



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

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

FORMACIÓN DEL INGENIERO EN LAS CLASES O EN LA FÁBRICA ¿POR QUÉ NO EN AMBAS?

Erika Echeverry Londoño, Yessica Viviana Benavides Ayala, Juan Felipe Cuellar Quintero, Carlos Mauricio Zuluaga Ramírez

**Universidad Tecnológica de Pereira
Pereira, Colombia**

Resumen

GEIO, Grupo en la Enseñanza de la Investigación de Operaciones de la Universidad Tecnológica de Pereira. Es un equipo investigativo con más de doce años de experiencia en la búsqueda de nuevas metodologías de enseñanza basadas en la lúdica y el constructivismo. Actualmente posee diez líneas de Investigación dentro de las cuales agrupa actividades prácticas para que los estudiantes puedan VER los conceptos abordados en los salones de clase.

Dentro de las más de sesenta lúdicas trabajadas por GEIO, el laboratorio de producción X-Z (L.P) es la más investigada y desarrollada. Representa una fábrica en la cual se elaboran dos tipos de productos (X y Z) bajo un sistema Flow Shop. Cada uno de ellos está conformado por fichas de lego que se ensamblan a lo largo de cinco estaciones de trabajo.

Esta actividad ha sido utilizada durante algunos semestres en distintas asignaturas de Ingeniería Industrial para ayudar a los estudiantes a comprender de manera clara los temas vistos en clase.

En Estadística III, el laboratorio ha sido usado para explicar y desarrollar ejercicios relacionados con los temas de Muestreo Aleatorio Simple y Sistemático, aplicados a procesos productivos.

En Procesos Estocásticos se han elaborado prácticas para aplicar las cadenas de Markov y así identificar la probabilidad de elaborar alguno de los dos productos, los tiempos de recurrencia y los tiempos de primer paso.

En Ingeniería de Métodos es donde se ha profundizado mucho más en el análisis y comprensión de temas, debido a que esta lúdica es una línea de ensamble en donde se VEN Y SE ESTUDIAN Tiempos productivos, manejo de materiales, desperdicios, diagramas de procesos, entre otros.

Finalmente cabe destacar que esta práctica también sirve de escenario estratégico y de laboratorio para la formación integral del ingeniero, puesto que posibilita ver y analizar cómo se integran diversos elementos teóricos vistos en diferentes materias del pensum, los cuales bajo una visión reduccionista parecen desarticulados entre sí, pero con la ayuda de los juegos desarrollados por GEIO se unen de forma sistémica para darle solución a uno o varios problemas que se pueden presentar en una planta de producción real.

Palabras clave: ingeniería métodos; investigación operaciones; lúdica

Abstract

GEIO, Group on the Teaching of Operations Research of the Universidad Tecnológica de Pereira, is a research team with over twelve years of experience in the search of new teaching methodologies based on the playful and constructivist. The Group currently has ten lines of research with practical activities to enable students to SEE the concepts covered in the classroom.

The X-Z production laboratory (L.P) is the most researched and developed hands on activity among the group. Represents a factory in which people build two products (X and Z) under a Flow Shop System. Each of them consists in lego chips that are assembled over five workstations.

This activity has been used for several semesters in various Industrial Engineering courses to help students clearly understand the topics covered in class.

In Statistics III, the laboratory has been used to explain and develop exercises related to the topics of Simple and Systematic Random Sampling applied to production processes.

In Stochastic Processes has been developed to implement practices of Markov Chains, identify the probability of developing any of the two products, and understand recurrence times and times of first step.

Methods In Engineering is where much has deepened the analysis and understanding of issues, because this activity represent an assembly line where people can SEE and STUDY productive times, material handling, waste, process diagrams, among others.

Finally it should be noted that this practice also serves as a laboratory for the formation of the engineer. It allows to viewing and analyzing how students integrate various theoretical elements seen in different areas of the curriculum, which under a reductionist approach seem disjointed from each other, but with the help of the games developed by GEIO can be seem like a systemic process for solving one or more problems that can occur in real production plant.

Keywords: engineering methods; hands on activities; operations research

1. Introducción

Dentro de los contenidos programáticos de la carrera de Ingeniería Industrial (Facultad de Ingeniería Industrial, 2013), existen tres asignaturas que son fundamentales en la formación de los estudiantes, ya que proporcionan conocimientos y herramientas que se utilizan en la industria para resolver problemas,

mejorando la productividad y la eficiencia, estas son Procesos Estocásticos, Estadística III e Ingeniería de Métodos, nombres con los que aparecen en el pensum académico.

Procesos estocásticos abarca 64 horas de estudio en el semestre académico. En esta materia, se contemplan clases magistrales y asesorías del profesor. Al problema que se le da respuesta en esta asignatura es “¿Cómo aplicar las técnicas usadas para el estudio de las cadenas de Markov y las líneas de espera,...?”.

Por su parte Estadística III, asignatura impartida en sexto semestre, cuenta con 48 horas en el periodo académico. El problema específico que se le da solución en la asignatura es “¿Cómo aplicar correctamente los principios básicos de la teoría del muestreo que permitan garantizar la validez externa de cualquier investigación, tomando información mediante muestras de unidades objeto de estudio?”.

Finalmente, la tercera materia es Ingeniería de Métodos, dictada a los estudiantes en séptimo semestre y donde se busca “Realizar estudios técnicos (sistemas de control de calidad, métodos y tiempos, diseño de plantas, sistemas de manufactura flexible y logística) orientados al incremento de la productividad, de acuerdo con las estrategias de la organización.” En esta asignatura, además de las horas teóricas y horas prácticas, se desarrollan 17 laboratorios, en los cuales se pretende resolver problemas de métodos y tiempos ajustados a la realidad.

Por otra parte, en la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de Pereira, se maneja el siguiente concepto de ingeniero: “Es una persona con una formación integral, pensamiento sistémico; capaz de desempeñarse social y profesionalmente, utilizando la técnica, la tecnología y la investigación, en la integración y optimización de los recursos...”. (Facultad de Ingeniería Industrial, 2013).

Con la intención de contribuir en la formación del estudiante, el trabajo propuesto desde el laboratorio de producción X-Z, se basa en dos conceptos que aparecen en la definición anterior, pensamiento sistémico e integración, ya que se lleva una planta de producción al salón de clases, donde el educando aplica de forma articulada, los conceptos aprendidos en las tres asignaturas descritas anteriormente.

2. El laboratorio de Producción X-Z (GEIO, 2009)

El laboratorio de producción surge como un desarrollo paulatino proveniente de un artículo escrito por Heineke & Meile (1995) en su libro “Games and Exercises for Operations Management”, donde se explicaba a grosso modo el funcionamiento de una línea de producción. Inicialmente la lúdica representaba un proceso productivo básico donde sólo se mostraba una línea de ensamble con 5 estaciones de trabajo dibujadas en cartulina.

Gracias al proceso creativo de investigación y desarrollo generado dentro del equipo GEIO, se introdujeron gradualmente diferentes materiales, conceptos y mejoras a la lúdica, logrando recrear a mayor escala las características esenciales de un proceso de producción con la ayuda de cinco estaciones de trabajo, agregando otras áreas como materias primas y gerencia general.

Teniendo en cuenta lo anterior, se pudo representar una fábrica en el salón de clases, partiendo de un experimento básico, hasta llegar a uno más avanzados que involucra temas de Lean Manufacturing y Automatización a través de la simulación de ensamble con fichas de lego.

El actual laboratorio de producción es una herramienta útil de aprendizaje en temas como micromovimientos, (Methods time measurement MTM y Work factor WF), flexibilidad de diseño, de operación y de ruta, simulación, Kanban, teoría de colas, setup, arranque con línea vacía o cargada, manufactura lean, (Poka Yoke), órdenes urgentes (expeditadores de Goldratt), análisis de costos, redes de Petri, cadena de suministro con Enterprise resource planning ERP, empresa desensambladora, equipos de trabajo, (relaciones, liderazgo, estereotipo), algoritmo para determinar el Quoted lead time QLT, (Program evaluation and review technique PERT, Critical path method CPM), planeación estratégica, ingeniería de la creatividad, ingeniería del conocimiento.

Los materiales que se utilizan para el desarrollo de esta actividad lúdica son fichas de Lego, en sus tamaños de 8 y 4 pines, de colores amarillo, rojo, azul y verde, plantillas de producción rojas para el producto X y azules para el producto Z, contenedores genéricos, (contenedores blancos de plástico), contenedores especializados, (contenedores en madera cinco divisiones en su interior), de colores rojo para el producto X y azules para el producto Z, modelos de producto X y Z, dos líneas manuales de producción, un mazo de cartas, un formato de función de distribución de probabilidad, fdp. Y una tabla de distribución de las materias primas.

Los roles asumidos dentro del juego permiten que los participantes asuman cargos de operarios, jefes de materia prima, gerentes de producción, gerentes generales, patinadores y proveedores o desensambladores del producto terminado.

Este proceso de manufactura se encuentra dividido en dos áreas generales como lo son:

Producción, con un gerente responsable de registrar la información en un tablero de producción y dirigir el trabajo de manufactura a través de 5 estaciones de trabajo, operadas por cinco personas encargadas del ensamble de dos tipos de productos (X y Z) elaborados a partir de fichas de lego (ver figura 1).

Figura 1. Productos X y Z elaborados en el Laboratorio de Producción



Fuente. Los Autores.

Materia prima, dirigida por un gerente, que tiene como responsabilidad suministrar el material necesario para la producción, determinado por la demanda del cliente. Dicha demanda se genera de manera aleatoria a través de una función de distribución de probabilidad (FDP) construida a partir de un mazo de cartas, que indica según el color de la carta el tipo de producto y la cantidad a fabricar.

El proceso productivo da inicio con la generación de 10 órdenes de trabajo (una cada minuto) por parte del gerente de producción, quien registra en un tablero la fecha de generación del pedido (W.O), fija la fecha de entrega (Q.L.T), el tipo de producto (X o Z) y la cantidad a producir. El gerente de producción comunica que producto y cantidad se debe fabricar según la orden al encargado del manejo de materiales y socializa la información con el resto de la planta.

Una vez el gerente de materiales tiene la información de la orden a producir, prepara y entrega la materia prima a las estaciones de trabajo con ayuda de un patinador, además anuncia al gerente de producción el tiempo de entrega del material para ser registrado en el tablero. Las órdenes pueden ser producidas en lotes de 5, 10, 15 o 20 unidades.

Terminada las operaciones en cada centro de trabajo, el operario de la estación cinco es el encargado de anunciar la salida de la orden, en este momento se hace el registro en el tablero del tiempo de salida (L.T). Finalmente al terminar el ensamble de los 10 pedidos se procede al cálculo de la tasa de producción.

Figura 2. Laboratorio de producción X-Z con dos líneas manuales



Fuente: Los Autores

Aunque el laboratorio de producción X-Z representa un micromundo donde los estudiantes pueden aplicar diversos conceptos vistos a lo largo de la carrera como son diseño de procesos, métodos y tiempos, curvas de aprendizaje, algoritmos de asignación, balanceo de línea, flexibilidad, costos, Just in time JIT entre otros; en este trabajo se muestra el uso de esta herramienta lúdica para desarrollar una serie de ejercicios particulares encaminados a apoyar la enseñanza de temas como procesos estocásticos, muestreo estadístico e ingeniería de Métodos.

2.1 El Laboratorio de producción X-Z aplicado en la clase de Procesos Estocásticos

Desde la asignatura de procesos estocásticos, se vio la necesidad de desarrollar un taller encaminado a llevar paso a paso al estudiante a construir desde los datos obtenidos en el tablero de producción del L.P; la matriz de transición, el diagrama de transiciones¹, el vector de probabilidades iniciales², el vector de estado estable³, los tiempos de recurrencia y los tiempos de primer paso relacionados con la elaboración de los productos X y Z.

La lúdica del L.P fue desarrollada en el laboratorio GEIO (ver figura 1), allí los participantes asumieron roles de operarios, gerentes de producción, patinadores y analistas. A medida que se desarrollaba la actividad, se fueron consignando los datos de la producción en el tablero de producción, estos representaron el insumo para construir la matriz de transiciones.

Al finalizar la actividad, los estudiantes desarrollaron un taller y determinaron a partir del tablero de producción, las columnas que se necesitaban para identificar las probabilidades de elaborar productos X y

¹ Representación gráfica de la matriz de transiciones. (Kai Lai Chung, 1983).

² Vector formado por las probabilidades del estado inicial del sistema. (Ibid, p. 306)

³ Se dice que un vector está en estado estable cuando sus probabilidades no varían con el tiempo. (Ibid, p. 321)

productos Z. Posterior a ello definieron los estados del proceso, la matriz de transiciones y el diagrama de transiciones relacionados con la elaboración de los productos.

Los resultados anteriores indicaron que en el L.P: La probabilidad de estar produciendo X y continuar elaborando el mismo producto es de 64%, la probabilidad de estar produciendo X y pasar a producir Z es de 36%, la probabilidad de estar produciendo Z y pasar a elaborar X es de 71%, la probabilidad de estar produciendo Z y continuar elaborando el mismo producto es de 29%.

También se halló el vector de probabilidades iniciales $V_0 = (12/19, 7/19) = (0.63, 0.37)$

Este indicó que inicialmente el 63% de las órdenes de trabajo eran para fabricar productos X y el 37% para elaborar Z.

Además se encontró que las probabilidades de estado estable para la elaboración del producto X y Z eran $V_\infty = (\pi_1, \pi_2) = (0.66, 0.34)$. Lo anterior sugirió que una vez estabilizado el sistema, el 66% de las órdenes de trabajo generadas indicaban que se debía producir X y el 34% mostraban que se debía producir Z.

2.2 Muestreo Aleatorio simple y Sistemático en el laboratorio de producción X-Z

Esta actividad tuvo como objetivo, mostrar a los participantes la aplicación práctica de dos tipos de muestreo (Aleatorio simple⁴ y sistemático⁵), en el proceso de producción explicado anteriormente, permitiendo comprender el aporte de la temática en la solución de problemas de manufactura y en su formación como ingeniero industrial. El desarrollo de la actividad se llevó a cabo en tres fases que se muestran a continuación.

Fase I

En la fase inicial, se calculó el tamaño de muestra para determinar cuántos lotes debían ser muestreados, es decir, el número de lotes a los que posteriormente se les debía registrar los tiempos de producción (para el caso práctico se obtuvo un $n= 19$ ordenes, teniendo en cuenta un límite de error de estimación de 5 productos); lo que permitiría determinar los valores del tiempo de ciclo, lead time y lead time factory. De igual modo, fue necesario hallar el tamaño de muestra, basados en un histórico de demandas (para el caso práctico se obtuvo un $n=187$ teniendo en cuenta un límite de error de estimación de 2 productos); para encontrar el take time. Todo esto bajo el método de Muestreo Aleatorio Simple.

Adicional a lo anterior, se calculó el tamaño de muestra y el intervalo de observación para determinar el promedio de defectuosos fabricados con ayuda del muestreo sistemático. (Para el caso práctico se obtuvo un $n=19$ y un $K=2$ teniendo en cuenta un límite de error de estimación de 3 productos).

Fase II

Una vez determinados los tamaños de las muestras y realizado las observaciones en el proceso productivo, los estudiantes interpretaron los estadísticos encontrados que en este caso práctico serían los valores promedios para take time (4.17 segundos/producto), tiempo de ciclo (Estación 3: 8,39 segundos /producto, Estación 2: 5,88 segundos/productos) , lead time (11,37 minutos) y lead time Factory (1.23 minutos) , así como los porcentajes de defectuosos de los productos X (16.67%) y 0,9% de Z, con sus respectivas varianzas, desviaciones estándar e intervalos de confianza.

⁴ Se caracteriza porque la selección se realiza de un listado de la población asignándole igual probabilidad a cada elemento (Vivanco, 2005)

⁵ El propósito es facilitar la selección de elementos cuando la población es un listado de muchos casos y la selección se realiza mediante tabla de números aleatorios. (Ibid, p. 27)

Fase III

Finalmente los estudiantes elaboraron un informe escrito donde relacionaron toda la información estadística encontrada, logrando proponer soluciones a los problemas que se presentaban inicialmente en la planta.

2.3 El Laboratorio de producción X-Z en la clase de Ingeniería de Métodos

Como resultado de los talleres realizados por los estudiantes aplicando sus conocimientos en el L.P se detectaron los siguientes problemas:

- Todas las estaciones presentaban dificultades ya que no estaban balanceadas, sin embargo la estación tres y cuatro se destacaban como cuellos de botella por la cantidad de inventario que se represaba.
- Se generaba gran cantidad de tiempos ociosos debido a los períodos excesivos de alistamiento de materias primas.
- Los operarios debían realizar reproceso a la materia prima ya que esta se entregaba en bloques de cinco fichas de lego y para ensamblar los productos se requerían fichas en forma unitaria.
- Se observaron mudas⁶ de inventarios de producto en proceso, producto terminado, sobreproducción, esperas, conteo de partes, reprocesos, transportes innecesarios.

La identificación de estos problemas permitió generar propuestas de mejoramiento entre las que se encontraban:

- Capacitar a los operarios en la realización de los productos y definir nuevos métodos de trabajo.
- Mejorar la comunicación entre las áreas funcionales de la planta.
- Describir el proceso mediante esquemas simples o diagramas de circulación para ayudar a los operarios a visualizar la secuencia de las operaciones.
- Realizar un rediseño de puesto en el almacén de materias primas.
- Elaborar estibas que permitieran transportar la materia prima de forma unitaria.

Debido a las sugerencias anteriores y aplicando todos los conceptos vistos en clase, los estudiantes realizaron un estudio de métodos y tiempos al laboratorio de producción X-Z, de allí surgió un nuevo método para elaborar los dos tipos de productos, llamado a “Granel” (ver figura 3), en donde se rediseño el almacén de materias primas y se crearon estibas para transportar las fichas en forma unitaria, esto permitió eliminar mudas como contar partes, transportes innecesarios, inventarios excesivos de materias primas, reproceso del material y así mejorar la eficiencia del proceso en un 40%.

Figura 3. Laboratorio de producción X-Z después del estudio de métodos y tiempos



⁶ Toda actividad que consume recursos en el proceso productivo pero no genera ningún valor para el producto.

Fuente: Los Autores

3 Conclusiones

- Las anteriores prácticas tuvieron como objetivo mostrar la fusión entre los métodos de muestreo, la probabilidad y el proceso de manufactura, evidenciando a través del juego cómo los estudiantes lograron concebir las temáticas trabajadas no sólo como teorías desarticulada, sino por lo contrario como herramientas esenciales para sustentar la toma de decisiones de los procesos productivos.
- Para llevar a cabo este tipo de prácticas los estudiantes deben realizar previamente un estudio y preparación del tema para que la lúdica trascienda de un simple juego.
- El docente a la hora de llevar a cabo este tipo de talleres debe crear un escenario que genere un ambiente propicio y estimule la participación activa del educando.
- Apoyados en investigaciones previas desarrolladas por el equipo GEIO y en los resultados obtenidos a través de la aplicación de este ejercicio en las materias nombradas en este documento, se pudo concluir que la enseñanza a través de la lúdica permite una mayor interiorización de los conceptos por parte del estudiante, ya que él no sólo escucha hablar del tema sino que además lo construye y lo vive a través de su experiencia con ayuda de otros.
- El reto para la formación de un Ingeniero Industrial actualmente plantea la necesidad del desarrollo de herramientas pedagógicas que permitan al estudiante no sólo la comprensión teórica sino también la puesta en práctica de los conceptos adquiridos en clase, generando así en el participante un pensamiento complejo que le ayude a replicar y transformar procesos productivos; es desde esta noción que se concibe al laboratorio de producción X-Z como un mecanismo de aprendizaje activo.

Referencias

- Facultad de Ingeniería Industrial. Concepto de Ingeniero Industrial. Consultado el 3 de Mayo de 2013 en <http://industrial.utp.edu.co/ingenieria-industrial/concepto-de-ingeniero-industrial.html>
- Facultad de Ingeniería Industrial. Unidades de Competencia. Consultado el 5 de Mayo de 2013 en <http://industrial.utp.edu.co/ingenieria-industrial/competencias/unidades-de-competencia.html>
- GEIO (2009). Lúdicas y Laboratorios de Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, pp. 357
- Heineke, J.N., & Meile, L.C. (1995). Games and exercises for Operations Management. New Jersey: Prentice Hall.
- Kai Lai Chung. (1983). Teoría Elemental de la Probabilidad y de los Procesos Estocásticos. Editorial Reverté S.A, España, pp. 304.
- Vivanco, Manuel. (2005). Muestreo Estadístico Diseño y Aplicaciones. Imprenta Salesianos S.A, Santiago de Chile, pp. 213.

Sobre los autores

- **Erika Echeverry Londoño:** Ingeniera Industrial, Master en Administración del Desarrollo Humano y Organizacional, Profesora Catedrática, coinvestigadora grupo GEIO. emecheverri@utp.edu.co
- **Yessica Viviana Benavides Ayala:** Estudiante de octavo semestre de Ingeniería Industrial, coinvestigadora Grupo GEIO. vivicha_4@hotmail.com

- **Juan Felipe Cuellar Quintero:** Estudiante de octavo semestre de Ingeniería Industrial, coinvestigador Grupo GEIO. jfelipecq@gmail.com
- **Carlos Mauricio Zuluaga Ramírez:** Ingeniero Industrial. Master en Administración del Desarrollo Humano y Organizacional, Profesor Catedrático, coordinador grupo GEIO. cmzuluaga@utp.edu.co

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)