



**Innovation in research and engineering education:
key factors for global competitiveness**

*Innovación en investigación y educación en ingeniería:
factores claves para la competitividad global*

APLICACIÓN DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS EN EL LABORATORIO DE MANUFACTURA FLEXIBLE COMO APOORTE A LA FORMACIÓN DEL INGENIERO INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

Diana Julieth Arenas Sepúlveda, Ana María Aguirre Henao, Mayra Alejandra García Arias, Esteban Zapata Casierra, María Elena Bernal Loaiza

**Universidad Tecnológica de Pereira
Pereira, Colombia**

Resumen

El diseño de experimentos juega un papel importante en el quehacer de la Ingeniería, es una técnica que ayuda a obtener conclusiones sobre la bondad de un diseño, así como la investigación, desarrollo y mejoramiento de procesos de manufactura. Por lo anterior, el grupo del Laboratorio de Manufactura Flexible de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de Pereira desarrolló una práctica innovadora haciendo uso de los diferentes estaciones de trabajo automatizados y software especializado, logrando mostrar la aplicación de conceptos estadísticos como el diseño de experimentos, así como conceptos de producción tales como Poka Yoke, Pull, Kaizen.

El proceso desarrollado en el Laboratorio está fundamentado en la metodología de aprendizaje experiencial basada en el modelo constructivista C3, en donde se muestra un sistema de Producción Pull que permite la interacción, análisis e interiorización de conceptos propios de la Ingeniería Industrial por parte de los estudiantes, específicamente en el área de producción a través del diseño de experimentos. Para su desarrollo, se implementó un diseño factorial con dos factores, donde se instalaron dispositivos Poka Yoke en lugares específicos del Laboratorio, siendo el porcentaje de calidad del producto la variable respuesta y los factores analizados el tipo de materia prima y los dispositivos. Para el análisis del primer factor se contó con dos elecciones posibles de polímeros: acetal y nylon, mientras que con el dispositivo Poka Yoke se utilizó un sensor de colores y una alarma, con el fin de determinar cuál de estos factores tuvo mayor influencia sobre la calidad del producto y a su vez, encontrar la mejor combinación posible orientada a la obtención del porcentaje de calidad deseado.

Con esta experiencia los estudiantes retroalimentan su aprendizaje, con el fin de corregir errores, perfeccionar acciones y fortalecer competencias para generar propuestas que den posibles soluciones a las problemáticas de su entorno.

Palabras claves: diseño de experimentos; celda de manufactura flexible; modelo constructivista

Abstract

The design of experiments plays an important role in the work of engineering, it is a technique that helps to draw conclusions about the goodness of a design as well as research, development and the improvement of the manufacturing process. Therefore, the Flexible Manufacturing Laboratory of the belongs to Faculty of Industrial Engineering at the Technological University of Pereira developed an innovative practice by using several automated work stations and specialized software, leading to show the application of statistical concepts such as design of experiments, as well as and production concepts such as Poka Yoke, Pull, Kaizen.

The process developed at the Laboratory is grounded on experiential learning methodology based on the constructivist model C3, where a pull production system allows the interaction, analysis and internalization of concepts of Industrial Engineering by the students, specifically in the production area through design of experiments. For its development, we implemented a factorial design with two factors, where Poka Yoke devices were installed in specific locations of the Laboratory, where the percentage of product quality were equivalent to the response variable and the factors discussed were the type of raw material and devices. For the first factor analysis included two possible choices of polymers: acetal and nylon, while for the Poka Yoke device a color sensor and an alarm were used, in order to determine which of these factors had the greatest influence on the product quality and in turn, find the best possible combination aimed at obtaining desired quality percentage.

With this experience, the students feed back their own learning, in order to correct errors, improve skills and strengthen actions to generate proposals that provide solutions to the problems of their environment.

Keywords: *design of experiments; flexible manufacturing cell; model constructivist*

1. Introducción

El presente trabajo muestra la importancia de la aplicación del diseño de experimentos en el laboratorio de Manufactura Flexible de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de Pereira, como aporte al fortalecimiento de la formación integral de los estudiantes de Ingeniería Industrial.

Partiendo de lo anterior, se adecúa y se toma como referencia la metodología constructivista C3, siendo esta empleada en el desarrollo de la actividad; allí se expone un sistema de Producción Pull y la aplicación del diseño de experimentos para evaluar la calidad del producto, el cual es el tema principal de estudio.

El propósito de esta actividad permite la interiorización, análisis y contextualización de los conceptos vistos en las aulas de clase a través de este tipo de simulaciones, logrando que los estudiantes fortalezcan competencias y habilidades necesarias para la toma de decisiones en el mundo laboral.

2. Marco teórico

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 objetivo del diseño de experimentos es estudiar si cuando se utiliza un determinado tratamiento se produce una mejora en el proceso o no. Para ello se debe experimentar aplicando el tratamiento y no aplicándolo. Si la variabilidad experimental es grande, sólo se detectará la influencia del uso del tratamiento cuando éste produzca grandes cambios en relación con el error de observación.

La metodología del diseño de experimentos estudia cómo variar las condiciones habituales de realización de un proceso empírico para aumentar la probabilidad de detectar cambios significativos en la respuesta; de esta forma se obtiene un mayor conocimiento del comportamiento del proceso de interés. (Introducción al Diseño de Experimentos)

Según Díaz (2009), por diseño de experimentos se entenderá el proceso de planear todos los pasos que deben darse, y el orden que debe seguirse, en la recolección y posterior análisis de la información requerida para estudiar un problema de investigación. En un sentido más restringido, algunos autores consideran el diseño de experimentos como aquel conjunto de reglas que permiten asignar tratamientos a unidades experimentales, buscando eliminar sesgos y cuantificar el error experimental. Además este autor presenta las siguientes fases del diseño de experimentos:

- Reconocimiento y formulación del problema
- Selección de los factores y sus niveles
- Selección de la variable respuesta
- Selección del diseño experimental
- Realización del experimento
- Análisis de los datos
- Conclusiones y recomendaciones.

3. Metodología

Para el desarrollo de la práctica se empleó la metodología constructivista C3, en la cual se identifican en contexto las etapas de concientización, conceptualización y contextualización, las cuales se definen a continuación:

3.1 Concientización: En esta etapa se facilita la comprensión del marco teórico (sistema de producción Pull, Lean Manufacturing y diseño de experimentos) a través de la práctica, la cual permite a los estudiantes experimentar y reflexionar sobre los conceptos. A partir de ese aprendizaje y de esa reflexión, éstos establecen una relación entre la práctica y los conocimientos previos, lo cual genera fácil recordación del tema tratado.

3.2 Conceptualización: En la segunda etapa se fortalece el marco teórico, lo cual conlleva a interpretar y deducir de manera autónoma los conceptos, para generar conclusiones y críticas constructivas, permitiendo la visualización e interiorización de los mismos.

3.3 Contextualización: Esta etapa consiste en integrar los conceptos previos, vivenciados y comprendidos en la práctica, con el objetivo de interiorizar los conocimientos construidos durante su desarrollo. A través de un espacio de autoevaluación y retroalimentación se relaciona el marco teórico vivenciado con la aplicación del mismo en la vida real.

De acuerdo a las etapas descritas anteriormente los estudiantes fortalecen las competencias presentadas en la tabla 1; cada competencia se subdivide en tres niveles (Estrada, 2004):

- Básico: Se refiere a la exploración de los conocimientos previos que han adquirido los estudiantes en las aulas de clase.
- Intermedio: Consiste en el análisis de las opiniones de los demás de forma que permita validar, interpretar y construir los conceptos propios de la actividad.
- Avanzado: Corresponde a la relación existente entre los conceptos previos y los conocimientos adquiridos durante la actividad, generando una posición propia que permita la creación de nuevas propuestas, como también la extrapolación de los conceptos a su entorno.

COMPETENCIAS	NIVELES		
	BÁSICO	INTERMEDIO	AVANZADO
COMUNICACIÓN	Expresa su opinión resumiendo la práctica y comparte su aprendizaje, demostrando interés por las opiniones de sus compañeros.	Expresa su opinión sobre la aplicación de los conceptos previos, además de escuchar los puntos de vista de los demás estudiantes, realizando preguntas constructivas.	Transmite sus ideas, información y opiniones de forma clara y convincente, comparando y relacionando conceptos adquiridos frente a conocimientos previos.
ANÁLISIS	Extrae conclusiones sobre los aspectos más importantes vistos en la práctica.	Analiza, identifica y compara los conceptos vistos en la práctica.	Realiza análisis lógicos, reconoce información significativa y propone casos para la aplicación de la práctica en la vida cotidiana.
CREATIVIDAD E INNOVACIÓN	Sugiere soluciones estándar ante los problemas formulados.	Propone alternativas de solución ante problemas formulados basándose en experiencias similares o en el conocimiento de otros.	Aporta nuevas ideas que permiten desarrollar mejoras innovadoras en la práctica.
TRABAJO EN EQUIPO	Trabaja para lograr sus objetivos personales y no los del equipo.	Se integra entre los diversos estilos y habilidades que hay en un equipo para optimizar el desempeño del grupo.	Participa y coopera con los demás estudiantes, compartiendo sus conocimientos con el fin de alcanzar la meta grupal.
PENSAMIENTO ANALÍTICO	Entiende el problema planteado, desagregándolo en pequeñas partes con el fin de encontrar la solución.	Divide el problema planteado en pequeñas partes, identificando sus implicaciones paso a paso con el fin de encontrar una solución óptima.	Organizar sistemáticamente las partes del problema planteado además, realiza comparaciones entre los diferentes elementos o aspectos y establecer prioridades.
TOMA DE DECISIONES	Demuestra incapacidad para tomar decisiones de forma rápida y eficaz al tener que asumir ciertos riesgos.	Capacidad para decidir de forma ágil y proactiva, seleccionando la mejor opción con base a la información suministrada.	Toma las decisiones necesarias para el logro de los objetivos de forma ágil y proactiva, apoyándose en información relevante que conlleve a la elección de la mejor alternativa teniendo en cuenta los riesgos.

Tabla 1. Matriz de Competencias
Fuente: Los Autores

4. Desarrollo de la práctica

En la práctica se fabrica un producto el cual está compuesto por una ficha de lego verde y un polímero cilíndrico al cual en uno de sus extremos se le ha realizado un fresado en forma de cubo en el que encaja la ficha de lego. A continuación, se describe el procedimiento:

Primera etapa, concientización: Presentación de la celda de manufactura flexible, explicación de cada una de las estaciones que la componen y del funcionamiento de los dos dispositivos Poka Yoke instalados en la misma, el primer dispositivo fue instalado en la estación de inspección de la calidad, es una plantilla que tiene la forma de la materia prima a utilizar, con el objetivo de que la materia prima que pase por esta tenga las dimensiones requeridas, en caso contrario se activa un alarma que indicara el error. La materia prima continua el proceso a través de la banda transportadora y llega a la fresadora donde se le realiza el maquinado, el brazo robot ensambla la ficha de lego en el producto, esta debe ser verde, para verificar este requerimiento, en la estación de sub ensamble se instaló el otro dispositivo Poka Yoke, el cual es un sensor de colores que se utiliza para identificar si el producto es conforme al reconocer que la ficha es de color verde, si no reconoce el color es porque no tiene ficha o la ficha es de otro color y este producto es no conforme y se activa una alarma que indicara el error. Después de la explicación del proceso de la práctica se ubica a los estudiantes y se hace una corrida de ensayo para aclarar las dudas al respecto, se procede a la realización de la práctica con la participación activa de los estudiantes y profesores presentes.

Segunda etapa, conceptualización: Después de realizar la práctica se explican los conceptos que se enseñan a través de ésta, como lo son Poka Yoke, Pull, Kaizen y los elementos básicos del diseño de experimentos; verificando que los estudiantes y profesores asistentes a la práctica hayan comprendido la totalidad de los conceptos y su aplicación. Posteriormente cada uno de los asistentes se encuentra en la capacidad de generar conclusiones y así construir sus propios conceptos basándose en la experiencia vivida en el desarrollo de la práctica.

Tercera etapa, contextualización: Después de la explicación del marco teórico se procede a realizar de nuevo la práctica con el objetivo de interiorizar los conceptos aprendidos ya que están en capacidad de identificarlos en el transcurso del ejercicio, esto facilita la retroalimentación del proceso. Por último se realizan preguntas que conduzcan a los estudiantes a identificar lo aprendido en la práctica, en situaciones de la vida real.

4.1 Diseño de experimentos

Para determinar el efecto que tienen el tipo de material y el uso de dispositivos Poka Yoke en el porcentaje de calidad del producto, se realiza un diseño factorial (Montgomery, 2004), para esto se estudian cuatro productos con cada combinación de material y dispositivo, estas 16 pruebas se realizan de manera aleatoria, las cuales se muestran en la tabla 2.

La variable respuesta se mide en porcentaje de calidad, este porcentaje se maneja a partir de los siguientes criterios de calidad:

- 100% CALIDAD: Producto terminado no presenta residuos del fresado, la ficha de lego encaja perfectamente, la ficha de lego es de color verde.
- 80% CALIDAD: Producto terminado no presenta residuos del fresado, la ficha de lego encaja perfectamente, la ficha de lego no es verde.
- 60% CALIDAD: Producto terminado presenta residuos del fresado, la ficha de lego encaja perfectamente, la ficha de lego es de color verde.
- 40% CALIDAD: Producto terminado presenta residuos del fresado, la ficha de lego encaja perfectamente, la ficha de lego no es verde.
- 20% CALIDAD: la ficha de lego no encaja.

Calidad del producto		
Tipo de material	Dispositivo Poka Yoke	
	Sensor de colores	Plantilla
Acetal	100%	80%
	100%	100%
	100%	80%
	100%	80%
Nylon	80%	40%
	100%	40%
	80%	60%
	80%	40%

Tabla 2. Datos del porcentaje de calidad del producto
Fuente: Los Autores

5. Análisis de resultados

5.1 Análisis de resultados del diseño de experimentos

El objetivo del experimento es determinar si los factores tipo de material y dispositivo Poka Yoke influyen en la calidad del producto, para esto se plantea la siguiente hipótesis nula: El factor que se está analizando no influye en la variable respuesta.

La tabla 3 muestra como el resultado del análisis de la varianza (ANOVA) indica que la probabilidad de aceptar la hipótesis nula para el factor tipo de material es 0,0000365 (inferior a 0.05), por lo tanto existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto el factor tipo de material si influye en el porcentaje de calidad del producto. La probabilidad de aceptar la hipótesis nula para el factor dispositivo Poka Yoke es 0,0000365 (inferior a 0.05), de igual manera podemos afirmar que el factor dispositivo Poka Yoke también influye en la variable porcentaje de calidad del producto.

El valor de la F del factor tipo de material es 40,33 y el valor crítico es de 4,747, para valores altos de la F se rechaza la hipótesis nula, entonces como el valor de la F es mayor al valor crítico se rechaza la hipótesis y se confirma que este factor influye en la variable respuesta. El valor de la F del dispositivo Poka Yoke es de 40,33 y su valor crítico es 4,747, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, con lo anterior se confirma que este factor también es significativo.

El valor de la F de la interacción es 8,33 y el valor crítico es 4,747, lo que nos indica que hay una interacción significativa entre los factores que influye en el porcentaje de calidad del producto. Lo anterior se confirma al analizar al probabilidad que es de 0,013 (inferior a 0.05), con lo que se puede afirmar que hay evidencia de la interacción entre el tipo de material y los dispositivos Poka Yoke.

RESUMEN	Sensor de colores	Plantilla	Total			
<i>Acetal</i>						
Cuenta	4	4	8			
Suma	4	3.4	7.4			
Promedio	1	0.85	0.925			
Varianza	0	0.01	0.010714286			
<i>Nylon</i>						
Cuenta	4	4	8			
Suma	3.4	1.8	5.2			
Promedio	0.85	0.45	0.65			
Varianza	0.01	0.01	0.054285714			
<i>Total</i>						
Cuenta	8	8	8			
Suma	7.4	5.2				
Promedio	0.925	0.65				
Varianza	0.010714286	0.054285714				
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	0.3025	1	0.3025	40.3333333	3.65969E-05	4.747225336
Columnas	0.3025	1	0.3025	40.3333333	3.65969E-05	4.747225336
Interacción	0.0625	1	0.0625	8.33333333	0.013658283	4.747225336
Dentro del grupo	0.09	12	0.0075			
Total	0.7575	15				

Tabla 3. Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo
Fuente: Los Autores

5.2 Análisis de resultados de la metodología

Al terminar la realización de la práctica a cada estudiante se le entregó la matriz de competencias, con la cual se valora el proceso mediante una autoevaluación de acuerdo al nivel alcanzado durante el desarrollo de la misma. La muestra seleccionada para la investigación la constituyeron 15 estudiantes de la Facultad de Ingeniería Industrial, puesto que esta es la capacidad del laboratorio. A continuación se muestran los resultados obtenidos:



Gráfico 1. Evaluación Nivel de Competencias
Fuente: Los Autores

Competencias	Básico	Intermedio	Avanzado
Comunicación	24%	43.60%	32.40%
Análisis	23.6%	29.4%	47%
Creatividad e innovación	13.4%	48.4%	38.2%
Trabajo en equipo	16.7%	46.8%	36.5%
Pensamiento analítico	25.1%	36.4%	38.5%
Toma de decisiones	17.2%	35.5%	47.3%

Tabla 4. Proporción del nivel de Competencias
Fuente: Los Autores

La tabla 4 y el gráfico 1, muestran los resultados de la evaluación de niveles de competencias para la práctica de las personas que participaron en la actividad, se puede observar que en el nivel Intermedio se destacan en mayor proporción las siguientes competencias: Creatividad e innovación (48.4%), Trabajo en equipo (46.8%) y Comunicación (43.6%), igualmente, en el nivel Avanzado las competencias: Toma de decisiones (46.7%), Análisis (47%) y Pensamiento analítico (38.5%), es de anotar que en el nivel básico no se encuentran competencia De esta manera podemos concluir que la mayoría de los estudiantes se autoevalúan en Nivel avanzado y Nivel intermedio.

6. Conclusiones

La aplicación de la metodología constructivista c3 por parte del grupo del Laboratorio de Manufactura Flexible de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de Pereira, facilitó el desarrollo de la práctica de tal forma que los estudiantes disfrutaron el aprendizaje interactuando directamente con los conceptos para así lograr la comprensión del marco teórico, además de permitir el fortalecimiento del proceso de formación de los estudiantes de Ingeniería Industrial, brindándoles la oportunidad de retroalimentar su aprendizaje, interiorizar los conceptos y adquirir una mayor comprensión de los mismos. De igual forma los estudiantes lograron comprender el problema planteado como un sistema, identificando las variables externas que pueden afectarlo, teniendo como resultado la combinación óptima entre materiales y dispositivos Poka Yoke, así como el porcentaje de calidad ideal del producto.

Al aplicar la evaluación del nivel de las competencias se encontró que los estudiantes se autoevalúan en mayor proporción en el nivel avanzado, lo cual significa que toman las decisiones necesarias de forma ágil y proactiva, realizan análisis lógicos y proponen casos para la aplicación de la práctica en el entorno real, así mismo organizan sistemáticamente las partes del problema planteado estableciendo prioridades. Por su parte, en el nivel intermedio se sitúan las competencias que ponen a prueba el trabajo en equipo, comunicación y su capacidad de innovación y creación.

7. Referencias

- Brenzon, G. (1996). Constructivismo Criollo: Una metodología facilitadora de la educación holística. Fundación Neo-Humanista. Colombia. Consultado el 30 de abril de 2013 en <http://www.amauta-international.com/CONSTRUCTIVISMO%20CRIOLLO.pdf>
- Díaz Cadavid. A. (2009). Diseño estadístico de experimentos, Medellín, pp. 8-11.
- Estrada, S. et al. (2004). Transversalidad curricular orientada a creación de empresas. Revista Scientia et Technica, Año X, No. 26, Colombia.

- Introducción al diseño de experimentos. Consultado el 1 de julio de 2013 en <http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/Disenno/IntroDE.pdf>
- Montgomery, D. (2004). Diseño y análisis de experimentos, México, pp.175-176.

Sobre los autores

- **María Elena Bernal Loaiza:** Ingeniera de Sistemas, Magister en Investigación de Operaciones y Estadística. Docente Asistente. Facultad de Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de Pereira. mbernal@utp.edu.co
- **Diana Julieth Arenas Sepúlveda:** Estudiante de X semestre Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de Pereira. dianitta_316@hotmail.com
- **Ana María Aguirre Henao:** Estudiante de VII semestre Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de Pereira. anita05agui@hotmail.com
- **Mayra Alejandra García Arias:** Estudiante de V semestre Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de Pereira. maga-444@hotmail.com
- **Esteban Zapata Casierra:** Estudiante de VI semestre Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de Pereira. casierra1730@hotmail.com

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería y de la International Federation of Engineering Education Societies

Copyright © 2013 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI), International Federation of Engineering Education Societies (IFEES)