



Colección Académica de  
Ciencias Estratégicas

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



SECCIONAL PALMIRA

## ANÁLISIS Y DISEÑO DE EXPERIMENTOS DEL PROCESO DE DOBLADO DE LA EMPRESA CARVAJAL ESPACIOS

### RESUMEN

En el presente trabajo se plasma el análisis y diseño de experimentos del proceso de doblado de piezas para el ensamble de muebles metálicos en la empresa Carvajal Espacios, encontrando diversos factores o variables que alteran dicho proceso, pudiendo destacar los métodos de los operarios para medir las piezas según las especificaciones estipuladas y la calibración de los instrumentos utilizados. Determinado los factores o las variables se procede a elaborar gráficos de Control-Proceso, R & R y análisis de varianza ANOVA. Se concluye que el método utilizado debe perfeccionarse para ejercer la medición correcta de las piezas, ya que la modificación del ángulo de la pieza no afecta el ancho especificado para poder realizar el proceso de ensamble de manera eficiente. Se trata de entregar un producto acorde a las necesidades del cliente, brindando calidad y disminuyendo las pérdidas de la empresa. Palabras clave: Gestión del Conocimiento, modelos de gestión del conocimiento.

**Palabras Clave: Doblado, ANOVA, Diseño de experimentos, R&R**

### ABSTRACT

In this paper the analysis and design of experiments bending process of parts for the assembly of metal furniture company in Carvajal Spaces, finding various factors or variables that alter the process, being able to emphasize methods for measuring operators parts as stipulated specifications and calibration of the instruments used. Certain factors or variables proceeds to develop graphics - Process Control, R & R and ANOVA. We conclude that the method should be improved to practice the correct measurement of the parts, and that changing the angle of the part does not affect the width specified to perform the assembly process efficiently. It is delivering a product that meets customer needs, providing quality and reducing losses of the company.

**Keywords: Folding, ANOVA, Analysis of Experiments Design, R&R**

#### 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

#### Karen Andrea Pérez Sánchez, Stephanie Posso Sánchez

Estudiantes de ingeniería industrial.  
[Grupo de investigación Productividad y competitividad]; [Semestre VII – Ingeniería industrial]; [Universidad Pontificia Bolivariana]; [Palmira]; [Colombia]. Correo electrónico: Kps96@outlook.com; Tfitoposo@hotmail.com



## INTRODUCCIÓN

A juicio de Montgomery (2004):

Se habla de un análisis de diseño de experimentos, como una herramienta de importancia fundamental en el ámbito de la ingeniería como una mejora del desempeño de un proceso de manufactura con el objetivo de identificar razones de cambios que se pueden observar en la respuesta de salida en cuanto a la problemática planteada, esperando obtener conclusiones válidas y objetivas.

Por lo tanto, en el presente trabajo de investigación y aplicación se pretende realizar un estudio sobre el proceso de doblado de la empresa Carvajal Espacios con base en un proceso experimental, que permite determinar la influencia que tiene cada uno de los factores sobre la respuesta de salida del sistema.

Se expone el factor de medición de ancho y ángulo y el factor método, postulando hipótesis sobre el resultado a obtener para concluir de qué manera estos factores están generando cuellos de botella y por ende pérdidas a la empresa. A continuación, se realizan propuestas de mejora en cuanto al desarrollo del proceso de doblado, para de esta manera disminuir el porcentaje de productos defectuosos, de quejas y reclamos.

En principio se describen la misión, visión y flujo de procesos que se deben realizar para obtener un producto final óptimo; posteriormente se hace un análisis del proceso de doblado, definiendo las variables controlables y no controlables; al analizar

estas variables se destacan algunas que contribuyen al origen de la problemática, dejando insatisfacción en el cliente y pérdidas en la compañía. Al hacer alusión a las variables, se establecen unas especificaciones, las cuales son las que sirven de referencia para determinar si el proceso se está realizando debidamente; estudiando la elaboración de análisis y diseño de experimentos con el objetivo de concluir si el proceso es capaz, si el método es el adecuado o si la calibración es la debida.

Al obtener la recopilación de datos y gráficos es posible tener un panorama más amplio sobre las causas que están afectando al proceso, dando paso al desarrollo de un análisis de varianza ANOVA, el cual afirmará que la modificación del ángulo en las piezas en el doblado no altera el ancho de la pieza según las especificaciones.

Seguidamente se da un enfoque a la variable medición, desarrollando un gráfico de Reproducibilidad y Repetitividad (R&R), que evidencia el problema presente en el método del operario de doblado.

Finalmente se plantean las conclusiones frente a la información obtenida a través del análisis mediante experimentos y gráficos, encontrando el grado de influencia de cada una de las variables mencionadas anteriormente.



## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS JUSTIFICACIÓN

### Descripción del Problema

La misión de Carvajal Espacios (2015), es definida de la siguiente manera: "Carvajal Espacios es una empresa innovadora en espacios productivos y funcionales, estimulando la productividad y aportando a la calidad de vida de cada uno de sus clientes".

Mediante la fuente primitiva se pudo observar en la empresa Carvajal Espacios una problemática en el proceso del doblado, la cual afecta directamente la misión expuesta en el párrafo anterior. Al terminar la operación de doblado, antes de pasar al siguiente proceso, se debe tomar la medida de algunas piezas, dependiendo del grande del lote que se esté produciendo, lo cual refleja una problemática difícil de notar, pero a la vez muy importante: la realización de piezas defectuosas, dado que todas no fueron medidas, lo que generará entonces pérdidas para la empresa e inconformidad en el cliente. Lo anterior nos lleva a plantear como problemática la medición manual de cada uno de los trabajadores que se encuentran en esta área, permitiéndonos formar una interrogante: ¿Al tomar solo los datos correspondientes a la medida necesaria de algunas piezas, habrá garantía de que en el siguiente proceso no hayan repercusiones?

### Objetivo General

Realizar análisis y diseño de experimentos al proceso de doblado de la empresa Carvajal Espacios, con el fin de brindar una mejor calidad en la fabricación de mueblería metálica.

### Objetivo Específico

1. Diagnosticar la situación actual del proceso de doblado.
2. Realizar un trabajo de diseño de experimentos para poder plantear una propuesta de mejora, utilizando las diferentes técnicas que nos brinda esta área.
3. Establecer las variables controlables para poder observar si se puede o no modificar en este caso los ángulos, sin que afecte las variables no controlables.
4. Elaborar la propuesta de diseño de experimentos para el proceso de doblado de la empresa Carvajal Espacios.

### Referente Teórico

En el mundo actual la competencia es una realidad cotidiana. Por ello, en la búsqueda de mejores productos, es común que en la industria se realicen pruebas o experimentos con el fin de hacer mejoras relacionadas con la calidad, la reducción de costos, la disminución de tiempos de proceso, la sustitución de materiales, la modificación de métodos de



fabricación o incluso el diseño de nuevos productos (Pulido, 2012). Todas las compañías deben realizar estudios constantes, llevando a cabo experimentos bajo técnicas que ayuden a evidenciar las causas de los problemas que presenten sus procesos o sistemas específicos, esto con el fin de tomar decisiones de manera contundente, para así mejorar la calidad y suplir eficientemente las necesidades de los clientes.

En ese sentido, al interior de la empresa Carvajal Espacios se realizaron una serie de observaciones con el objetivo de descubrir fallas en el proceso de doblado, las cuales estaban afectando a la empresa, aumentando el número de productos defectuosos. Para ello se utilizaron una serie de conceptos que sirvieron a la hora de realizar un estudio experimental; estos conceptos se definirán de la siguiente manera:

- Experimento: Pulido (2012), lo define como un cambio en las condiciones de operación de un sistema o proceso, con el fin de medir el efecto del cambio en una o varias propiedades del producto terminado.
- Unidad Experimental: Pieza que se utiliza para generar un valor representativo del resultado. (Arsham, 2015)
- Variable de Respuesta: A través de esta variable se conoce el efecto de cada experimento realizado. (Arsham, 2015)

- Factores: Según Montgomery (2004), son las variables que se investigan en el experimento, respecto a cómo influyen o afectan a las variables de respuesta. Estos factores se clasifican en:
  - Variables Controlables: Son aquellas variables de proceso que se pueden fijar en un nivel dado.
  - Variables no Controlables o de Ruido: Son aquellas variables que no se pueden controlar durante la operación del proceso o durante el experimento.
- Inferencia Estadística: Es aquella estadística que tiene como objetivo hacer afirmaciones válidas acerca de la población o proceso con base en la información contenida en la muestra. (Arsham, 2015)
- Hipótesis Estadística: Es una afirmación sobre los valores de los parámetros de una población o proceso, que es susceptible de probarse a partir de la información contenida en una muestra representativa que es obtenida de la población. (Montgomery, 2004)
- ANOVA: Es la técnica central en el análisis de datos experimentales, con el fin de separar la variación total en las partes con la que contribuye cada factor de variación en el experimento. (Montgomery, 2004)
- Control Procesos: Según Besterfield (2009), el Control Proceso hace referencia al control de las variables inherentes al mismo, para reducir la variabilidad del producto final, disminuyendo



el impacto ambiental y permitiendo mantener el proceso dentro de los límites de seguridad que corresponda.

- Repetitividad & Reproducibilidad (R&R): La primera es la proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivos del mismo, midiendo bajo las mismas condiciones; la segunda hace referencia a la proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo, midiendo bajo condiciones de medición que cambian. (Ferrero, 2006)

### Metodología

Al realizar el estudio en la empresa Carvajal Espacios, se da paso al planteamiento de los siguientes aspectos que se identifican en la problemática encontrada:

### Descripción de los Elementos Claves

#### A. Variables del Proceso:

Variables Controlables: Ángulo (en este caso se manejarán tres ángulos: 870 - 900 - 930)

Variables no Controlables: Presión (es constante dependiendo de la dobladora que se esté utilizando, la cual en este caso manejaría 66 t de presión). Medidas (en este caso tomaremos el ancho de la pieza el cual debe de estar entre 44 y 44.05 mm).

#### B. Indicadores del Estado del Proceso:

H0 (Hipótesis Nula): Sin importar que exista una variabilidad en la variable controlable (ángulo), los datos estadísticos del ancho de la pieza no se verán afectados, teniendo en cuenta la tolerancia manejada por la empresa y por el instrumento de medición utilizado.

H1 (Hipótesis Alternativa): al modificar la variable controlable (ángulo), los datos estadísticos del ancho de la pieza se verán afectados, por lo cual no se cumple con la tolerancia de la empresa, ni del instrumento de medición utilizado.

#### Especificaciones:

$90 \pm 30$  en el ángulo.

$44 \pm 0,05$  mm en el ancho.

Teniendo en cuenta lo anterior, se procede a plantear una propuesta de soluciones basados en dos tipos de diseños de experimentos, como lo son el ANOVA y el R&R. Se concluye realizando las debidas interpretaciones de cada análisis.

#### Interpretación (ANOVA)

Valor tabla  $> F_0$ , por lo tanto, se acepta la hipótesis nula (H0), diciendo que los ángulos NO afectan el ancho de la pieza.

#### Interpretación (R&R)

Al analizar la gráfica podemos observar que existe variabilidad entre los datos tomados por el operador A y los datos tomados por el operador B,



probablemente causados por el instrumento, debido a que pueden encontrarse fallas a pesar de que esté calibrado, reflejando errores dentro del proceso.

El % valor R&R es de 92, lo que quiere decir que el sistema necesita un mejoramiento, dado que se trabajará con un criterio del 10%, para que por lo menos los resultados sean aceptables.

### Resultados

1. Debido a que el proceso se encuentra en control, hasta el momento se determina la capacidad y se concluye que el proceso no es capaz de satisfacer las especificaciones establecidas, teniendo en cuenta que el Cp. es menor a 1. Se especula que es debido a errores del operario en el momento de doblar la pieza; de calibración en los instrumentos como el pie de rey o en la calidad de los materiales.

2. Se puede decir que una de las causas para no cumplir el Cp. es la tolerancia tan mínima que se establece para la medición del ancho de la pieza.

3. La proporción que se tiene de productos defectuosos es del 48.40%.

4. Al analizar la gráfica realizada con base en datos obtenidos en el diseño R&R, podemos observar que existe variabilidad entre los datos tomados por el operador A y los datos tomados por el operador B.

5. El % valor R&R es de 92, lo que quiere decir que el sistema necesita un mejoramiento, dado a que se trabaja con un criterio del 10%, para que

por lo menos los resultados sean aceptables.

### Gráficos

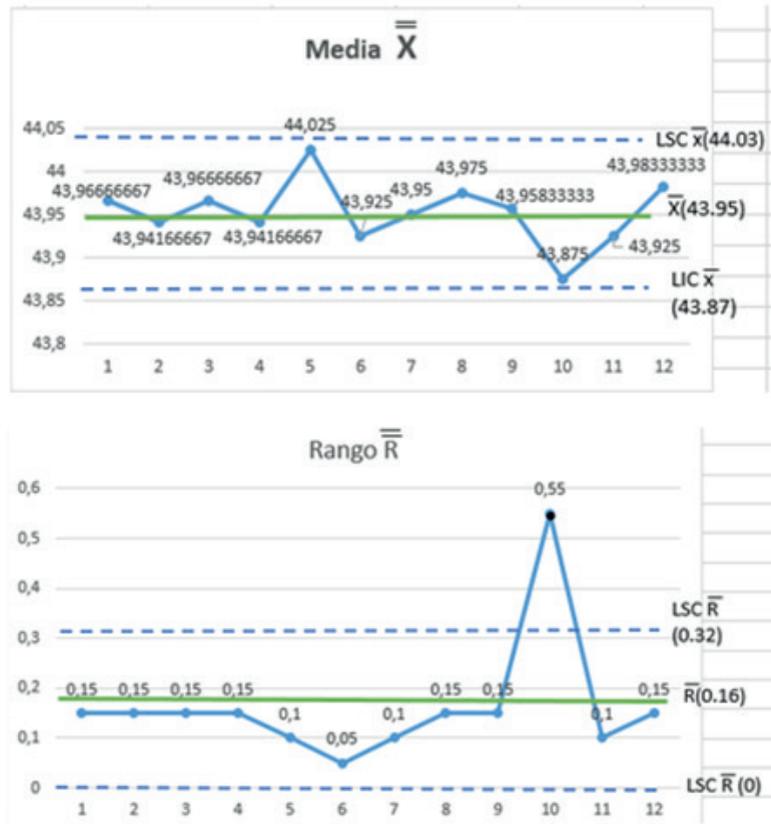
#### Gráfico X,R

Muestras	Datos de la Muestra					Suma	Promedio	Maximo	Minimo	Rango	
M1	43,95	43,9	43,95	44	43,95	44,05	263,8	43,9666667	44,05	43,9	0,15
M2	43,9	43,9	43,9	43,95	43,95	44,05	263,65	43,9416667	44,05	43,9	0,15
M3	43,9	43,95	44,05	43,95	44,05	43,9	263,8	43,9666667	44,05	43,9	0,15
M4	43,9	43,95	44,05	43,95	43,9	43,9	263,65	43,9416667	44,05	43,9	0,15
M5	44	44,05	43,95	44,05	44,05	44,05	264,15	44,025	44,05	43,95	0,1
M6	43,95	43,9	43,9	43,95	43,9	43,95	263,55	43,925	43,95	43,9	0,05
M7	43,9	43,95	43,95	43,95	44	43,95	263,7	43,95	44	43,9	0,1
M8	44	43,95	43,9	44,05	43,9	44,05	263,85	43,975	44,05	43,9	0,15
M9	43,9	43,95	43,95	44,05	43,95	43,95	263,75	43,9583333	44,05	43,9	0,15
M10	43,9	43,95	43,5	43,9	43,95	44,05	263,25	43,875	44,05	43,5	0,55
M11	43,9	43,9	43,95	44	43,9	43,9	263,55	43,925	44	43,9	0,1
M12	44	43,95	43,95	44,05	44,05	43,9	263,9	43,9833333	44,05	43,9	0,15

Datos de Muestra					A2	Especificación		
Media	Rango		Des.Est		D4	limite		Promedio
Promedio	Min	Max	Promedio		D3	Min	Max	
43,9527778	43,5	44,05	0,1625	0,06412786	D2	43,95	44,05	44

**Tabla 1. Medidas de Laminas (mms). Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en Carvajal Espacios**



**Gráfico 1. Cartas de control. Elaboración Propia. Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en Carvajal Espacios**

➤ ANOVA

	Angulo			Ancho (mms)			Yi	Yi
N/1	87	43,5	43,75	43,5	43,5	43,75	261,5	43,5833333
N/2	90	44	44,05	43,95	44,05	44,05	264,15	44,025
N/3	93	45,05	45,05	44,65	44,65	45,55	270,5	45,0833333
							796,15	44,2305556

Ho	M1=M2	n	6
Ha	M1≠M2	a	3
		N	18

	Suma de Cuadrados	Grados de Li	Cuadrado Medio	Fo	Valor Tabla
SStratamientos	7,130277778	2	3,565138889	0,21519574	3,68
SSe	0,905416667	15	16,56695812		
SSt	8,035694444	17			

**Tabla 2. Niveles – Tratamientos. Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en Carvajal Espacios**



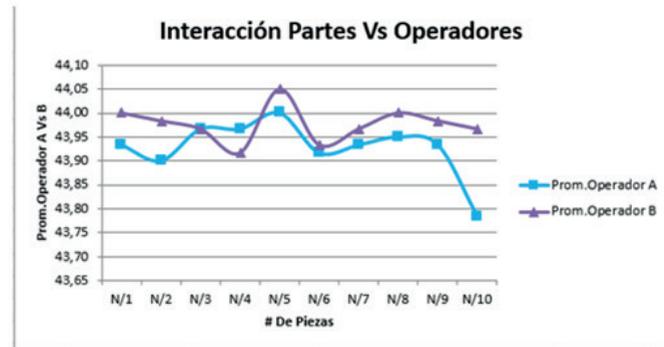
➤ Gráfico R&R

# Piezas	Mediciones de operador A				Mediciones de operador B				Prom. Lecturas
	1er. intento	2do. intento	3er. intento	Rango	1er. intento	2do. intento	3er. intento	Rango	
N/1	43,95	43,9	43,95	0,05	44	43,95	44,05	0,1	43,97
N/2	43,9	43,9	43,9	0	43,95	43,95	44,05	0,1	43,94
N/3	43,9	43,95	44,05	0,15	43,95	44,05	43,9	0,15	43,97
N/4	43,9	43,95	44,05	0,15	43,95	43,9	43,9	0,05	43,94
N/5	44	44,05	43,95	0,1	44,05	44,05	44,05	0	44,03
N/6	43,95	43,9	43,9	0,05	43,95	43,9	43,95	0,05	43,93
N/7	43,9	43,95	43,95	0,05	43,95	44	43,95	0,05	43,95
N/8	44	43,95	43,9	0,1	44,05	43,9	44,05	0,15	43,98
N/9	43,9	43,95	43,95	0,05	44,05	43,95	43,95	0,1	43,96
N/10	43,9	43,95	43,5	0,45	43,9	43,95	44,05	0,15	43,88
<b>Totales</b>	<b>439,3</b>	<b>439,45</b>	<b>439,1</b>	<b>1,15</b>	<b>439,8</b>	<b>439,6</b>	<b>440</b>	<b>1</b>	

Prom. Operador A	Prom. Operador B	Max operario A	Min operario A	Max operario B	Min operario B
43,93	44,00	43,95	43,9	44,05	43,95
43,90	43,98	43,9	43,9	44,05	43,95
43,97	43,97	44,05	43,9	44,05	43,9
43,97	43,92	44,05	43,9	43,95	43,9
44,00	44,05	44,05	43,95	44,05	44,05
43,92	43,93	43,95	43,9	43,95	43,9
43,93	43,97	43,95	43,9	44	43,95
43,95	44,00	44	43,9	44,05	43,9
43,93	43,98	43,95	43,9	44,05	43,95
43,78	43,97	43,95	43,5	44,05	43,9
		<b>439,8</b>	<b>438,65</b>	<b>440</b>	<b>439</b>

**Tabla 3. Medidas de R&R (mms). Fuente:  
Elaboración Propia con datos obtenidos en  
Carvajal Espacios**



xmedia-A	43,93	xmedia-B	43,98	Rango de x partes	0,09
Rmedio-A	0,12	Rmedio-B	0,09		
		Variación Total(TV)	0,382129247		

**Gráfico 2. Indicadores R&R. Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en Carvajal Espacios**

% R&R	Resultados
< 5%	No hay discrepancia
<= 10%	El medidor es aceptable
10 - 30%	Puede ser aceptable basado en la importancia de su aplicación y factores de costo.
> 30%	El Sistema de Medición necesita mejoramiento/acción correctiva

**Tabla 4. Porcentaje R&R. Libro Análisis y Diseño de Experimentos de Montgomery. Fuente: Elaboración Propia con datos obtenidos en Carvajal Espacios**

## CONCLUSIONES

1. Al tomar los datos de las medidas con el instrumento utilizado, surgieron inconvenientes, dado a que al manejar ángulos diferentes a 90°, la medida no va a ser la correcta, debido a que se genera una inclinación o por otro lado queda un espacio entre el instrumento y la pieza, lo cual no permite que manualmente el operario obtenga el resultado adecuado.
2. La tolerancia existente en el ancho (0,05mm), es mínima lo cual puede ocasionar que el proceso no sea capaz.
3. Los resultados no fueron los esperados, dado a que la empresa tiene estipulado que el ángulo a utilizar es de 90°, pero al existir una variación en ello los procesos posteriores se pueden ver afectados, dado a que al tomar los datos manualmente el operario puede tener errores aleatorios en las medidas.
4. Mediante la toma de datos estadísticos en la realización de los diseños de experimentos utilizados, se interpretó por medio de los resultados, que la H0 se rechazó y la H1 se aceptó, lo cual nos permite decir que mientras se esté realizando el proceso de doblado no surgirán problemáticas, pero al manejar ángulos diferentes en el área posterior se tendrán inconvenientes, ya que al soldar las piezas no van a encajar, dado a que la empresa tiene estipulado que el ángulo a operar es el de 90°.
5. La variabilidad en el proceso que se realiza en la compañía se debe de reducir, pudiendo así



realizar planes de acción que ayuden con este factor presentado.

6. Se elabora una propuesta de replantear la secuencia de producción, que pueda ir acorde a los límites exigidos pudiendo ayudar con el proceso, con los requerimientos de la empresa y del cliente y de esta manera disminuir el grado de dispersión, de manera de que se aumente la tolerancia y reducir el número de defectuosos.

## BIBLIOGRAFÍA

Arsham, P. (2015). Ubalt. Recuperado el 30 de agosto de 2015, de

Razonamiento estadístico para decisiones gerenciales: <http://home.ubalt.edu/ntsbarsh/business-stat/opre504s.htm>

Besterfield, D. (2009). Control de Calidad. Octava Edición. México: Pearson Educación.

Carvajal Espacios. (20 de Abril de 2015). Archivos. Palmira,

Colombia.

Carvajal Espacios. (20 de Abril de 2015). Archivos de Inspección.

Carvajal Espacios. (20 de Abril de 2015). Documentos internos de la compañía.

Carvajal Espacios. (20 de Abril de 2015). Especificaciones. Palmira, Colombia.

Carvajal Espacios. (20 de Abril de 2015). Planos. Palmira, Colombia.

Carvajal Espacios. (20 de Abril de 2015). Presentaciones. Palmira, Colombia.

Carvajal Espacios. (20 de Abril de 2015). Proceso de Doblado.

Coleman, D. y Montgomery, D. (1993). A Systematic Approach to Planning for a Designed Industrial Experiment.

Devore, J. (2012). Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias 8ª edición, Cengage Learning.

Ferrero, F. (2006). Recuperado el 30 de agosto de 2015, de Características generales de los sistemas de medida: <file:///C:/Users/Karen/Downloads/01caracteristiques.pdf>

Gutiérrez, P. (2012). Análisis y Diseño de Experimentos (Segunda Edición). Recuperado el 23 de 08 de 2015, de: <http://rbmam.janium.net/janium/Portadas/510495.pdf>

Montgomery, D. (2004). Diseño y análisis de experimentos. Segunda Edición.



*Colección Académica de  
Ciencias Estratégicas*

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

Montgomery, D., Peck, E. y Vining, G. (2006).  
Introducción al análisis de regresión lineal. CECSA.  
Ed 3.

Montgomery, D. (2001) Design and analysis of  
experiments. 5ª edición, Wiley.

Moreno, W. (1995). Diseño de Experimentos.  
Publicaciones UIS.

Z, J. A. (20 de Abril de 2015). Ejercicios. Palmira,  
Colombia.

Z, J. A. (7 de Abril de 2015). Presentaciones Análisis  
y Diseño de Experimentos. Palmira, Colombia.

