

ISSN: 2322-7672

# **II Encuentro de Investigación Formativa Ingeniería Industrial Medellín**

Memorias

---

Diana Rocío Roldán Medina  
Beatriz Elena Ángel Álvarez  
Compiladoras



Universidad  
Pontificia  
Bolivariana

© Diana Rocío Roldán Medina (Compiladora)  
© Beatriz Elena Ángel Álvarez (Compiladora)  
© Editorial Universidad Pontificia Bolivariana

**II Encuentro de Investigación Formativa - Memorias**

ISSN: 2322-7672

Primera edición, 2012

Escuela de Ingenierías

Facultad de Ingeniería Industrial

**Gran Canciller UPB y Arzobispo de Medellín:** Mons. Ricardo Tobón Restrepo

**Rector General:** Mons. Luis Fernando Rodríguez Velásquez

**Vicerrector Académico:** Pbro. Jorge Iván Ramírez Aguirre

**Editor:** Juan José García Posada

**Coordinación de producción:** Ana Milena Gómez C.

**Diagramación:** Juan Esteban Casas Tejada

**Corrector de estilo:** César Alejandro Buriticá

**Dirección editorial:**

Editorial Universidad Pontificia Bolivariana, 2012

Email: [editorial@upb.edu.co](mailto:editorial@upb.edu.co)

[www.upb.edu.co](http://www.upb.edu.co)

Telefax: (57) (4) 354 4565

A.A. 56006 - Medellín - Colombia

**Radicado:** 1037-16-08-12

Prohibida la reproducción total o parcial, en cualquier medio o para cualquier propósito sin la autorización escrita de la Editorial Universidad Pontificia Bolivariana.

# **Aplicación del Diseño experimental a una evaluación ergonómica en un ambiente estudiantil.**

## **Application of Experimental Design to an ergonomic evaluation in student environment.**

---

**Fredy Gaviria Henao**

jhonfredy.gaviria@alfa.upb.edu.co

**Sara Tuttle Ospina**

Sara.tuttle@alfa.upb.edu.co

**Daniel Pazmiño**

Daniel.pazmino@alfa.upb.edu.co

**Manuela Lezcano**

manuela.lezcano@alfa.upb.edu.co

**Vanesa Sierra**

vanesa.sierrazu@alfa.upb.edu.co

**Juan Esteban Hurtado**

juanesteban.hurtado@alfa.upb.edu.co

**Marisol Valencia Cárdenas**

Universidad Pontificia Bolivariana

marisol.valencia@upb.edu.co.

## Abstract

---

Continuous improvement looking for welfare of humans has become a priority in organizational environment. Ergonomics looks for optimization between human and physical environment, maximizing welfare and performance of the person. In this work, ergonomic tests are adapted to evaluate incidence of factors like: gender, time of permanence, chair and table, that using statistical tools, look for statistical influence in a response variable associated to physical well-being.

**Keywords:** Ergonomics, physical well-being, Experimental Design.

## Resumen

---

En la actualidad el mejoramiento continuo en busca del bienestar de los seres humanos se ha vuelto una prioridad en el ambiente empresarial. La ergonomía busca optimizar la relación del ser humano con los medios físicos, maximizando el bienestar de la persona pero también el rendimiento. En este trabajo se adaptan unas pruebas ergonómicas simples para evaluar factores como: género, tiempo de permanencia, silla y mesa, buscando mediante herramientas de análisis estadístico encontrar su influencia significativa en una variable respuesta relacionada con el bienestar de la persona.

**Palabras Claves:** Ergonomía, Bienestar corporal, Diseño experimental.

## Introducción

---

La ergonomía en espacios de trabajo es un tema importante para proteger la salud del trabajador, buscando también garantizar una adecuada productividad, disminuyendo la ocurrencia de enfermedades ocupacionales, como los desórdenes de traumas acumulativos, trastornos que han ocupado alrededor de un 60% de las enfermedades ocupacionales en los Estados Unidos (Solomon, 2001).

La ergonomía propone metodologías para evaluar la adecuación de los espacios para los trabajadores, pero también, en el campo educativo, o en ambientes de

aprendizaje (Smith, 2007), cuya principal importancia se centra en el rendimiento académico de los estudiantes. El tema de aplicación ergonómica a ambientes estudiantiles ha recibido poca atención, pero se ha comprobado que dichos ambientes tienen alta incidencia psicológica en el aprendizaje (Smith, 2007). Apuntar a buenos ambientes de aprendizaje involucra entonces el estudio de mecanismos ergonómicos adecuados, para lo cual existen sistemas de evaluación.

Una manera de hacer mediciones sobre los espacios de trabajo con el fin de aprender a valorar la ergonomía de los productos fabricados, y probar nuevos prototipos son los test subjetivos (Vergara y Mondragón, 2005-2006), que por medio de valoraciones sobre el dolor o el confort de la persona, buscan alternativas para plantear un diseño de producto centrado en el usuario.

Específicamente en las pruebas subjetivas, el usuario indica las zonas del cuerpo donde aparece el dolor al permanecer cierto tiempo sentado en las sillas que se pretenden evaluar, con lo cual, al controlar el tipo de silla, el género y el tiempo de permanencia sentado, puede emplearse un diseño experimental (Coleman y Montgomery, 1993) para analizar los tipos de silla que son susceptibles de mejorar en aras de lograr un buen diseño ergonómico, metodología empleada en este trabajo.

Para el desarrollo de este trabajo, se realizó un conjunto de pruebas de dolor para estudiantes de la Universidad Pontificia Bolivariana, con el fin de mostrar una metodología práctica para la evaluación de los puestos de estudio utilizados y proponer alternativas en aquellos niveles que muestren problemas ergonómicos y proponer posibles soluciones a estos.

## Metodología

Se realizó un estudio ergonómico en la Universidad Pontificia Bolivariana para dos tipos de sillas (Cafetería de ingenierías y Zona de estudio Boulevard), evaluando la proporción de dolor en diferentes puntos del cuerpo para quienes se encontraban sentados allí, considerando además el tiempo de permanencia en dichas sillas.

### Factores

Tipo de silla: Cafetería de Ingenierías (a) y Zona de estudio boulevard (b)

Sexo: Masculino y Femenino

Minutos de permanecer sentados: hasta 30, 31-60, y 61-90 minutos

## Procedimiento de cada prueba

Protocolo para la evaluación de dos tipos de mesas de estudio.

Seleccionar los estudiantes en el espacio físico elegido, con participación voluntaria y preguntando el tiempo que llevan sentados en minutos.

Se pide señalar en las casillas las zonas del cuerpo en las que sienta incomodidad, molestias o dolor, según la imagen del cuerpo que se muestra en el formato (figura 1). Las casillas superiores indican dolor o molestias fuertes. Las inferiores, incomodidad o molestias leves.

Figura 1. Formato con imagen corporal de la prueba realizada

Comience señalando las zonas con molestias más fuertes.

Dolor o molestias fuertes: ||| | | | | | | |

||| | | | | |

|| | | | | |

|| | | | | |

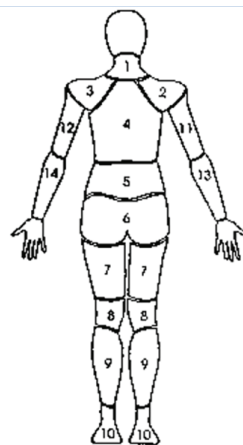
Molestias ligeras: | | | | | |

Número total señalado: \_\_\_\_\_

Proporción del total: (N/14) \_\_\_\_\_

### REFERENCIAS

1. Cuello/nuca.
2. Hombro derecho.
3. Hombro izquierdo.
4. Espalda. Parte alta-media.
5. Espalda. Zona lumbar.
6. Nalgas.
7. Muslos.
8. Corvas.
9. Piernas.
10. Pies.
11. Brazo derecho.
12. Brazo izquierdo.
13. Antebrazo derecho.
14. Antebrazo izquierdo.



Fuente: Vergara Y Mondragón (2005-2006)

## Variable respuesta

En este trabajo se considerará la opción 3 del test, que lleva a la proporción de puntos corporales con dolor en los tiempos, y espacios elegidos, como la variable respuesta indicada para la aplicación del diseño experimental propuesto.

## Elección del diseño experimental

Se estudió un diseño multifactorial para analizar el efecto de los factores y posibles interacciones de estos, sobre la variable respuesta elegida.

## Población

La población participante de las pruebas la constituyen estudiantes entre 18 y 22 años de edad de las carreras de Ingenierías y Diseño Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana, 50% hombres y 50% mujeres.

## Resultados

### Resultados del diseño factorial

Al estimar los componentes de varianza del diseño experimental, se encontró que una estructura que cumple con la significancia de los efectos fijos al 5% es la observada en la tabla 1.

Tabla 1. Tabla de Análisis de varianza

Fuente de variación	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tipo de silla	1	0,0562	0,0562	6,325	0,01563
Minutos de permanencia	2	0,2311	0,1155	12,997	3,67E-05
Residuals	44	0,3912	0,0089		

En la tabla 1 puede verse que el tipo de silla y el tiempo de permanencia son significativos ( $vp=0.0156$ ,  $3.67e-05$ , con un n.s de 0.05); adicionalmente, en la tabla 2 puede verse que al estimar un modelo lineal, el efecto de dolor producido por la mesa tipo 'b' reduce el porcentaje de dolor, en comparación con la tipo 'a', así como a mayor tiempo sentados, mayor proporción de puntos con dolor, lo que se evidencia con el efecto 0.1696 del nivel 90 min.

Coefficients:

Estimate Std. Error t value Pr(> |t|)

(Intercept) 0.23065 0.0272 8.474 8.49e-11 \*\*\*

tipob -0.06845 0.0272 -2.515 0.01563 \*

factor(min)60 0.09375 0.0333 2.812 0.00732 \*\*

factor(min)90 0.16964 0.0333 5.089 7.18e-06 \*\*\*

Tabla 2. Tabla de efectos del modelo lineal

Validación de los supuestos

Gráfica de normalidad  
y homogeneidad de varianzas

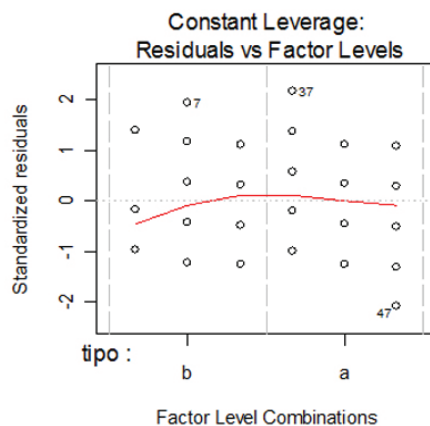
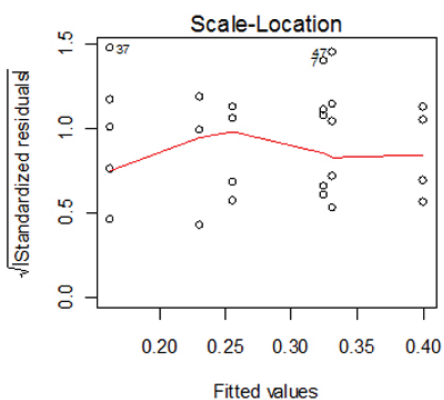
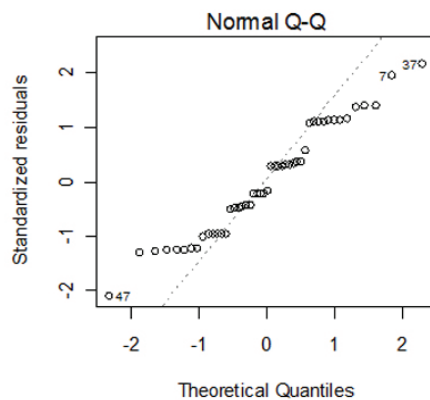
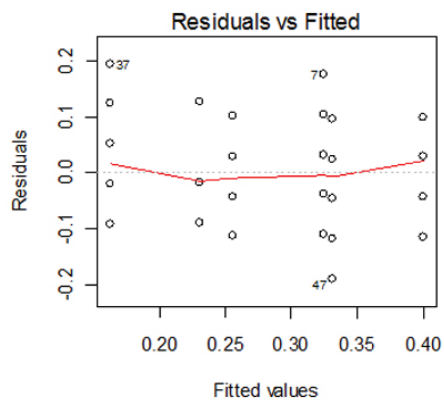


Figura 2 Gráficos de normalidad y homogeneidad de varianzas.



En figura 2 se ven problemas aparentes con la normalidad pero se ve una aparente homogeneidad de varianzas; para mayor seguridad se realizarán pruebas analíticas de validación de supuestos.

Tabla 3. Pruebas de validación de supuestos.

<b>Prueba de Normalidad:</b> Shapiro-Wilk normality test data: res W = 0.9571, p-value = 0.07683
<b>Prueba de varianza constante:</b> Bartlett test of homogeneity of variances data: res by min Bartlett's K-squared = 0.2403, df = 2, p-value = 0.8868
<b>Incorrelación: durbinWatsonTest</b> lag Autocorrelation D-W Statistic p-value 1 0.05640285 1.843569 0.35 Alternative hypothesis: rho != 0

Se puede observar en la tabla 3 que en la prueba de normalidad se obtuvo un valor p mayor al nivel de significancia utilizado (0.05), igualmente pasa esto para la prueba de homogeneidad de varianzas del factor minutos y el factor tipo, por lo cual se puede decir que el modelo cumple con los supuestos de normalidad de los errores y homogeneidad de varianzas.

Al obtener la prueba de Durbin Watson se observa que se obtuvo un valor p mayor a dos veces el nivel de significancia (0.1) por lo cual se puede concluir que se cumple con el supuesto de incorrelación de los errores.

Prueba de diferencia de medias (Prueba Tukey)

En la tabla 4 se muestran los resultados de la prueba de Tukey.

Tabla 4 – Prueba Tukey de diferencias de medias.

Tipo de silla				
Niveles comparados	diff	lwr	upr	p adj
a-b	0,06845238	0,01359784	0,1233069	0,0156327
Minutos de permanencia en la silla				
Niveles comparados	diff	lwr	upr	p adj
60-30	0,09375	0,01289591	0,1746041	0,0196464
90-30	0,16964286	0,08878877	0,2504969	0,0000211
90-60	0,07589286	-0,00496123	0,1567469	0,0697637

Al realizar la prueba de Tukey para la diferencia de medias en el factor tipo se observa que el intervalo conserva un efecto positivo por lo cual se puede decir que  $\mu_a > \mu_b$  con un nivel confianza del 95%. Esto indica que la mesa tipo ‘a’ (zona cafetería) genera mayor proporción de puntos con dolor que la tipo ‘b’ (Boulevard). Para los diferentes niveles del factor minutos se puede observar que los niveles 60 y 30, 90 y 30 conservan un signo positivo en su intervalo por lo cual se puede decir con un nivel confianza del 95% que  $\mu_{60} > \mu_{30}$  y  $\mu_{90} > \mu_{30}$ . Lo anterior indica que a mayor tiempo, el dolor corporal es mayor.

## Discusión

Se logró demostrar con una herramienta estadística, que los factores con mayor incidencia sobre el porcentaje de puntos corporales con dolor, son el tipo de silla (cafetería de ingenierías y zona de estudio boulevard) y el tiempo de permanencia. Las conclusiones del estudio indican que permanecer mucho tiempo sentados en este tipo de espacios produce más dolor corporal, por ello pueden proponerse actividades tales como: pausas de relajación corporal, o actividades que generen un cambio en la postura y lleven al bienestar físico. Así mismo, la influencia encontrada del tipo de silla indica la necesidad de un mejoramiento de las estructuras de estudio en la zona de la cafetería de ingenierías evaluada con el test ergonómico.

El test podría también ser analizado en diferentes lapsos de tiempo para la misma persona, lo cual lleva al uso de otra técnica estadística más avanzada llamada

modelos lineales longitudinales (Laird y Ware, 1982), o con medidas repetidas, esto llevaría al análisis del efecto tiempo sobre el dolor corporal, así como el análisis de estructuras de covarianza en efectos aleatorios (Banerjee y Frees, 2009), que permitirían evaluar incluso efectos en cada uno de los individuos.

## Referencias

1. Coleman y Montgomery. (1993). A Systematic Approach to Planning for a Designed Industrial Experiment. *Technometrics*, Feb. V. 35, No. 1.
2. Salazar, J.C. Baena, A. (2009). Análisis y Diseño de Experimentos aplicados a estudios de simulación. *Dyna*, Año 76, Nro. 159, pp. 249-257. Medellín, Septiembre. ISSN 0012-7353.
3. Smith, T.J. (2007). The ergonomics of learning: educational design and learning performance. *Ergonomics*. Vol. 50, No. 10, October, pp. 1530–1546
4. Solomon, J.M. (2001). Fulfilling the Bargain: How the Science of Ergonomics Can Inform the Laws of Workers' Compensation. *Columbia Law Review*, Vol. 101, No. 5 (Jun.), pp. 1140-1180.
5. Vergara M, Mondragón S (2005-2006). Ergonomía, Programa teórico y Cuaderno de Prácticas. [Acceso en Octubre de 2010. Disponible en: <http://www.emc.uji.es/asignatura/obtener.php?letra=5&codigo=13&fichero=1127203149513>.]
6. Laird N.M., Ware J., (1982). Random effects models for longitudinal data. *Biometrics*. Vol 38. pp. 963 - 974.
7. Banerjee M. y Frees E., (2009). Diagnostics for Linear Longitudinal Models. *Journal of the American Statistical Association*. Vol 92, No. 439. pp. 999-1005