

## **El avión de la muda: herramienta de apoyo a la enseñanza-aprendizaje práctico de la manufactura esbelta**

### **Airplane of the muda: support tool for the teaching-learning experience of lean manufacturing**

*Jorge Iván Pérez Rave\**

Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Antioquia. Grupo de investigación Gestión de la Calidad. Medellín. Cl 67 N.º 53-108, B. 21, of. 404.

(Recibido el 6 de abril de 2010. Aceptado el 31 de agosto de 2010)

#### **Resumen**

Este artículo presenta una herramienta denominada “El avión de la muda”, diseñada para complementar la clase magistral de la Manufactura esbelta, con elementos prácticos que permitan incorporar principios constructivistas, de aprendizaje colaborativo, lúdico y basado en problemas, en los procesos de enseñanza-aprendizaje de: 7 mudas, 5'S y gerencia visual. Esta herramienta es expuesta partiendo de un marco teórico sobre manufactura esbelta y de algunas teorías de aprendizaje; luego, es ofrecida a nivel de: caso de estudio, materiales, distribución, roles, gama de proceso y corridas de producción con su respectiva caracterización en términos de tiempos de ciclo y *tack time*. Desde el punto de vista académico se llena un vacío en el ámbito específico para el que fue desarrollada, y además, a nivel general se proporciona información útil para docentes, estudiantes, investigadores y consultores, que dada su esencia, es viable también utilizarla para otros temas de la misma área, como: balanceo de línea, kanban, justo a tiempo, distribución en planta y control de calidad. Igualmente, sirve como base para que, por medio de su adaptación, pueda utilizarse en otros saberes. A nivel práctico, dado su diseño, simplicidad y accesibilidad a los materiales que se requieren, este trabajo puede ser empleado tal cual en procesos de introducción a la manufactura esbelta de cualquier entidad.

-----*Palabras clave:* Manufactura esbelta, lúdica, enseñanza-aprendizaje, aprendizaje basado en problemas, aprendizaje colaborativo

---

\* Autor de correspondencia: teléfono: + 57 + 4 + 219 55 75, correo electrónico: ejipr056@udea.edu.co (J. I. P. Rave)

## Abstract

This paper proposes a game called “Airplane of the muda”, designed to complement the theoretical classes of lean manufacturing with practical elements allowing to incorporate constructivist principles and collaborative learning based on the teaching-learning process problems of: 7 mudas, 5'S and visual management. This game is exposed based on a theoretical framework for lean manufacturing and some learning theories. Then, provides: case study, materials, distribution, roles, procedures and production runs with the corresponding characterization in cycle times and task time. From the academic point of view a gap in knowledge is filled in the specific field for which the article was developed, and besides at a general level there is information for faculty, students and researchers, such as: ideas for future work and methodological elements that serve as a guide to study and generate other games, to support theoretical courses. On a practical level, given its design, simplicity and accessibility of materials needed, the game can be deployed as it is on Lean manufacturing courses of any institution.

----- *Keywords:* Lean manufacturing, game, teaching-learning, problem-based learning, collaborative learning

## Introducción

La típica enseñanza magistral de la manufactura esbelta en instituciones universitarias, específicamente la iniciación en dicha filosofía, abordando temas como: 7 mudas, 5'S y gerencia visual, es un aspecto que puede dificultar su asimilación por parte de estudiantes que construyen su aprendizaje a partir de la búsqueda de satisfacción de sus necesidades y de las experiencias individuales con el entorno. Igual puede ocurrir con personal de las empresas, particularmente el operativo, que debe ser introducido significativamente en dichos temas para que las intenciones de mejoramiento se materialicen en un proceso estructurado. Más aún, en este personal, el método magistral puede generar frustración, debido a: escasa formación académica, agotamiento, dificultad para mantener concentración, posible desinterés en actividades fuera de la rutina, quizá desmotivación y modelos mentales que afectan la generación de cambios.

Así, cuando se imparte capacitación en manufactura esbelta, en los ámbitos empresarial y académico, es posible que el saber quede en un salón de clase, puesto que la sesión carece de despliegues prácticos, enfocados en problemas

de la cotidianidad y bajo ambientes que permitan hacer sentir protagonistas a los participantes, propiciando además, tranquilidad y confianza.

Por lo anterior, a nivel de la enseñanza-aprendizaje en general, es creciente la necesidad de vincular contenidos desarrollados en los cursos con situaciones propias de fenómenos reales, que evidencien practicidad de lo aprendido en el ámbito en que se desempeña el alumno.

En los últimos años, el uso de actividades lúdicas como herramientas para incorporar los anteriores elementos pedagógicos en las sesiones magistrales vienen incrementándose, no siendo excepción el ámbito académico colombiano, con aportes como los de GEIO [1], orientados a la enseñanza de la investigación de operaciones haciendo uso de actividades lúdicas, que impactan el desarrollo procedimental del estudiante. La evolución de dicho proceso destaca la importancia de generar ambientes de trabajo lúdico, colaborativo y basado en casos problema, propios de la cotidianidad, donde el alumno, con base en sus modelos mentales, interactúe con el entorno, experimente en la realidad, reciba retroalimentación considerando varias perspectivas y genere esquemas mentales más cercanos a la “mejor” solución para el ámbito de interés.

Centrando el enfoque en la manufactura esbelta, vincular elementos que propicien integración entre sus contenidos, y a su vez, faciliten incorporar las citadas alternativas de aprendizaje, es un campo de conocimiento en infancia desde el punto de vista aplicado, cuyos aportes se hacen necesarios para la comunidad académica y empresarial.

El conocimiento adquirido por el autor, permite sistematizar el problema en la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué actividad emplear en la enseñanza-aprendizaje de la manufactura esbelta, para incorporar escenarios colaborativos donde los participantes vivencien un problema que les despierte interés, realicen experimentaciones en la realidad y evidencien practicidad de conceptos teóricos previamente introducidos?

Este trabajo provee información útil para docentes, estudiantes, investigadores y consultores, como por ejemplo: elementos que sirven de guía para estudiar y generar nuevas herramientas de apoyo procedural en cursos magistrales, así como ideas para trabajos futuros. A nivel práctico, dado su diseño, simplicidad y accesibilidad a los materiales, puede desplegarse tal cual en procesos de introducción a la manufactura esbelta de cualquier firma o institución educativa.

El segundo apartado de este artículo presenta un marco teórico sobre manufactura esbelta y teorías de aprendizaje, que facilitan la comprensión de las demás secciones. Luego, se describe “El avión de la muda”, enfatizando en: caso de estudio, materiales, *layout*, roles, gama de proceso y corridas de producción con su caracterización según: tiempos de ciclo y *tack time*. Finalmente, se presentan las conclusiones del estudio y las referencias que lo sustentan teóricamente.

## Marco teórico

### **Manufactura esbelta**

El desarrollo de modelos de gestión que permitieran el mejoramiento continuo y flexible de las formas de producción, dio origen a mediados del siglo pasado al *Toyota Production System* (TPS) [2], en el cual, bajo la premisa de producir lo

necesario, en las condiciones requeridas y en el momento oportuno, complementado con la participación de los colaboradores y centrando esfuerzos en actividades que no aportan valor para el cliente, se obtienen beneficios sostenidos en: calidad, productividad, seguridad y oportunidad. El TPS generó una nueva cultura industrial conocida en occidente como pensamiento Lean [3].

*Lean manufacturing* es una filosofía basada en pequeños cambios, trabajo con la gente, autonomía y ataque constante a las mudas de manufactura, empleando, entre otras herramientas: equipos autodirigidos, 5'S y gerencia visual [4-6].

### **Las 7 Mudas**

Muda es una actividad que no agrega valor para el cliente, la cual no está dispuesto a pagar [7]; representa el desperdicio de los procesos y según Ohno, T. [8] se clasifica en:

*Inventario:* la existencia de inventario, si bien en casos es necesaria como medio de protección ante situaciones fortuitas de demanda, su sostenimiento prolongando y excesivo genera situaciones no deseadas para la organización. Esta muda se divide en: materia prima, producto en proceso y terminado. Genera costos de almacenaje y de manipulación, propicia obsolescencia, defectos, sensación de poca capacidad en espacios, medios y talento humano.

*Tiempos de Espera:* tiempo en que los recursos se encuentran sin ser utilizados. Por ejemplo: un centro de trabajo arrojó un producto y luego tuvo que esperar antes de comenzar con el otro, conlleva a sobrecostos y puede posibilitar pereza en la persona ociosa y bajo rendimiento. Esta muda se debe a carente nivelación de cargas, fallas en programación, en equipos o demás eventos que exijan paro en algún elemento del proceso.

*Transporte:* desplazamiento de elementos, bien sea materiales, herramientas, producto en proceso o terminado. Durante ese lapso la organización no está modificando ninguna característica de forma o fondo del producto, por la que el cliente esté dispuesto a pagar.

*Procesos innecesarios:* comprende actividades que solo existen por el diseño de procesos poco robustos e inefficientes, o por presencia de defectos. Suponga el evento de retrabajar una pieza, ante control deficiente a la calidad del proveedor.

*Defectos:* se refiere a aceptar, producir o enviar productos que no cumplen con las especificaciones del cliente interno o externo. Genera a su vez procesos innecesarios. Está asociada a los costos de no calidad, haciendo perder tiempo valioso, afectando no solo la parte productiva o la económica, sino la misma satisfacción del cliente.

*Movimientos innecesarios:* a veces son tan poco efectivos los diseños de puestos de trabajo que obligan al colaborador a efectuar movimientos que fuerzan los desplazamientos normales de las extremidades, llevándolo a agacharse para recoger un insumo o herramienta, inclinarse, estirarse forzosamente, o realizar varias manipulaciones, entre otras, colocando en riesgo su salud y generando un entorno poco productivo.

*Sobreproducción:* madre de las mudas, es peligrosa y depende en su mayoría de las decisiones estratégicas y tácticas. Se refiere a programar la utilización de recursos en momentos y/o en cantidades que realmente no se requieren para satisfacer el consumidor.

Retomando la manufactura esbelta en general, dentro de las herramientas que integra, a continuación se describen las que principalmente se abordan en los saberes específicos de interés:

### *Las 5'S*

Filosofía japonesa con origen en el TPS. Aparentemente simple, pero poderosa herramienta de mejora que puede aplicarse a cualquier actividad, y conlleva a un entorno más limpio, ordenado, eficiente y seguro; proporciona bienestar, disciplina y un ambiente de armonía con los demás [9,10]. Se ha convertido en un gran aliado a la hora de reducir las 7 mudas y es base de cualquier sistema de mejoramiento. Los pasos para su implementación son [11-13]:

1. *Seiri* (seleccionar / clasificar): identificar y separar lo necesario de lo innecesario.
2. *Seiton* (ordenar): “un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar”.
3. *Seiso* (limpiar / recuperar): mantener todo en un estado aseado (máquinas, pisos paredes,...).
4. *Seiketsu* (estandarizar): definir directrices (ubicación, métodos, señalización, lenguaje,...) para identificar lo adecuado de lo inadecuado. Posibilita mantener las 3'S iniciales.
5. *Shitsuke* (disciplina): respeto por las reglas de juego (estándares) y la mejora continua.

### *Gerencia visual (GV)*

Método japonés considerado el más eficaz para comunicar al personal de la organización, los problemas presentados en distintos procesos y que limitan el logro de los objetivos [14]. Se hace mención a la “fábrica que habla”, ya que mediante señales, puede conocerse el estado de los procesos, a fin de detectar problemas, hacer seguimiento y propiciar respeto de los estándares. GV minimiza fricciones humanas, ya que está desprovista de acepciones y permite la formación y aprendizaje de los trabajadores, indicando como deben realizarse las operaciones; además, refuerza el desempeño de cada uno y permite exhibir objetivos que han alcanzado [15].

### *Teorías de aprendizaje*

La enseñanza-aprendizaje que subyace en “El avión de la muda” se apoya en teorías sobre:

#### *Aprendizaje constructivista*

Asocia el aprendizaje con la creación de significados a partir de experiencias del individuo con el entorno [16]. La mente filtra la información que llega del mundo para producir su propia y única realidad [17]. Se parte de que los participantes actúan como coproductores de su formación, construyendo aprendizaje mediante la ob-

servación, la experimentación, la interacción con compañeros(as) [18] y la búsqueda de la satisfacción de sus propias necesidades.

### *Aprendizaje colaborativo*

Con base en [19], esta teoría posibilita, bajo un ambiente de respeto y mediante análisis grupal de casos, que se comparta autoridad con los participantes, se les invite a la ayuda mutua y a participar en diálogos abiertos y significativos. Se intercambian opiniones, se comparte conocimiento, se soportan críticas, se compromete el pensamiento reflexivo y creativo, y se buscan consensos para el logro de objetivos, que redunden en altos niveles de aprendizaje [20].

### *Aprendizaje basado en problemas (APB)*

Al alumno se le enfrenta a situaciones estructuradas, donde no existe un solo curso de acción, siendo punto de partida para adquirir e integrar conocimientos [21]. Siguiendo el ciclo de la exploración [22], se le induce a reflexionar sobre ¿qué problemas encuentra, cuáles son sus causas y cómo pueden mejorarse? Se posibilita, entre otros, adquirir competencias en: resolución de problemas, trabajo en equipo y pensamiento crítico y reflexivo [23,24].

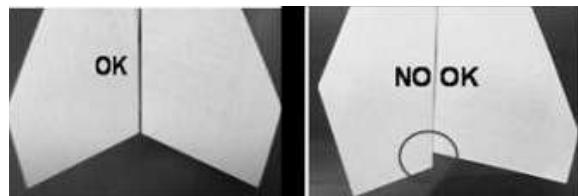
Para incorporar lo anterior en la enseñanza de la manufactura esbelta, generando espacios donde los participantes interactúen y pongan en práctica conocimientos, es útil la actividad lúdica, dado que permite vincular: emociones, toma de decisiones, habilidades comunicativas, pensamiento creativo y entornos simulados, siendo una importante fuente de aprendizaje [25,26].

## **Metodología**

Esta herramienta apoya sesiones magistrales de manufactura esbelta. Antes de desplegarla, aunque no es exigencia, puesto que paralelamente puede hacerse, se recomienda dar información sobre: 7 mudas, 5'S y GV. Para ello, se utilizan dispositivas bajo mapas mentales y videos.

### **Caso “El avión de la muda”**

Es una empresa llamada “El avión de la muda”, que produce aviones de alta categoría. El cliente ha solicitado cinco unidades, las cuales deben estar listas en 2,5 minutos. El gerente, pensando que todo lo que se produce algún día se vende, ordena programar 10 aviones. La materia prima son hojas de papel tamaño carta (reciclable) y existen dos tipos: marcadas con “X”, que es materia prima de un avión ya obsoleto, y otras que no lo están, las cuales deben utilizarse para producir el avión de la muda. Se tienen dos requerimientos de calidad: que el avión vuele al primer intento y que las alas visualmente estén alineadas (figura 1).



**Figura 1** Criterio de calidad para alineación de alas

### **Materiales**

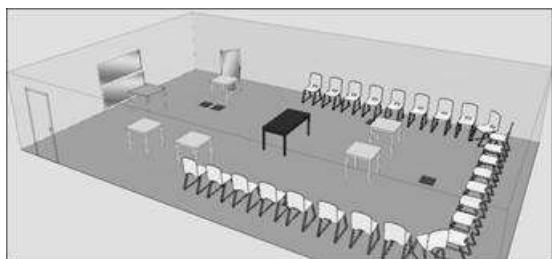
Los materiales requeridos para el despliegue son: tablero borrible o papel periódico/cartulina, marcadores para el tablero, 25 hojas (pueden ser reciclables) tamaño carta, cinco ó seis mesas/sillas, 20 hojas marcadas de extremo a extremo con una “X” de color rojo y un cronómetro. El tablero es utilizado para registrar los resultados de cada corrida de producción, mínimamente en términos de cantidad de aviones excelentes y de aquellos defectuosos (tabla 1).

**Tabla 1** Tablero de control

<b>Corridas</b>	<b>Aviones ok.</b>	<b>Control de Calidad</b>	
		<b>Aviones no ok</b>	
		<b>Alas no alineadas</b>	<b>Sin vuelo</b>
1			
...			

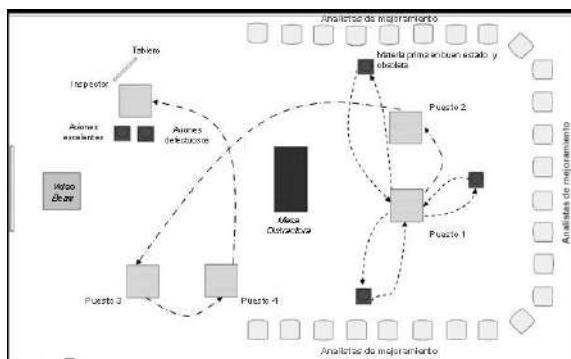
### Distribución del área de trabajo

El área de trabajo debe organizarse de acuerdo a la figura 2.



**Figura 2** Layout inicial de “El avión de la Muda” en 3D

Esta distribución (figura 3), deduce cantidad de mudas. Las flechas punteadas representan mudas de transporte, la materia prima está ubicada en lugares diferentes, lejos del puesto 1, y además, hojas adecuadas con obsoletas están mezcladas, garantizando movimientos y procesos innecesarios. De manera opcional, hay una mesa/silla para afectar el flujo de material o producto.



**Figura 3** Layout inicial de “El avión de la Muda” en 2D

De la misma manera, recuérdese que se programan 10 aviones para propiciar la muda de sobreproducción y todo lo que de ella se deriva.

### Roles de los participantes

En la figura 3 se nota que intervienen en la actividad de ensamble, cuatro alumnos que será preciso seleccionar, preferiblemente que alguna vez hayan hecho aviones de papel, otro

colaborador más representa al inspector de línea, que debe juzgar la calidad de los aviones en término de los requerimientos del cliente. Aparte, intervienen demás alumnos, representando a los analistas de mejoramiento, los cuales rodean a los ensambladores (figura 3).

### Gama de proceso

En la tabla 2 se presenta el procedimiento de ensamble de los aviones, indicando responsables, actividades que agregan valor (AV) y las que no (ANV).

## Resultados y discusión

### Corridas de producción y papel del dinamizador

Antes de comenzar con las corridas originales, es conveniente entrenar, por medio de una corrida de prueba, a cada uno de los participantes que integran la línea de producción. Luego, se realiza la corrida inicial, que además, incorpora música estresante y a alto volumen para simular un entorno bajo presión. En esta corrida se han llegado a elaborar entre cinco y seis aviones, pero sólo unos cuantos cumplen con las especificaciones de calidad. Por ejemplo, a modo de recolección de datos para caracterizar la línea de producción, en cinco pruebas independientes realizadas con grupos diferentes de estudiantes de Ingeniería Industrial de la Universidad de Antioquia (UdeA), donde se le permitió elaborar 10 aviones a cada grupo, de los 50 aviones producidos en la primera corrida, solo 16 cumplieron con las especificaciones, lo que deduce un porcentaje de aceptación directa (PAD) del 32%. En la figura 4, con base en las mediciones realizadas, se muestra la caracterización de la línea en esta primera corrida (si bien los tiempos de ANV pueden variar dependiendo de la distancia exacta en que se ubiquen los puestos de trabajo, para garantizar un comportamiento del nivel de balanceo similar a la figura 4, es fundamental mantener la distribución de la figura 3).

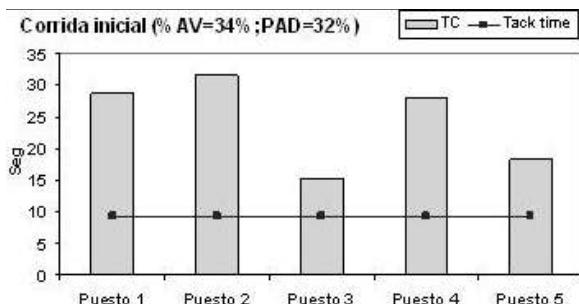
**Tabla 2** Gama de proceso de elaboración del avión de la muda

<b>Gerencia visual</b>	<b>¿Qué? (actividad)</b>	<b>¿Quién?</b>	<b>Tipo</b>	<b>¿Cómo? (elementos de trabajo)</b>
	Paso 1. Doblar las esquinas	Ensamblador puesto 1	ANV ANV ANV AV ANV	Ir hacia el sitio de materia prima Buscar hoja adecuada (sin X) Regresar al puesto 1 con hoja para el avión. Doblar las dos esquinas de la hoja hasta el centro de esta Transportar el avión al puesto 2 y regresar al puesto de trabajo
	Paso 2. Hacer la parte frontal del avión	Ensamblador puesto 2	AV ANV	Doblar las puntas hacia adentro para formar la parte frontal del avión, pero no asegurarlas con la pestaña Transportar el avión en proceso al puesto 3 y regresar al puesto de trabajo
	Paso 3. Ensamblar la pestaña de seguridad de la parte frontal	Ensamblador puesto 3	AV ANV	Doblar la pestaña para el ensamble y seguridad de la parte frontal Transportar el avión en proceso al puesto 4 y regresar al puesto de trabajo
	Paso 4. Elaborar las alas del avión	Ensamblador puesto 4	AV ANV	Construir las alas doblando cuidadosamente hacia afuera Transportar el avión terminado al inspector de calidad y regresar al puesto de trabajo
	Paso 5. Inspeccionar la calidad del avión	Inspector de calidad puesto 5	ANV ANV ANV ANV ANV	Verificar si las alas están alineadas Verificar si el avión vuela al primer intento Desplazarse hacia el tablero de control Actualizar el tablero con aviones "ok" y no "ok" Regresar al puesto de trabajo

En esta primera corrida la línea presenta en promedio, solo un 34% de tiempo de adición de valor, el resto son actividades como: transportes y

movimientos innecesarios, con un PAD del 32%. En vista del amplio porcentaje de generación de defectos (PGD=68%), el *Tack time*, calculado

como el tiempo disponible de producción (150 segundos) dividido el número de aviones requeridos ( $5/0,32$ ), es de 9,4 segundos, ya que en este caso se deben programar cerca de 16 aviones para aspirar tener al final, los cinco que cumplan con las especificaciones del cliente. Nótese, bajo la corrida inicial, la ineficiencia y desbalance de la línea de producción, y en consecuencia, la imposibilidad de cumplir con los requerimientos del cliente.

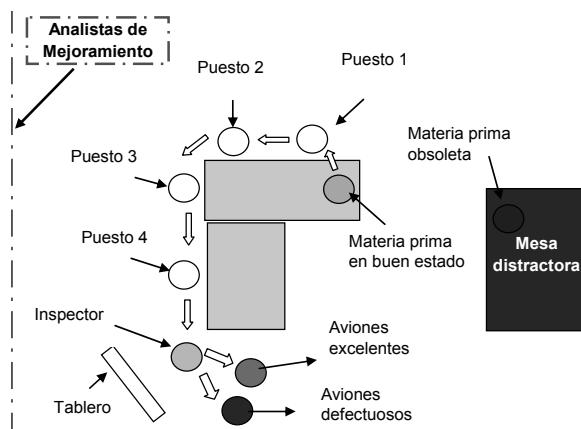


**Figura 4** Caracterización de la línea bajo corrida inicial

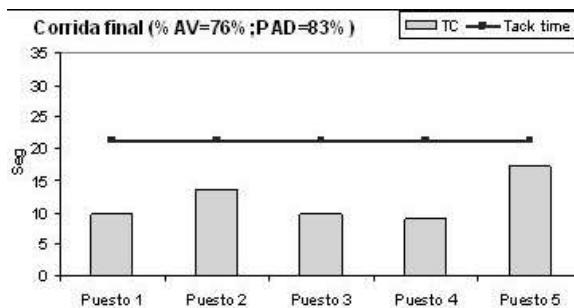
Terminada la corrida, el moderador da participación a los alumnos para que identifiquen las principales mudas y sugieran cambios de mejora, que comúnmente son: acercar puestos, reubicar mesas/sillas, 5'S y hablar con el proveedor de hojas para que las envíe con un doblez a la mitad, a fin de identificar el centro a lo ancho y propiciar menos errores por alineación de las alas. En la figura 5 se presenta uno de los escenarios de mejora a los que se ha llegado en los despliegos.

En la figura 6 se expone la caracterización de la línea de producción, luego de que se realizan actividades de reducción de mudas de manufactura.

La figura 6 es producto de pequeños cambios para reducción de mudas y de implementar 5'S, gerencia visual y de trabajar con el “proveedor” de las hojas; también, de retiro de la música estresante, de la misma curva de aprendizaje y de la sensibilización del personal en: “no recibo, no genero y no envío defectos” y, “calidad y seguridad por encima de productividad”.



**Figura 5** Distribución de la línea de producción bajo la corrida final



**Figura 6** Caracterización de la línea de producción bajo la corrida final

Cabe resaltar que el dinamizador no proporciona respuestas, éste facilita la reflexión, vela por el respeto, el ambiente de armonía y propicia la generación de respuestas por parte de los alumnos. Por experiencias, basta entre 2 y 3 corridas para lograr el objetivo de producción, comprendiendo la importancia del mejoramiento “paso a paso”, trabajo en equipo, 5'S y GV, así como la necesidad de disminuir las “mudas” y la interdependencia de las actividades.,

Al finalizar, no es de extrañar las sonrisas y la felicidad manifestada por los alumnos, al igual que múltiples ideas de mejora para el mismo ámbito donde se desempeñan. En la figura 7 se presenta parte del despliegue en dos empresas diferentes del Valle de Aburrá.

Algunas de las lecciones aprendidas para la vida personal, recolectadas durante las sesiones, son:

“pequeños cambios generan grandes resultados cuando se acompañan de disciplina”, “el mejor elemento de una empresa es el humano, disponible a los cambios de mejoramiento continuo”.



**Figura 7** Parte del despliegues en dos empresas

## Conclusiones

Se ha diseñado una herramienta de fácil replicación en academia y empresa, que puede desplegarse con recursos accesibles a docentes,

empresarios, consultores y estudiantes, y permite incorporar en la enseñanza-aprendizaje de la manufactura esbelta, específicamente: 7 mudas, 5'S y gerencia visual, elementos prácticos que propicien un aprendizaje basado en problemas y construcción de conocimiento a partir de necesidades reales. Todo ello, además, bajo un ambiente colaborativo donde se intercambian opiniones, se estimula el pensamiento crítico y reflexivo, se fomenta el trabajo en equipo, el liderazgo y se muestra asociación con conceptos teóricos previamente introducidos. “El avión de la muda” también posibilita impactar el desarrollo procedural de otros temas de la misma área, como: balanceo de línea, *kanban*, justo a tiempo y control de calidad en operaciones, y sirve de base para que, por medio de su adaptación, pueda utilizarse en otras áreas.

“El avión de la muda” es importante emplearlo en la enseñanza-aprendizaje de la manufactura esbelta, ya que a diferencia de la clase magistral, brinda el escenario para que el aprendiz viva la experiencia de trabajar en una línea de producción caracterizada por mudas de manufactura, buscando por sí mismo y también como miembro de un equipo, respuestas a: ¿qué problemas hay, cuáles son sus causas, sus consecuencias y cómo mejorar? Esto le permite, con entusiasmo, satisfacción y curiosidad, someter a ensayo en la práctica, sus hipótesis y modelos mentales sobre elementos del mejoramiento en las empresas y hasta en la vida cotidiana, no solo impactando en lo visual y/o auditivo, sino lo procedural, bajo esquemas de aprender haciendo.

Durante el despliegue de esta herramienta ha generado asombro encontrar que las primeras acciones en las que se piensa, se basan en despedir personal o cambiarlo de puesto por que “ahí no sirve”, sin considerar la capacitación y el entrenamiento. Esto refleja la importancia, en la preparación de futuros titulados, de fortalecer la componente sociohumánistica, propiciando que en sus acciones prevalezca la intención de liberar el potencial humano, antes de implementar contramedidas que pueden asemejarse “soluciones rápidas que fallan”.

## Agradecimientos

Se agradece al profesor Carlos Mario Parra Mesa por su apoyo al fortalecimiento de la investigación en el Departamento de Ingeniería Industrial, y a los estudiantes: Mayra Rodríguez, Johan Vanegas, María del Pilar Guzmán, Daniel Colonia, Adriana Niño y Mauricio Ariza, por la colaboración en la documentación de las operaciones y graficación de Layout. Agradecimientos especiales a las empresas Abrasivos Industriales S. A. S. y Arcoli S. A, por su notable disposición hacia el mejoramiento, fundamental para la validación de la herramienta.

## Referencias

1. GEIO. *Lúdicas y laboratorios de Ingeniería Industrial*. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira. 2007. pp.1-1014.
2. A. Espejo, F. Moyano. "Lean production: estado actual y desarrollo futuro de la investigación". *Investigaciones europeas de dirección y economía de las empresas*. Vol. 13. 2007. pp. 179- 202.
3. J. Womack, D. Jones, D. Ross. *The machine that changed the world: The story of lean production- Toyota's secret weapon in the global car wars that is now revolutionizing world industry*. Ed. Simon & Schuster. New York. 2007. pp.1-352.
4. W. Feld. *Lean manufacturing: tools, techniques and how to use them*. Ed. The St Lucie Press.APICS Series on Resource Management. 2001. pp.1-228.
5. S. Ho, S. Citmill. "Japanese 5-S practice". *The TQM magazine*. Vol. 8. 1996. pp. 45-53.
6. S. Spear. "Learning to lead at Toyota". *Harvard Business Review*. Vol. 82. 2004. pp. 78-86.
7. M. Imai. *Kaizen: la clave de la ventaja competitiva japonesa*. A. Tr. Vasseur (editors). Ed. Cecsa. México.1989. pp.1-298.
8. T. Ohno. *Toyota production system: beyond large-scale production*. Portland (Oregón). Ed. Productivity Press. 1988. pp.1-143.
9. J. G. Arrieta. "Las 5s, pilares de la fabrica visual". *Revista Universidad EAFIT*. Abril -Junio. N.º 114. 1999. pp. 35-48.
10. C. Andriani, R. Biasca, M. Rodríguez. *Un nuevo sistema de gestión para lograr PYMES de clase mundial*. Ed. Norma. México. 2003. pp.71-72.
11. Y. Monden. *El just In time hoy en Toyota*. Ed. Deusto. Madrid. 1996. pp. 1-437.
12. K. Luna, C. González. *Implementación de sistemas de calidad en la industria de la construcción: hacia un modelo cualitativo de evaluación*. Ed. ACE. Vol.1. 2007. pp. 419-420.
13. F. González. "Manufactura esbelta (*Lean manufacturing*): Principales herramientas". *Revista panorama administrativo* Vol. 2. 2007. pp.93-96.
14. M. Imai. *Cómo implementar el Kaizen en el sitio de trabajo*. Ed. McGraw Hill. España. 1998. pp. 85-86.
15. J. Berengueres. *The Toyota production system re-contextualized*. Lulu.com. London (U. K.). 2007. pp.1-80.
16. A. Bednar, D. Cunningham, T. Duffy, J. Perry. *Theory into practice: how do we link*. G. Anglin. Ed. Instructional technology: past, present and future. Denver, CO: Libraries unlimited. 1991. pp. 88-101.
17. D. Jonassen. "Objectivism vs. constructivism: do we need a new philosophical paradigm" *Educational technology research and development*. ETR&D. Vol. 9. 1991. pp. 5-14.
18. M. Guzmán. "El modelo constructivista del aprendizaje". *Revista Enfoques educativos*. Vol. 16. 2008. pp. 78-98
19. D. Johnson, D. Johnson, E. Holubec. *Cooperation in the classroom*. 7 ed. Ed. Interaction book company. Edina. (MN). 1998. pp. 1-2.
20. J. Pérez, P. Jaramillo, L. Moreno. "El comercio de canicas: herramienta de apoyo para la enseñanza-aprendizaje práctico de la programación lineal". *Revista Facultad de Ingeniería UCV*. Vol. 25. 2010. pp. 43-52.
21. H. Barrows. "A taxonomy of problem based learning methods". *Medical education*. Vol. 20. 1986. pp. 481-486.
22. L. Branda. *Aprendizaje basado en problemas, centrado en el estudiante, orientado a la comunidad*. Aportes para un cambio curricular en Argentina. Jornadas de cambio curricular de la Facultad de Medicina de la Universidad de Buenos Aires. Organización panamericana de la salud. Buenos Aires. 2001. pp. 79-101.
23. H. Nieme. "Active learning a cultural change needed in teacher education and schools". *Teacher and teaching education*. Vol. 18. 2002. pp. 763-780.
24. R. Felder, L. Silverman. "Learning and teaching styles". *Engineering education*. Vol. 78. 1988. pp. 674-681.
25. R. Ortega. *Play, activity and thought: reflections on Piaget's and Vygotsky theories*. D Lytle (Editors.). Ed. Play & culture studies. London: Praeger. 2003. pp. 99-115.
26. R. Ortega. "El juego: la experiencia de aprender jugando". J. Gallego, E. Fernández, (Editors). *Enciclopedia de educación infantil*. Málaga: Aljibe. 2003. pp. 765-787.