

Modelación y Simulación Computacional de una Línea de Ensamble de Asientos Traseros de una Empresa Autopartista Usando Dinámica de Sistemas

Jorge Iván Pérez Rave* Cristian Pérez †

Fecha de Recibido: 16/06/2009 Fecha de Aprobación: 20/12/2009

Resumen

Este artículo busca motivar a la academia y a las empresas a desarrollar, en el área de la simulación dinámica de sistemas, trabajos conjuntos que conlleven al mejoramiento empresarial. En él se presenta la metodología empleada para el mejoramiento de la línea de ensamble de asientos traseros de una empresa autopartista, llevada a cabo mediante modelación y simulación dinámica de sistemas. Con dicha técnica se analiza la respuesta de la línea ante escenarios que consideran la redistribución de la cantidad de colaboradores y de las operaciones. Como resultado, aparte de obtener un modelo de simulación que representa razonablemente la línea, se selecciona e implementa un escenario de redistribución que incrementa en 37,5% la productividad de la línea y disminuye en 29% los costos de mano de obra.

Palabras clave: dinámica de sistemas, modelación y simulación, línea de ensamble, sector autopartista, mejoramiento continuo.

Abstract

This article aims to motivate the academic sector as well as the firms to develop, in the field of dynamic system simulation, cooperative works which will lead to improving business. This article presents a systematic methodology which is used to improve the assembly line of backseats for an autoparts firm. The modeling method analyzes the response of the assembly line in one road excitation inputs. Simulation experiments of different conditions as: changes in the number and distribution of the workforce and the integration of operations. As a result of this, a simulation model that reasonably represents the dynamic behavior of the assembly line and 37,5 % increase in productivity of the process and 29% the cost of workforce.

Keywords: system dynamics, modeling and simulation, assembly line, auto parts industry, continuous improvement.

* Profesor Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Antioquia. Grupo de investigación Gestión de la Calidad. Teléfono: 2195575, Email: ejipr056@udea.edu.co. Calle 67 N° 53108, Bloque 21, oficina 404. Medellín.

** Estudiante de Ingeniería de producción. Grupo de investigación Gestión de la Calidad, Email: investigagcalidad@udea.edu.co.

† Se concede autorización para copiar gratis parte o todo el material publicado en la Revista Colombiana de Computación siempre y cuando las copias no sean usadas para fines comerciales, y que se especifique que la copia se realiza con el consentimiento de la Revista Colombiana de Computación.

1 Introducción

Diversos son los escritos que resaltan cambios en el entorno comercial, que enmarcan en las unidades económicas amenazas y oportunidades. Igualmente, mucho se ha socializado sobre la necesidad de cambios de mejoramiento al interior de las organizaciones para competir en igualdad de condiciones ante un fenómeno comercial, que hasta hace unos años se refería como futurista y hoy cada vez más materializado está [1-3].

Los clientes son cada vez más exigentes, tienen amplia variedad de productos y servicios para decidir su elección, las tecnologías avanzan velozmente generando necesidades inesperadas en los mismos consumidores, y acelerando la obsolescencia de los bienes actuales. Las barreras entre las naciones se debilitan, el mercado local se inunda con bienes extranjeros y se abren interesantes puertas para la actividad exportadora.

El sector automotriz Colombiano, no ajeno a esta tendencia mundial, ha vivido diversos procesos de cambio para minimizar las amenazas y aprovechar las oportunidades que traen consigo las presiones de la economía nacional, cada vez más dependientes de contextos internacionales. Dicho sector está conformado por tres ensambladoras terminales y cerca de 150 proveedores autopartistas y entre sus muchos esfuerzos de mejoramiento, vale mencionar: selección del “colaborador adecuado”, trabajo en equipo, motivación del empleado y aproximación a la familia [4], así como la implementación de buenas prácticas de manufactura: 5'S, Kaizen, Respuesta rápida, Balanceo de línea, Mantenimiento Productivo Total (TPM) [5].

En la actualidad, si bien las ensambladoras Colombianas presentan importante madurez en calidad, productividad, oportunidad y seguridad, sus proveedores, en su mayoría PYMES, tienen camino por recorrer para alcanzar, en dichas dimensiones, niveles que permitan competir a escala internacional. Esta necesidad de mejora debida básicamente a: presencia de procesos con actividades de bajo valor agregado, pocos esfuerzos en investigación, alta competencia extranjera y capacidad instalada deficiente para producir a gran escala [6].

Ante la necesidad de mejoramiento que caracteriza al sector autopartista Colombiano y teniendo presente la relevancia del mismo para el desarrollo socioeconómico de la nación, es determinante potenciar la homogeneidad competitiva entre ensambladoras y proveedores autopartistas, pues bajo una mirada sistémica, esto constituye una cadena indivisible cuyo objetivo está en función de la satisfacción de: clientes, accionistas, colaboradores, proveedores y sociedad en general [7].

La reducción de la brecha competitiva entre ensambladoras y sus proveedores autopartistas, y la incesante búsqueda de niveles de clase mundial, puede acelerarse en la medida en que se reconozca la obligación de invertir en procesos de investigación y desarrollo que potencien además, la constante innovación empresarial.

Con miras a lo anterior, en una empresa autopartista Colombiana se desarrolló un proyecto de investigación aplicada, cuyos resultados se muestran en el presente artículo, que tuvo como propósito mejorar la productividad de la línea de ensamble de asientos traseros automotores de la planta *Just in Time* ubicada en Antioquia, a través del diseño, desarrollo y puesta a punto de un modelo de simulación computacional que permita analizar la respuesta de la línea ante diferentes escenarios de experimentación.

El uso de la simulación dinámica de sistemas en el sector empresarial es cada vez más frecuente y exitoso [8-10], puesto que permite responder al interrogante ¿qué pasa si? ante diferentes alternativas de decisión, y considerar la dinámica del proceso y gran cantidad de elementos y sus interrelaciones. La aplicación requiere una visión integral y conocimiento del sistema, y a pesar de que amerita tiempo, una vez culminado el modelo de simulación facilita el descarte de acciones que no generan resultados deseados, minimizando así los costos de pruebas y errores, y perturbaciones al sistema real. Si bien esta técnica es utilizada comúnmente para decisiones de mediano o largo plazo, con amplios e importantes retardos temporales, en este trabajo, siguiendo la línea de [11], es utilizada para decisiones en el corto plazo, propias de necesidades inmediatas y particulares que debe tomar la empresa a intervenir.

En el segundo apartado de este documento se resumen las etapas que guiaron el estudio, el tercero trata los resultados obtenidos junto con los respectivos análisis, y luego, se exponen las conclusiones y las referencias de soporte.

2 Método

Apoyados en [11-13], se siguieron las siguientes etapas: conocimiento de la línea, concepción del modelo, construcción del modelo, validación teórica, escenarios y simulación, validación en planta, elección de la estrategia a recomendar, implementación, documentación y socialización.

3 Desarrollo

3.1 Conocimiento de la línea

La línea objeto de intervención es tipo mezcla-producto y en ella se ensamblan asientos traseros para cinco tipos de vehículos. Para efectos del mejoramiento de la línea, por interés y recomendación de la empresa, el estudio se enfoca en dos tipos de vehículo, puesto que se constituyen en los más representativos respecto a: cantidad de producción, diferencias entre las operaciones que se realizan y complejidad del ensamble. Dichos vehículos se denotan por las letras A y B. Las operaciones que intervienen en el ensamble de una unidad de cojinería trasera del vehículo A y del B se presentan en la tabla 1, con sus respectivos prerrequisitos (Pre), tiempos tipo y tiempos de ciclo, estos últimos bajo la distribución actual de los siete colaboradores (M.O) que integran la línea.

N°	Pre	MO	Vehículo A			Vehículo B		
			Operaciones	Ttipo	T Ciclo	Operaciones	Ttipo	T Ciclo
1	----	1	Bandeja	5,97	5,97	Enganche	5,4	5,40
2	1,0	2	Moldeado	6,50	3,25	Tapizado	13,6	6,80
3	2,0	1	Vapor	2,90	2,90	Ckd espaldas	6,7	6,68
4	1,3	1	Ensamble final	6,97	6,97	Vapor	6,8	6,77
5	4,0	1	Inspección	4,42	4,42	Inspección	3,8	3,77
6	5,0	1	Empaque	4,95	4,95	Empaque	4,2	4,15

Tabla 1 Caracterización de operaciones de ensamble de asientos traseros según tipo de vehículo

Para estimar los tiempos tipo se colectaron datos durante un mes y medio, actividad que estuvo a cargo de uno de los supervisores de producción. En el trabajo de campo se dio participación a los factores: jornada (AM y PM), vehículo (A, B), operación y colaborador (dos en cada centro de trabajo). Vale anotar que los siete empleados que integran la línea tienen experiencia en los puestos de labor y manejan cabalmente la polivalencia.

Para cada una de las operaciones se recolectaron 10 tiempos, con variaciones mínimas, para un total de 120 tiempos. En dichos datos se analizó, con previo uso del software Statgraphics® 4.1, la presencia de puntos atípicos, y de generar sospecha, se eliminaba el dato y se colectaba de nuevo.

A los nombrados tiempos, como es debido, se les cargó la proporción de suplementos [14] (descanso, necesidades personales, contingencia, etc.).

3.2 Concepción del modelo

Como es característico en el sector PYME existen limitaciones presupuestarias para realizar inversiones significativas; por ello y luego

del acercamiento a la línea objeto de estudio, y ante una experiencia exitosa previa en un sistema similar [11], se decidió considerar dos tipos de escenarios: cambios en el número de colaboradores asignados a cada centro de trabajo y posibilidad de integrar operaciones; este último, contrario a esquemas típicos de dividir el trabajo. Por ejemplo, si se requieren 1,3 trabajadores en un centro de trabajo y 1,7 en otro, la política de redondeo que viene utilizando la empresa a intervenir llevaría a programar cuatro personas, dejando de lado la afectación de tiempo ocioso y/o de sobreproducción. Por el contrario, si se integran las operaciones de ambos centros, siendo viable desde el punto de vista práctico, el requerimiento de capacidad sería de tres trabajadores. Para ilustrar las posibles consecuencias de integrar operaciones y de reasignar personal para un determinado centro de trabajo, se recurrió a un diagrama causal con los elementos que más le interesan a la empresa. Este acercamiento a la estructura del sistema se presenta en la figura 1.

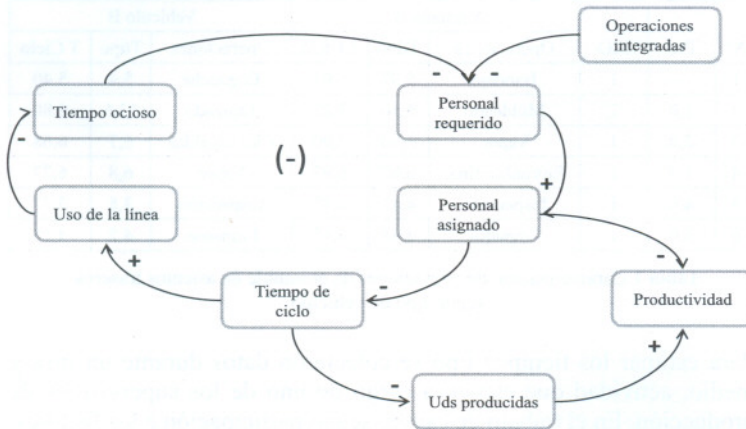


Fig. 1. Representación causal del sistema de interés con presencia de un solo centro de trabajo

En la figura 1 puede verse que las dos estrategias a estudiar, generan consecuencias positivas en algunos de los demás elementos de interés para la empresa, pero también negativas en otros. Por ejemplo, si se decide integrar operaciones, se espera una disminución del personal requerido, lo cual lleva al incremento en el tiempo de ciclo y por ende, a una mayor tasa de uso. Esto generaría menor tiempo ocioso y en consecuencia, más personal requerido, manteniendo estable el sistema.

Ahora bien, si se asigna más personal a un determinado centro de trabajo, esto al final, de manera directa repercute en mayores unidades producidas (favorable), lo que aumentaría la productividad de interés (Uds./hr_MO), pero también puede disminuirla debido al incremento de horas-hombre (desfavorable). Vale anotar que el comportamiento descrito fue pensado para el contexto de la empresa a intervenir, caracterizada por labores manuales, donde el hecho de colocar una

persona más, amerita más capacidad de producción, lo que no sucede en sistemas donde la capacidad depende de una máquina o equipo.

3.3 Construcción del modelo

El modelo fue construido en el software Ithink® 8.1. En la figura 2, para cada centro de trabajo, se muestran algunas de sus principales componentes.

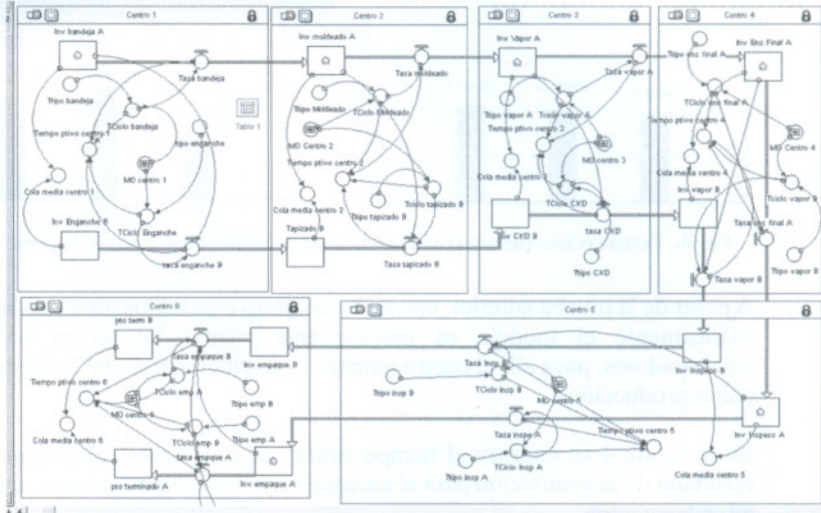


Fig. 2. Extracto del modelo de la línea de asientos traseros

De manera general, la producción inicia con inventario de órdenes para el centro 1, que dependiendo del vehículo inician por la vía del ensamble de bandeja o del enganche. Estas órdenes se procesan en función de la tasa de salida del centro, que a su vez depende, entre otros, de su tiempo de ciclo.

Una vez el producto sale de dicha estación de trabajo pasa en serie por las demás, donde según las tasas de salida que tengan, con variaciones según el tipo de vehículo a procesar, pueden o no generar inventario de producto en proceso, tiempos de espera, aumentar o disminuir el tiempo ocioso, el cumplimiento de producción, el uso del centro y de la línea en general, así como reflejar el nivel de productividad.

3.4 Validación del modelo

Inicialmente, el modelo se prueba ante el escenario actual de la empresa, que incluye una demanda de 24 vehículos tipo A y 32 tipo B para un turno de 10 horas con siete colaboradores distribuidos según se mostró en la tabla 1. Cabe anotar que, por parte de uno de los responsables de grupo (supervisor), se han realizado pruebas con seis colaboradores colocando uno menos en el centro 2, pero incurriendo en la mayoría de los casos en horas extras.

Al correr el modelo bajo las condiciones actuales de operación, se cumple con la producción programada (100%), pero a costa de resultados desfavorables en

otras dimensiones: uso de la línea (42%), productividad (0.8 vehículos/hora MO). En la figura 3 se muestra el tiempo ocioso de los diferentes centros de trabajo al finalizar el turno de producción, donde si bien se nota relativamente parejo en cada una de las estaciones de producción, lo que favorece el flujo continuo, es notoria la ineficiencia total de la línea, que disminuye su productividad.

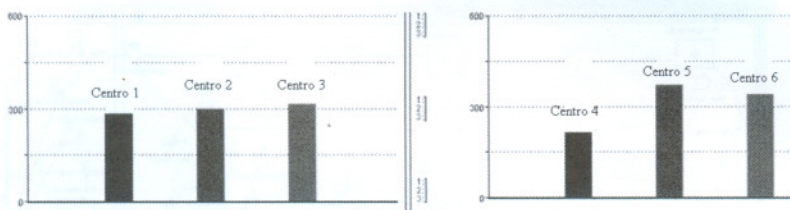


Fig. 3. Tiempo ocioso (minutos) ante condiciones actuales de operación de la línea

A pesar de la prueba anterior, uno de los mejores escenarios para validar teóricamente el modelo es precisamente cuando se tenían seis colaboradores, pues allí el centro número 2, se sabía que no daba abasto con la producción.

En la figura 4 se muestra el tiempo ocioso en cada centro de trabajo, resultado de la simulación para el escenario con seis colaboradores, uno en cada estación.

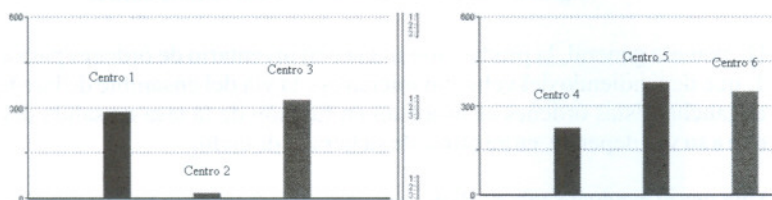


Fig. 4. Tiempo ocioso (minutos) trabajando con un solo colaborador en cada estación

De esta figura se deduce el desfavorable nivel de balanceo de la línea, donde efectivamente el centro 2 es el más utilizado, con prácticamente nulo tiempo ocioso en comparación con los demás. Debido a este centro restricción, la línea comúnmente no cumple a cabalidad con su producción, faltando aproximadamente dos vehículos completos (asiento trasero y espaldar trasero), lo que en situaciones atípicas de defectos, ausentismo, entre otros, exige tiempo extra, como ocurre en la realidad.

3.5 Escenarios y Simulación

Al analizar las tasas de uso, la cantidad de colaboradores y el tiempo ocioso generado en los diferentes centros de trabajo, así como la duración de las operaciones según el tipo de vehículo, se procedió a probar las consecuencias de la estrategia de integración de operaciones. La primera modificación al escenario actual fue integrar las operaciones de los

centros 1 y 2, las cuales serán realizadas, ambas, por dos colaboradores. El resultado se muestra en la figura 5.

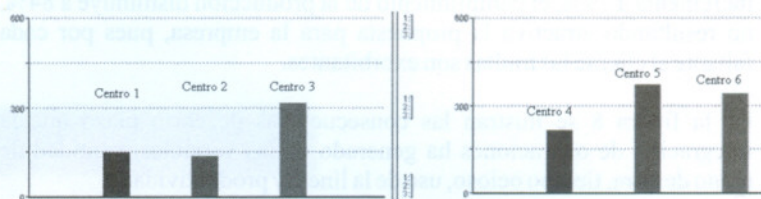


Fig. 5. Tiempo ocioso (minutos) al integrar los centros 1 y 2

Gracias a esta política, se logra pasar de 7 a 6 colaboradores, el cumplimiento de producción se mantiene en 100%, el tiempo ocioso disminuye y el uso de la línea pasa de 42% a 58%.

Ahora bien, en vista del amplio tiempo ocioso de los centros 5 y 6, se prueba también integrándolos, a fin de que participe allí un sólo colaborador; es decir, el mismo inspector de línea una vez culmina la verificación, empaqueta la cojinería. En la figura 6 se muestran los resultados de esta segunda estrategia.

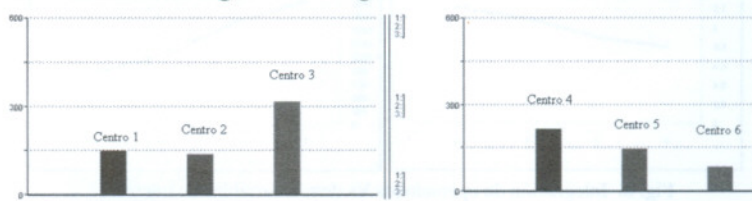


Fig. 6. Tiempo ocioso (minutos) al integrar los centros 5 y 6, manteniendo la integración anterior

Bajo esta política, manteniendo el cumplimiento de producción en 100%, se reduce el tiempo ocioso en dichos centros de trabajo, aumenta el uso de la línea en conjunto a 71% y disminuyen los costos de mano de obra a 29%.

Luego de analizar diversos escenarios, se prueba también integrando las operaciones de los centros 3 y 4 y reduciendo la mano de obra a 1 colaborador. En la figura 7 se presentan los resultados.

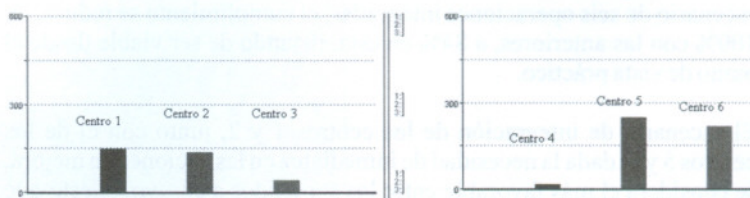


Fig. 7. Tiempo ocioso (minutos) al integrar los centros 3 y 4, manteniendo las anteriores políticas.

Esta política disminuye el tiempo ocioso en los centros 3 y 4, los cuales se convierten ahora en cuellos de botella, y aunque el uso de la línea incrementa a 79%, el cumplimiento de la producción disminuye a 84%, no resultando atractiva la propuesta para la empresa, pues por cada faltante al cliente las multas son exorbitantes.

En la figura 8 se ilustran las consecuencias de corto plazo que la integración de operaciones ha generado en las variables: cantidad de mano de obra, tiempo ocioso, uso de la línea, y productividad.

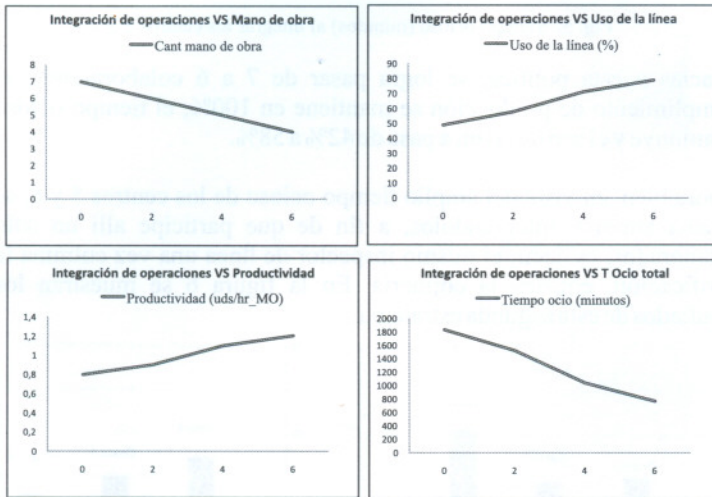


Fig. 8. Integración de operaciones Vs demás variables de interés.

La integración de operaciones comparada con la cantidad de personal requerido (cuadro superior izquierdo) muestra un comportamiento inverso; esto teniendo presente que se trata de personal con suma experiencia y competencias en sus tareas, que ya ha superado la curva de aprendizaje. Este personal, además, al recibir más tareas genera mayor ocupación y por ello, la línea presenta un mayor uso (cuadro superior derecho). A más uso de la línea, menor es el tiempo de ocio de los trabajadores (cuadro inferior derecho). Finalmente, a más operaciones integradas, mayor se muestra el comportamiento de la productividad. No obstante, la integración de operaciones tiene su límite si se compara con el cumplimiento en el programa de producción, ya que ante el escenario de seis operaciones integradas, el cumplimiento se reduce, de 100% con las anteriores, a 84% en ésta, dejando de ser viable desde el punto de vista práctico.

El escenario de integración de los centros 1 y 2, junto con el de los centros 5 y 6, dada la necesidad de inmediatez en las acciones de mejora, se considera el más favorable entre los sometidos a ensayo, puesto que se aumenta el número de Uds/hrs_MO en comparación con el estado actual de la línea, se cumple la producción programada, se disminuye el tiempo ocioso y la inversión es casi nula.

3.6 Validación en Planta

La validación del modelo también se llevó a cabo mediante una prueba real en la planta de producción, la cual fue realizada el 27 de junio de 2008 y estuvo supervisada por los jefes de los procesos: calidad, logística, talento humano, producción y dirección de planta.

La producción programada correspondió al 50% de la producción típica de un día, distribuida así: 40% vehículo tipo A y el 60% tipo B. En esta corrida de producción se trabajó bajo el escenario de integración elegido, con previa capacitación de los colaboradores. En ella se registraron tiempos de salida de unidades según tipo de vehículo y centro de trabajo; además, se observó el comportamiento de los cuellos de botella y la carga asignada a los colaboradores.

Respecto a los resultados, la primera unidad del tipo A se esperaba que saliese al minuto 27 y se produjo al minuto 29. La corrida final se esperaba culminase a las dos horas y 53 minutos, y antes de las dos horas con 50 minutos ya había finalizado. Igualmente, las restricciones fueron las esperadas dependiendo del vehículo ensamblado. Hubo pertinencia en las nuevas asignaciones de colaboradores y una notoria reducción del inventario de producto en proceso.

Luego de esta prueba, como oportunidad de mejora se notó tiempo de espera en los diferentes centros de trabajo, excepto en el primero, mientras se llenaba la línea, así entonces, se decidió que la línea trabajara con inventario inicial en medios tipo kanban.

3.7 Implementación

Al día siguiente de presentados los resultados ante Dirección de Planta y la Jefe de Producción, se implementó la estrategia de redistribución de operaciones y colaboradores, denominada “integración de centros de trabajo 2”, pues la 1 se generó con antelación a este proyecto en la línea de asientos delanteros. Para ello, fue necesario adecuar el *layout* de la línea atendiendo a la integración de centros de trabajo y comprar algunas herramientas adicionales. Vale anotar que los mismos colaboradores fueron quienes realizaron las propuestas de cambio de *layout* y adecuaron sus sitios de trabajo. En la tabla 2 se resume el impacto de la implementación de esta política de producción.

Variables	Antes	Después	D-A	%
Producción total	56	56	0	0.0%
Mano de obra total	7	5	-2	-28.6%
Uso de la línea	49%	71%	22%	44.9%
Tiempo ocioso total (minutos)	1825	1039.4	-785.6	-43.0%
Productividad (Uds./hrs_MO)	0.8	1.1	0.3	37.5%
Cumplimiento de producción	100%	100%	0%	0%

Tabla 2. Desempeño de la línea trasera antes y después de la política de integración de centros

4 Conclusiones

Con este proyecto se muestra la pertinencia de acercar la investigación a la solución de problemas reales del medio empresarial, particularmente empleando la simulación dinámica de sistemas para mejorar líneas de producción, permitiendo comprender y analizar el comportamiento dinámico del sistema y lográndose, en corto plazo, resultados satisfactorios en dimensiones determinantes para competir en igualdad de condiciones ante un entorno globalizado.

Este trabajo posibilitó convertir la línea de asientos traseros en la más productiva de la planta, teniendo un comportamiento favorable para la empresa en sus variables de interés: productividad, cumplimiento de producción, costos de mano de obra y tiempo ocioso. Además, gracias a la productividad lograda en dicha línea de ensamble, a la empresa intervenida le fue viable considerar nuevos roles para los dos trabajadores a sustituir, asignándoles el liderado operativo de equipos autónomos, dentro de un proyecto macro de implementación de herramientas de manufactura esbelta.

Esta técnica, si bien lleva décadas de existencia y su uso es benéfico para el mejoramiento empresarial, su replicación en las unidades económicas del país aún está en infancia, y en este acercamiento la academia tiene una responsabilidad determinante, al igual que el empresario, permitiendo que estudiantes y docentes vean las empresas como laboratorios donde, en equipo, puedan liberar el potencial humano y generar beneficio para clientes, colaboradores, accionistas, proveedores y sociedad.

Este trabajo abre posibilidades de aplicación en otros problemas de las empresas, también bajo el estudio de alternativas requeridas para el corto plazo, de modo que, buscando la homogeneidad en términos competitivos y de la mano de la academia, se potencie aún más el desarrollo económico del país.

Agradecimientos

Se agradece a la UGT (Unidad de Gerenciamiento Táctico), UGE (Unidad de Gerenciamiento Estratégico) y UGO's (Unidades de Gerenciamiento Operativo) de la empresa autopartista en la que se desarrolló el proyecto, por la materialización de su amplio compromiso con la mejora continua, que sin él, bien sabido es, cualquier proyecto de mejoramiento tendería al fracaso.

Referencias

- [1] Raineri, A. Administración del Cambio Organizacional en las Empresas Chilenas. Estudios de Administración. Pontificia Universidad Católica de Chile. Vol 8, N° 2, 2001. pp. 1-5.
- [2] Pérez, J., Ruíz, J., & Parra, C. Uso del Enfoque por Procesos en la Actividad Investigativa. Ingeniería Revista Chilena de Ingeniería. Vol. 2007. pp. 260-269.
- [3] Mirón, S., Martínez, J. La función de producción como fuente de competitividad en el entorno actual. Alta Dirección, 2004; XL (237). pp. 77-87.
- [4] Valero, E. Nuevas relaciones laborales en la industria automotriz colombiana. INNOVAR. Revista de Ciencias Administrativas y Sociales. N°23, enero – junio de 2004. pp. 98-100.
- [5] Peralta, W., & Mantilla, S. Modelo de gestión para la competitividad en proveedores del sector automotor Colombiano. XI Convención Iberoamericana de Excelencia en la Gestión. Abril 23. 2009, <http://www.ccalidad.org/Publicaciones/Convencion/SOFASA%20-%20MGC.pdf>[Consulta 23-04-2010].
- [6] DNP. Agenda Interna para la Productividad y la Competitividad. Documento sectorial, Cadena Autopartes – Automotor. Departamento Nacional de Planeación. 2007. pp. 19.
- [7] Andriani, C., Biasca, R., & Rodríguez, M. Un nuevo sistema de gestión para lograr Pymes de clase mundial. México. Norma. 2003. pp. xvi.
- [8] Chan, F. Using Simulation to predict system performance: a case study of an electro-phoretic deposition plant. Integrated Manufacturing Systems. Vol. 6. 1995. pp. 27-38.
- [9] Black, J., & Schroer, B. Simulation on an apparel assembly cell with walking workers and decouplers. Journal of Manufacturing Systems. Vol. 12. 1993. pp. 170-180.
- [10] Parra, C., Pérez, J., & Torres, D. Modelación y simulación computacional de un proceso productivo de una pequeña empresa usando dinámica de sistemas. Ingeniería & Desarrollo. Vol. 20. 2006. pp. 151-171.
- [11] Pérez, J. Mejoramiento de una línea de ensamble de asientos delanteros autopartistas usando simulación dinámica de sistemas. Revista Técnica de Ingeniería. Universidad de Zulia. Venezuela. Vol. 33, No 1. Marzo de 2010, pp. 11-20.
- [12] Law, M., & Kelton, D. Simulation modeling and analysis. Tercera Ed. The United State of America. McGraw-Hill. 2000, pp. 10-13.
- [13] Barcia, K. Uso del simulador Witness para determinar la eficacia de un sistema de eventos discretos de producción: caso de estudio del área de reparación de una compañía. en Revista Tecnológica ESPOL, Vol. 18, N. 1, 45-52, Octubre, 2005. pp. 46.
- [14] OIT, Kanaway, G. Introducción al estudio del trabajo. 4 Ed. Rev. México: Limusa. 2002. pp.522