

## DISEÑO DE EXPERIMENTOS APLICADO AL ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS EN UN LABORATORIO DE METROLOGÍA

### Design of experiments applied to the analysis of data obtained in Metrology Laboratory

#### RESUMEN

Este documento presenta el uso de técnicas estadísticas para el análisis de datos obtenidos en un laboratorio de metrología, concretamente, se utiliza un diseño de experimentos para verificar las hipótesis acerca de las relaciones entre los factores a estudiar.

**PALABRAS CLAVES:** Diseño de experimentos, Hipótesis, Factores, Metrología.

#### ABSTRACT

*This document presents the use of statistical techniques for data analyzing from a metrology laboratory, specifically using a design of experiments to test hypotheses about the relationships among the factors to consider.*

**KEYWORDS:** *Design of experiments, Hypothesis, Factors, Metrology*

#### ANDRES JARAMILLO GARZON

Ingeniero Industrial.  
Estudiante Maestría en Sistemas Integrados de Gestión de Calidad  
Universidad Tecnológica de Pereira  
andresjg@utp.edu.co

#### JORGE HERNAN RESTREPO CORREA

Ingeniero Industrial, M.Sc  
Profesor Asociado  
Universidad Tecnológica de Pereira  
jhrestrepoco@utp.edu.co

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo contiene una aplicación del diseño y análisis de experimentos, se muestran todos los pasos realizados para el diseño de dos experimentos realizados en la Clínica Comfamiliar Risaralda, de la ciudad de Pereira, se da una visión simplificada de la utilidad del diseño de experimentos. Se muestra el desarrollo estadístico para probar las hipótesis realizadas por el experimentador acerca del efecto que pueden tener los factores seleccionados en el resultado o salidas del proceso.

El proceso seleccionado es la calibración de equipo biomédico, como es un proceso largo y complejo, se realiza el experimento en 2 clases de equipos existentes en la Clínica Comfamiliar de la ciudad de Pereira, se realizó el experimento en desfibriladores y flujómetros de oxígeno.

La realización de pruebas de hipótesis y diseños de experimentos es necesaria para conocer con certeza si existen factores que pueden afectar de manera significativa el resultado de un experimento o la salida de un proceso, en el desarrollo del ejercicio de aplicación que contiene este trabajo, se trata de investigar si los factores propuestos por los investigadores tienen una incidencia real sobre los resultados de las mediciones de los equipos en estudio. En el desarrollo del experimento se explica cada uno de los factores y las condiciones en las que se realiza este experimento.

Se busca una aproximación práctica, en una situación que se presenta en muchas organizaciones, ya que se trata de dar un procedimiento a utilizar en cualquier tipo de situación.

En este caso, se desarrolla el experimento en un área de la caja de compensación Comfamiliar Risaralda, encargada de la calibración de equipos biomédicos de las áreas tanto hospitalaria, como de medicina ambulatoria.

Se eligió desarrollar el experimento en esta área de la empresa, ya que existe mucha sensibilidad al manejo de los datos que arrojan las calibraciones de equipos biomédicos, y se desea saber, aparte de las condiciones de operación de cada equipo, especificadas en los manuales, que otros factores pueden afectar de manera significativa la calibración de estos equipos, ya que es de suma importancia para realizar un diagnóstico o procedimiento certero a los pacientes o usuarios de los servicios.

En pocas palabras, lo que se quiere es realizar cambios deliberados en las variables de entrada del proceso, de manera que sea posible conocer que factores afectan de manera significativas la variable de respuesta.

## 2. CONCEPTOS

Fecha de Recepción: 17 de junio de 2010

Fecha de Aceptación: 13 de Agosto de 2010

Para mayor claridad es necesario definir los siguientes conceptos:

**Experimento:** Creación y preparación de lotes de prueba para verificar o validar las hipótesis planteadas sobre las causas de un determinado problema objeto de estudio. En el experimento, se escogen ciertos factores para su estudio, se alteran de manera deliberada y controlada, y se observa el efecto resultante.

**Diseño de experimentos:** Es una metodología estadística destinada a la planificación y análisis de un experimento.

Se deben tener en cuenta las siguientes condiciones para el diseño de un experimento:

- Se deben comprobar las hipótesis aislando variables que pueden afectar la medición, como errores de medición desproporcionados, entre otros.
- Se debe revelar la existencia de cualquier causa importante de variación, aunque no haya sido planteada como hipótesis.
- Se debe tener alto grado de seguridad en las respuestas

**Variable:** Característica de un objeto que puede ser observada y que puede tomar diferentes valores, tanto en el mismo objeto como en diferentes objetos.

**Unidad experimental:** El sujeto o unidad experimental es la unidad básica sobre la que se efectúa el proceso de medida.

**Observación:** Una observación es una toma de medida de una variable y consta entonces de un valor de la misma. Dependiendo del tipo de diseño, las observaciones pueden tomarse a diferentes sujetos, o al mismo sujeto de manera secuencial.

**Repetición:** Reiteración de una observación o medida al mismo nivel de tratamiento. Proporciona una oportunidad para que los efectos de las variables extrañas, incontroladas se compensen y permite, además, medir el error experimental.

**Aleatorización:** Técnica utilizada para reducir la influencia no predeterminable de variables extrañas sobre los resultados del experimento.

### 3. CONTEXTO

El experimento se desarrollo en la caja de compensación Comfamiliar Risaralda.

Comfamiliar Risaralda es una entidad de servicios dentro del campo de la protección social, que presta diferentes servicios como recreación, salud, atención a necesidades básicas de la comunidad, entre otros.

Como requisito de la certificación ISO 9001:2008, se creo el proceso de metrología, el cual es encargado de certificar que los equipos biomédicos de la institución se encuentren operando en los rangos adecuados.

La empresa creo un procedimiento llamado “1-PR-038 Sistema de aseguramiento metrológico” en el cual se detallan las actividades y todo lo relacionado a las acciones de calibración de equipos biomédicos.

Es importante resaltar, que cada equipo debe estar bajo unas condiciones ambientales estándares, que el fabricante del equipo sugiere.

## 4. DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

### 4.1 PRIMER EXPERIMENTO

Se realiza la toma de datos de la cantidad de energía que entrega un desfibrilador, se realiza el experimento en dos desfibriladores, el primero ubicado en el área de hospitalización pediatria de la Clínica Comfamiliar de la ciudad de Pereira.

Como factores se prueban:

El equipo patrón para realizar la calibración: se prueba el equipo patrón de la UTP, y el equipo patrón del laboratorio de metrología de Comfamiliar Risaralda.

Se realizan 2 replicas (utilizando dos equipos de las mismas características, pero en diferentes ubicaciones, esto se realiza de forma académica, ya que las replicas deberían hacerse en el mismo equipo)

Se toma como factor el rango al cual se toma la medida de energía, (se supone por parte del experimentador que el rango al cual se toma la medición no es relevante).

FACTORES	NIVELES	REPLICAS (2)
Equipo Patrón	Equipo de la UTP	Desfibrilador Pediatria Desfibrilador Hospitalización adultos
	Equipo de Comfamiliar	Desfibrilador Pediatria Desfibrilador Hospitalización adultos
Rango de Calibración	2 Joules	Desfibrilador Pediatria Desfibrilador Hospitalización adultos
	20 Joules	Desfibrilador Pediatria Desfibrilador Hospitalización adultos
	100 Joules	Desfibrilador Pediatria Desfibrilador Hospitalización adultos
	300 Joules	Desfibrilador Pediatria Desfibrilador Hospitalización adultos
	360 Joules	Desfibrilador Pediatria Desfibrilador Hospitalización adultos

Tabla 1. Factores, niveles y replicas del experimento 1

**4.1.1 DATOS OBTENIDOS:**

El experimento fue realizado a una temperatura de 24°C y una humedad relativa del 67%, obteniendo los siguientes datos:

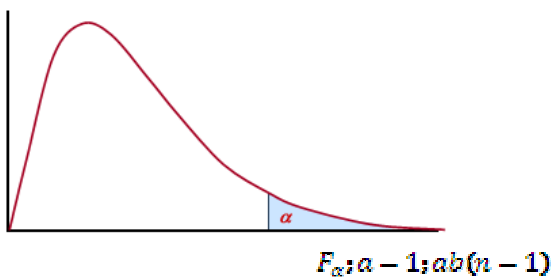
RANGO DE MEDICION	EQUIPO PATRON									
	UTP					COMFAMILIAR				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
2	1.90	1.90	2.00	1.90	2.00	1.95	1.98	1.99	1.99	1.97
	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.98	1.95	1.95	1.98	1.95
20	20.20	20.10	20.20	20.20	19.90	20.43	20.61	20.60	20.57	20.54
	20.10	19.90	19.90	20.10	19.90	20.59	20.31	20.56	20.47	20.49
100	100.00	100.30	100.20	100.50	100.50	102.00	101.00	101.00	102.00	102.00
	100.40	100.40	99.90	100.20	99.90	101.00	102.00	101.00	102.00	101.00
300	301.20	302.60	303.20	302.00	302.80	306.00	308.00	306.00	309.00	307.00
	299.40	300.00	299.10	300.30	300.00	308.00	307.00	307.00	308.00	308.00
360	364.50	364.20	363.30	363.40	362.80	364.00	368.00	369.00	367.00	368.00
	358.90	358.90	358.40	359.00	358.90	366.00	364.00	368.00	375.00	368.00

Tabla 2. Cantidad de energía de los desfibriladores con diferentes factores

De los datos tomados en la anterior tabla, tenemos como variable respuesta, la cantidad de energía que suministran los desfibriladores (medida en Joules), nos interesa entonces, cuanto es la desviación de la lectura, respecto al valor nominal, (se toman los datos en valor absoluto, ya que nos interesa cuantificar la desviación), se obtienen los siguientes datos:

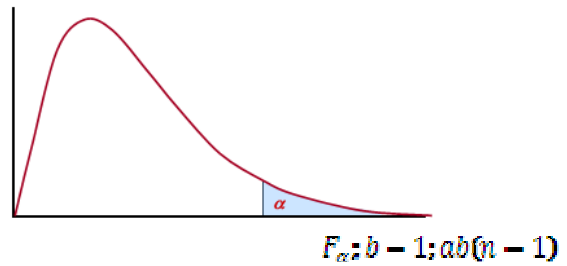
Se tiene entonces un experimento con 2 factores, se toman 5 observaciones en cada uno de los equipos. Se plantean las siguientes hipótesis:

- 1)
  - Ho:  $\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = 0$
  - Ha:  $\tau_i \neq 0$  para al menos un i



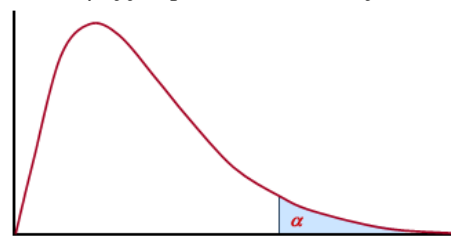
Al menos uno de los rangos de calibración afecta la desviación promedio de la energía medida en Joules de los desfibriladores.

- 2)
  - Ho:  $\beta_1 = \beta_2 = 0$
  - Ha:  $\beta_j \neq 0$  para al menos un j



Los equipos patrón afectan la desviación promedio de la lectura de energía de los desfibriladores

- 3)
  - Ho:  $(\tau \beta)_{ij} = 0$
  - Ha:  $(\tau \beta)_{ij} \neq 0$  para al menos un i, j



$F_{\alpha}; (a - 1)(b - 1); ab(n - 1)$

La interacción entre los rangos de medida y los equipos patrón afectan la desviación promedio de la lectura de energía de los desfibriladores

**MODELO**

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

$\mu$ : Promedio de la variación de la lectura de energía en Joules de los desfibriladores

$\tau_i$ : Efecto del rango de medición en el promedio de la desviación de la lectura de energía en Joules de los desfibriladores

$\beta_j$ : Efecto de los equipos patrón, con los cuales se toma la lectura, sobre la desviación promedio de la lectura de energía en Joules de los desfibriladores.

$(\tau\beta)_{ij}$ : Efecto de la interacción entre los rangos de medida y los equipos patrón, sobre el promedio de la desviación de la lectura de energía en Joules de los desfibriladores.

$\epsilon_{ij}$ : Error aleatorio  $\epsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$

### 4.1.2 ANOVA (Análisis de Varianza)

Análisis de varianza para desviación, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	MC ajust.	F	P
Rango	4	456,788	114,197	80,46	0
Patrón	1	167,651	167,651	118,12	0
Rango*Patrón	4	162,991	40,748	28,71	0
Error	90	127,738	1,419		
Total	99	915,167			

Tabla 3. Análisis de varianza

### 4.1.3 PRUEBA DE HIPOTESIS

$Valor P = 0 < \alpha$

Con un nivel de confianza del 95%, se rechaza la hipótesis nula, al menos uno de los rangos de medición afecta el promedio de la desviación de la lectura de energía de los desfibriladores.

$Valor P = 0 < \alpha$

Con un nivel de confianza del 95%, se rechaza la hipótesis nula, al menos uno de los equipos patrón de medición afecta el promedio de la desviación de la lectura de energía de los desfibriladores.

$Valor P = 0 < \alpha$

Con un nivel de confianza del 95%, se rechaza la hipótesis nula, la interacción entre los rangos de medida y los equipos patrón de medición afecta el promedio de la desviación de la lectura de energía de los desfibriladores.

### 4.1.4 SUPUESTO DE NORMALIDAD

Ho: Los errores siguen una distribución normal

Ha: Los errores no siguen una distribución normal.

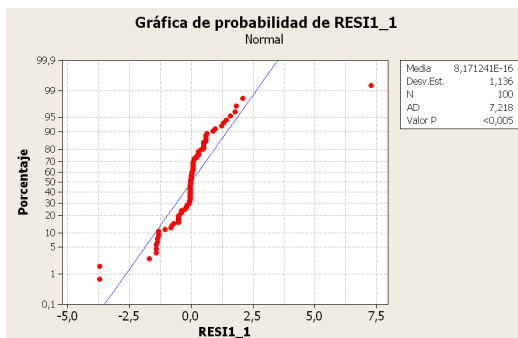


Gráfico 1. Prueba Anderson Darling

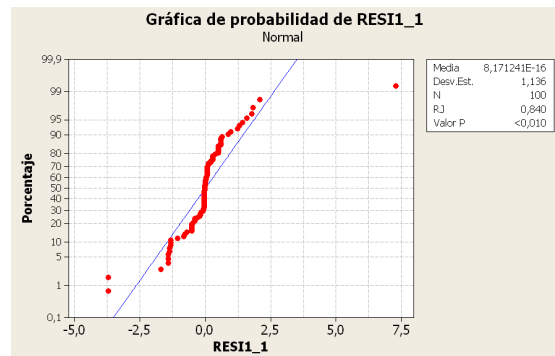


Gráfico 2. Prueba Shapiro Wilk

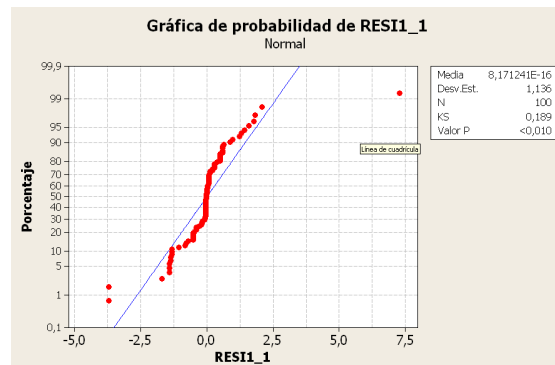


Gráfico 3. Prueba Kolmogorov Smirnov

Con un nivel de confianza de 95%, se rechaza la hipótesis nula, los errores no siguen una distribución normal. (Se debe realizar una transformación a los datos, pero por ser ejercicio académico, se sigue con el experimento)

### 4.1.5 SUPUESTO DE VARIANZAS CONSTANTES

Ho: Las varianzas de los errores son constantes

Ha: Las varianzas de los errores no son constantes

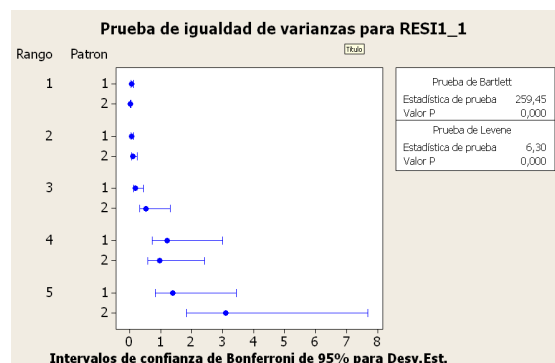


Gráfico 4. Prueba de varianzas iguales

Valor  $P=0 < 0,05$

Con un nivel de confianza del 95%, se rechaza la hipótesis nula, los errores no tienen varianza constante.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El experimento realizado, no es concluyente, debido a que existe un error en la distribución de los residuos, estos no siguen una distribución normal, por lo tanto, el modelo no tiene validez.

Se debe hacer énfasis en la toma de los datos experimentales, ya que pudo haberse producido un error en la toma de los datos.

El experimento sirve para aplicar el modelo de diseño y análisis estadístico de experimentos a situaciones reales, en las cuales es muy necesario el análisis de las hipótesis. En el caso de Comfamiliar Risaralda, se deseaba conocer la incidencia de varios factores en la lectura final de las calibraciones de los equipos biomédicos, los experimentos se desarrollaron teniendo en cuenta condiciones ambientales óptimas para la operación de los equipos, por lo que se puede suponer que es probable que no hayan existido errores en la toma de las lecturas. Si se llegara a realizar varias veces el experimento y los datos de normalidad fueran similares a los obtenidos en los experimentos realizados en este trabajo, se deben realizar transformaciones a los datos para convertirlos en datos que sigan una distribución normal, y así, poder utilizar los resultados del experimento para la toma de decisiones.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

[1] BARKER, T. Quality by Experimental Design. 2da ed. Marcel Dekker. 1994.

[2] DANIEL, Cuthbert. Use of Half-Normal Plots in Interpreting Factorial Two-Level Experiments. Technometrics. Vol 1. No 4, pp 311-340. 1959.

[3] DIAMOND, William. Practical Experiment Designs for Engineers and Scientists. 2da Ed. Van Nostrand Reinhold Company Inc. 1981.

[4] GOH. T. Use of Dummy Values in Analyzing Incomplete Experimental Design Data. Quality Engineering. Vol 10. No 2, pp 397-401. 1997.

[5] GUNST, Richard y MASON, Robert. How to Construct Fractional Factorial Experiments. ASQC Quality Press. 1991.

[6] MONTGOMERY, Douglas C. Design and Analysis of Experiments. John Wiley & Sons. Ed. 4. 1996.

[7] MONTGOMERY, Douglas C. Introduction to Statistical Quality Control. John Wiley & Sons. Ed 2. 1991.

[8] SHEAFFER, Richard y MC CLARE, James. Probabilidad y Estadística para Ingeniería. Grupo Editorial Panamericana. 2 Ed. 1990.

[9] [http://www.fundibeq.org/metodologias/herramientas/dise-no\\_de\\_experimentos.pdf](http://www.fundibeq.org/metodologias/herramientas/dise-no_de_experimentos.pdf)