del Valle S.A.S. se hicieron una serie de visitas periódicas donde se llevó a cabo una recolección de datos para determinar si el proceso está en control estadístico. Mediante un control del proceso con gráfico por atributos tipo P, debido a que es una empresa que trabaja por pedidos, y las muestras diarias son diferentes. Con este se busca determinar cuántas uniones por soldadura son defectuosas o no defectuosas, es decir el número de conformes y de no conformes diario. Para realizar este control del proceso se toman muestras diarias desde el 15 hasta el 26 de mayo del 2015, omitiendo domingos. Las muestras tomadas son variables cada día, la empresa labora de lunes a sábado. Y en el gráfico se puede ver que el proceso está en control estadístico.

A partir de este gráfico de control por atributos y con las observaciones de cómo se realiza el proceso de soldadura, se seleccionaron dos variables controlables críticas en el proceso. La limpieza de las piezas a unir, y la intensidad de corriente con que opera la maquinaria; gracias a esto se pudo

elaborar un diseño de experimentos teniendo en cuenta las variables críticas.

Para determinar la existencia de una variación o diferencia en la calidad de la soldadura, con una limpieza previa de la muestra, se lleva a cabo un análisis de varianza ANOVA de un solo factor. Debido a que solo existe un único factor que realmente interesa estudiar, es decir un modelo de ANOVA de efectos fijos. La calificación del experto en soldadura por Fabio Eder Escobar Prado fue la siguiente:

Calificación	Interpretación
1	Inaceptable
1.5	Mala
2	Deficiente
2.5	Regular
3	Aceptable
3.5	Buena
4	Sobresaliente
4.5	Excelente
5	Alta Calidad

**Tabla 1. Calificación de la soldadura en 10 muestras**

Para determinar la variación entre los distintos tratamientos por la intensidad de corriente, es decir el amperaje, se lleva a cabo un Diseño de Experimentos de un solo factor. Debido a que la



variable dependiente es la calidad de la soldadura, la cual depende del amperaje con que se esté trabajando (variable independiente), el cual es controlable por el operario. La calidad de la soldadura será otorgada por el experto anteriormente nombrado y con el mismo sistema de calificación.

El soldador por arco de corriente constante monofásica trabaja a las siguientes Intensidades de corriente, se escogen los cuatro tratamientos señalados:

Nivel de amperaje soldador	
1	10 A
2	32.72 A
3	55.44 A
4	78.16 A
5	100.88 A
6	123.60 A
7	146.32 A
8	169.04 A
9	191.77 A
10	214.44 A
11	237.20 A

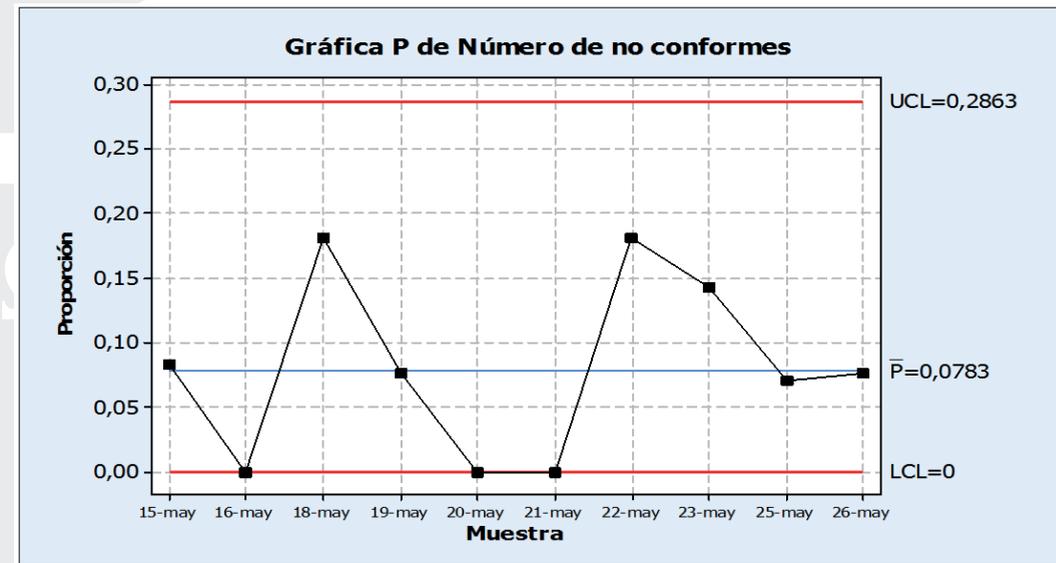
**Tabla 2. Nivel de amperaje del soldador por arco de corriente constante monofásica**

**Resultados**

Para realizar los análisis anteriormente nombrados se hace uso del software estadístico MINITAB.

1. Control del proceso con gráfico por atributos tipo P

Las muestras tomadas son variables cada día, la empresa labora de lunes a sábado. Y en el gráfico se puede ver que el proceso está en control estadístico. Es decir no hay ningún punto asignable para control estadístico.



**Gráfico 1. Gráfico tipo P de número de no conformes en la compañía Soldame del Valle S.A.S.**

2. Análisis de varianza ANOVA de un solo factor

Variable	Desv.Est.
Muestras con limpieza	0,474



Muestras sin limpieza 0,599

La extracción de la desviación estándar indica que hay más variación en la muestra sin limpieza:  $0,599 > 0,474$ .

$H_0: \mu_1 = \mu_2$  (No existe variación en cuanto a la limpieza de la muestra).

$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$  (Sí existe variación en cuanto a la limpieza de la muestra).

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

$P < \alpha$  Se rechaza  $H_0$

$0,002 < 0.05$  Por lo tanto se rechaza la  $H_0$ , aceptando la  $H_a$

De este modo se puede afirmar que sí existe variación en cuanto a la limpieza de la muestra. La pieza con limpieza previa presenta mejor calidad.

## Gráfico 2. Análisis de varianza (ANOVA) para el nivel de limpieza de las piezas.

3. Diseño de experimentos de un solo factor

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$  (No existe variación entre los distintos tratamientos por intensidad de corriente).

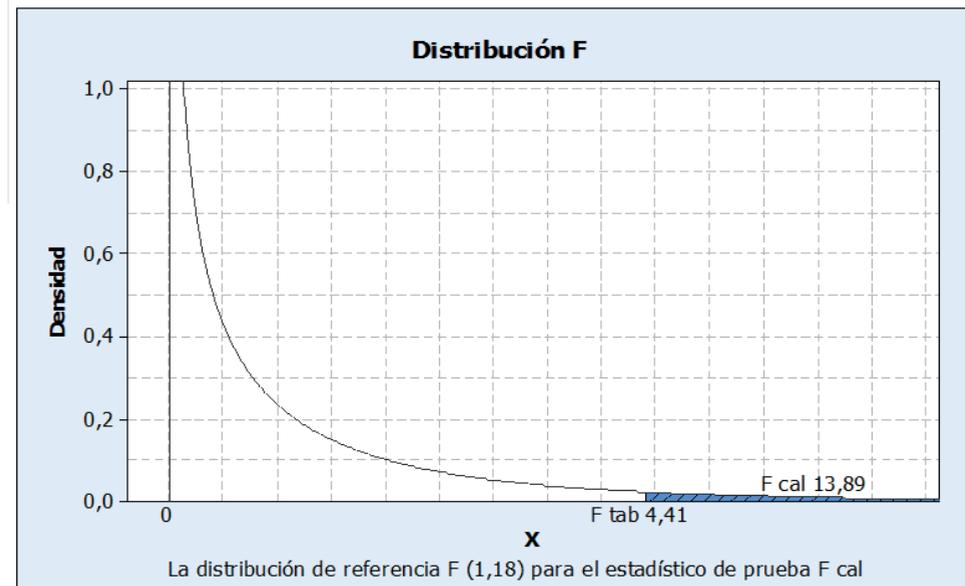
$H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$  (Sí existe variación entre los distintos tratamientos por intensidad de corriente).

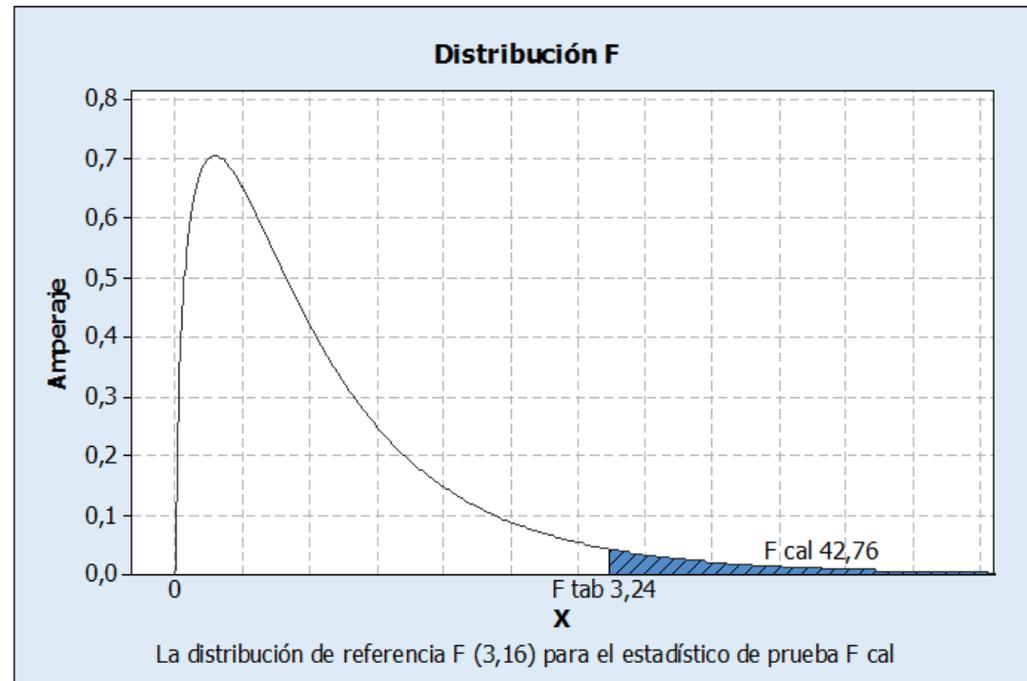
Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

$P < \alpha$  Se rechaza  $H_0$

$0,000 < 0.05$  Por lo tanto se rechaza la  $H_0$ , aceptando la  $H_a$

Por lo tanto sí existe variación en los tratamientos según el amperaje, destacando que el tratamiento que genera mejor calidad en la pieza es el de 100 A, y el de menos calidad el de 123 A.





**Gráfico 3. Diseño de experimentos de un solo factor para la intensidad de corriente.**

### CONCLUSIONES

1. Al aplicar estos diferentes análisis de diseños de experimentos al proceso de soldadura que lleva a cabo la empresa Soldame del Valle S.A.S., podemos concluir que el nivel de estandarización y el control que se aplica a los procesos es muy bajo, lo cual representa una desventaja frente a la competencia. También impide que se puedan desarrollar estudios estadísticos que colaboren a la mejora continua.

2. En cuanto al primer análisis estadístico, el control de procesos mediante un gráfico de control por atributos tipo P, en vista de los datos cabe señalar que el proceso está en control estadístico; durante tres días de análisis la empresa presentó 0% de defectuosos, algo positivo. No obstante, la toma de datos se realizó a pequeñas muestras debido a que la empresa labora por pedidos, también durante pocos días.

3. En el análisis de varianza ANOVA de un solo factor, se partía de la sospecha de que las muestras



a soldar debían tener una buena limpieza previa antes de la operación, lo que es algo que los operarios olvidan con facilidad. Gracias a este análisis se puede afirmar que sí existe una variación en la calidad de la pieza si esta está limpia. Por lo tanto Soldame del Valle S.A.S. debe exigir a sus empleados que no descuiden esta actividad para poder garantizar una buena unión de piezas, ya que esto permitirá que fluya la corriente más fácil por el material, logrando que el electro se adhiera de manera más efectiva a la pieza.

4. En el último análisis, el de diseño de experimentos de un solo factor, cabe concluir que sí existe variación en la calidad de la soldadura entre los distintos tratamientos llevados a cabo, en este caso diferentes intensidades de corriente (Amperaje). Basándose en el intervalo de confianza de la distribución de la desviación estándar de la media, se puede afirmar que el tratamiento que presenta una mejor calidad de la pieza es de 100 A. Y el de menor calidad el de 123 A.

### **BIBLIOGRAFÍA**

Acedo, José. (2006). Instrumentación y control avanzado de procesos. México D. F: Ediciones Díaz de Santos.

Baró, J. y Alemany, R. (2000). Estadística II. Ed. Fundació per a la Universitat Oberta de Catalunya. Barcelona, España: Alianza Editorial.

Boqué, Ricard y Maroto, Alicia. (2005). El análisis de la varianza (ANOVA), Comparación de múltiples poblaciones. Grupo de Quimiometría y Cualimetría. Tarragona, España: Universitat Rovira i Virgili.

Coleman, D. y Montgomery, D.C. (1993). A Systematic Approach to Planning for a Designed Industrial Experiment. *Technometrics*, 35(1).

Dale H., Besterfield. (2009). Control de calidad. México D. F: Editorial Prentice Hall.

Devore, J.L. (2012). Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias. México D. F: Editorial: Cengage Learning.

Peña Sánchez de Rivera, D. (1987): "Estadística. Modelos y Métodos. Volumen 2". Madrid: Alianza Editorial.

Juran, J. M. (1993). La función de la calidad. Manual de Control de la Calidad. La Habana, Cuba: Editorial MES.

Ishikawa, K. (1988). ¿Qué es el control total de la calidad? La modalidad Japonesa. La Habana, Cuba: Editorial Ciencias Sociales.

Moreno, Wilfredo. (1993). Diseño de Experimentos. Bucaramanga: Publicaciones UIS.

Montgomery, D.C. (2001). Design and Analysis of Experiments. New York: Editorial John Wiley & sons, inc.

Montgomery, D.C. (2005). Diseño y análisis de experimentos. New York: Grupo Editorial



Colección Académica de  
Ciencias Estratégicas

ISSN -e: 2382-3283  
Vol. 2 No.2  
2015

Iberoamérica.

Montgomery, D. Peck, Y. Vining, G. (2006).  
Introducción al análisis de regresión lineal. New  
York: CECSA.

Moore, David S. (1998). Estadística aplicada básica.  
Barcelona, España: Antoni Bosch.

Omachonu, V. K. y Ross, J. E. (1995). Principios de  
la calidad total. México: Diana.

Peña Sánchez de Rivera, D. (1987): "Estadística.  
Modelos y Métodos. Volumen 2". Alianza Editorial.  
Madrid. ISBN: 84-206-8110-5

Pons Murguía, R. (1994). Investigación y elaboración  
de procedimientos para el mejoramiento de la  
calidad de la producción de partes, piezas y equipos.  
(Tesis en opción al grado científico de Doctor en  
Ciencias Técnicas). Universidad de Holguín - Oscar  
Lucero Moya, Holguín, Cuba.

Rojas, Arturo. (2006)- Libro de Diseño de  
experimentos. Contraste de hipótesis, p. 276-  
291. Recuperado el 16 de mayo en [http://biplot.  
usal.es/problemas/libro/5%20Contrastes.pd  
f](http://biplot.usal.es/problemas/libro/5%20Contrastes.pdf)

Smith, Carlos. (1991). Control automático de  
procesos: Teoría y práctica. Tampa, EEUU: Limusa.

Wonnacott, Thomas H. (1997). Introducción a la  
estadística. México: Limusa.

