

Improvement of an assembly process front seat to cars using system dynamics simulation

Jorge Pérez Rave y Carlos Parra Mesa

*Grupo Gestión de la Calidad, Departamento Ingeniería Industrial, Universidad de Antioquia.
Calle 67 N° 53-108, Bloque 21, oficina 404, Medellín, Colombia. Teléfono: 2195575.
ejipr056@udea.edu.co, cmparra@udea.edu.co*

Abstract

In this paper, a methodology to improve the assembly process front seat to cars is present. To improve this process the system dynamics simulation was used. The result of the assembly process in various experimental conditions was analyzed. Changes in workforce's quantity and distribution and in jobs integration were simulated. As results of this study, a simulation model that reasonably represents the dynamic behaviour of the process and two improvement strategies were obtained. The strategy first with an investment few was implemented. As result of this, the process's productivity in 12% was incremented and the personnel's idle time in 44% was reduced. The strategy second "Integration of workplaces" was dominate and bests results to can obtains.

Key words: System dynamics, modeling and simulation, assembly process, sector autoparts, continuous improvement.

Mejoramiento de una línea de ensamble de asientos delanteros autopartistas usando simulación dinámica de sistemas

Resumen

Este artículo presenta la metodología utilizada para mejorar la línea de ensamble de asientos delanteros de una empresa autopartista, llevado a cabo mediante simulación dinámica de sistemas. Con dicha técnica se analiza la respuesta de la línea ante escenarios que consideran modificaciones en la cantidad y la distribución del talento humano y en las operaciones. Como resultado se obtiene un modelo de simulación que representa razonablemente la línea y se identifican dos estrategias de mejora. La primera, ya implementada con inversión casi nula, aumenta la productividad de la línea en 12% y reduce su tiempo ocioso en 44%. La segunda, denominada "integración de centros de trabajo", rompe paradigmas de producción y permite obtener aún mayores beneficios. Dicha línea se convierte en la más productiva de la empresa.

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

1. Introducción

El acelerado debilitamiento de barreras entre naciones, el vertiginoso desarrollo tecnológico y el nuevo rol del consumidor, son algunas de las razones que justifican la declaración obligatoria

de inversión en investigación y desarrollo en toda unidad económica. Estas actividades, aplicadas a la solución de problemas del medio empresarial y de la sociedad, potencian la generación de innovación y el mejoramiento en dimensiones fundamentales, entre ellas: calidad, productividad y

oportunidad, para competir en igualdad de condiciones ante un entorno globalizado [1].

El sector automotriz, exigente en dichas dimensiones, no es ajeno a esta realidad, y más aún en empresas de ámbitos subdesarrollados, donde la brecha con unidades de clase mundial es aún más notoria. El sector automotor en Colombia lo integran principalmente tres empresas terminales y cerca de 150 proveedores [2], quienes arduamente han vivido procesos de cambio para reducir las amenazas y aprovechar las oportunidades que traen consigo las presiones de la globalización económica.

Ante la necesidad de mejoramiento que caracteriza al sector Autopartista Colombiano y teniendo presente que la estabilidad y el progreso socioeconómico de la nación depende, en gran parte, de la capacidad para generar riqueza por medio del mejoramiento de la productividad, la innovación y el desarrollo tecnológico del sector productivo [3, 4], es imperante propiciar homogeneidad en términos competitivos entre ensambladoras y autopartistas, pues al final, desde una mirada sistémica, esto puede verse como una cadena indivisible cuyo objetivo está en función de la satisfacción de clientes, empleados, accionistas, proveedores y sociedad en general [5].

Bajo esta mirada, en una empresa autopartista Colombiana se desarrolló un proyecto orientado a mejorar la productividad de una Línea de ensamble de asientos delanteros, mediante el diseño, desarrollo y puesta a punto de un modelo de simulación computacional, que represente adecuadamente la dinámica del sistema y permita analizar la respuesta del mismo ante diferentes escenarios de decisión.

El uso de la simulación dinámica de sistemas para abordar procesos empresariales es cada vez más frecuente y exitoso [6-8], pues permite considerar cantidad de variables, sus interrelaciones, la dinámica del proceso y propicia responder al interrogante ¿qué pasa si?, sin necesidad de experimentar en el entorno real.

Para generar estrategias que permitiesen aumentar la productividad de la línea de interés, se buscó responder a los siguientes interrogantes, sin saldar en ese entonces en el ámbito de la empresa: ¿cuáles son los tiempos de ciclo de los centros de trabajo?, ¿cuál es el tiempo tipo para

cada referencia de vehículo?, ¿cuáles son los cuellos de botella del proceso?, ¿cuál es el número de colaboradores necesario para cumplir con la demanda?, ¿cuál es la proporción de tiempo ocioso en cada centro?, ¿es conveniente, dependiendo del tipo de vehículo, manejar políticas de distribución de colaboradores en los centros de trabajo?, si es así, ¿cuáles conviene que sean estas políticas?. Igualmente, ¿es pertinente integrar o dividir operaciones?; de ser así, ¿cuáles y en qué centros?

Las preguntas planteadas introducen el término vehículo, que en adelante será empleado para facilitar la interpretación de los demás apartados, y hace referencia a dos asientos delanteros (izquierdo y derecho) de la línea objeto de interés, para un mismo vehículo.

2. Metodología

La metodología sigue 14 etapas, donde la mayoría hacen referencia a las sugeridas en [9] y [10], complementadas con otras de importancia en el contexto de la empresa. Todas se nombran a continuación: observación y conocimiento de la línea, concepción del modelo, formación de la Unidad de Gerenciamiento Táctico (UGT), planeación y desarrollo del trabajo de campo, resultados del trabajo de campo, construcción del modelo, validación del modelo, diseño de escenarios, simulación, resultados y análisis, validación, elección de mejores escenarios, implementación, documentación y socialización.

3. Desarrollo

3.1. Observación de la línea de ensamble

La línea objeto de estudio es tipo mezcla-producto y ensambla asientos delanteros para cinco tipos de vehículo, que se denotan por las letras A, B, C, D y E. Para el ensamble de dichos asientos, exceptuando el vehículo A, la materia prima fluye por ocho centros de trabajo: preensamble, ensamble, tapizado asiento, tapizado espaldar, vapor, ensamble final, inspección y empaque. El vehículo A no lleva preensamble. Actualmente la línea practica polivalencia y se labora en un turno de 10 horas con 19 colaboradores. Los momentos diarios de pausa programada

de la línea son: inicio y fin de turno: (10 min), pausas activas (20 min), almuerzo (25 min) y desayuno (15 min).

Las condiciones de trabajo no varían de lo normal, exceptuando para los centros: vapor y empaque; en el primero se experimenta mayor temperatura, y el segundo, mayor cansancio físico por cargue de sillas. Al momento del estudio, cada 7.6 minutos un vehículo (dos asientos delanteros) era demandado por el cliente.

3.2. Concepción del modelo

En la Figura 1 se presenta de manera general y a modo ilustrativo, sólo para dos centros de trabajo, la concepción del modelo de la línea de asientos delanteros.

A continuación se describen algunos de sus elementos: La demanda ingresa a unidades a producir, luego son atendidas en el centro de trabajo 1 y la velocidad de salida está en función de su tiempo de ciclo. Este depende de la proporción de suplementos asignados, del tiempo básico de la operación y de la cantidad de mano de obra directa (MOD). Una vez las unidades salen del centro 1 pueden hacer "cola" para el centro 2, dando lugar a "cuellos de botella". Cuando salen del centro 2, asumiendo el fin de la línea, van a producto terminado, quedando en espera a ser despachadas. El inventario de producto terminado

crecerá dependiendo del stock de seguridad, de las unidades producidas y de los despachos.

El tiempo ocioso de cada centro es afectado por el tiempo disponible de la jornada y del tiempo de producción. Ante una jornada constante de 600 minutos, y al incluir en los tiempos todos los suplementos necesarios (fatiga, actividades planeadas...), a menor lapso de producción, mayor será el ocio. Las variables y parámetros que resultan relevantes en el estudio se presentan en la Tabla 1.

El hecho, por ejemplo, de asignar/distribuir colaboradores en los centros de trabajo, más aún cuando pueden existir diferencias entre los tiempos de ciclo de un vehículo a otro y en el tipo de tareas que se desarrollan en cada estación, amerita tener presente a la hora de elegir escenarios de mejora, posibles consecuencias en diversas variables expuestas en la Tabla 1. Esto exige mucho más que utilizar una ecuación lineal, como comúnmente ocurre en procedimientos típicos de balanceo utilizados al interior empresarial, que luego, si dicha cantidad es decimal se recurre al redondeo, dejando de lado el impacto en otras variables de interés. Del mismo modo, son diversas las posibilidades de integrar/dividir tareas en cada estación, y esta necesidad puede cambiar dependiendo del instante en que se procese un determinado tipo de vehículo.

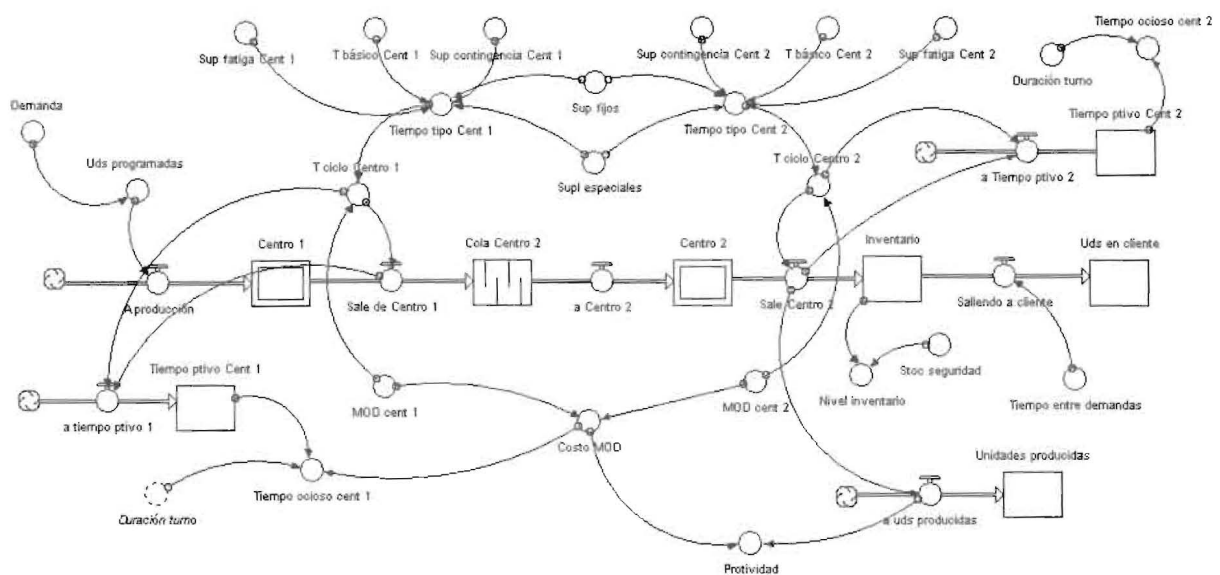


Figura 1. Concepción general del modelo, ilustración con dos centros de trabajo.

3.3. Planeación y desarrollo del trabajo de campo

Se plantea una estrategia de recolección de datos que propicie un balance entre el número de observaciones a realizar y los costos que ello implica para la empresa. Igualmente, que posibilite estimar, en cada centro, los tiempos de ciclo, así como explorar diferencias entre tipos de vehículo y entre lados de la silla. Así, para cada centro de trabajo se plantea un diseño anidado de dos etapas (Figura 2), con el lado de la silla anidado bajo el vehículo, puesto que cada lado es exclusivo para una referencia de vehículo.

Se incluye el factor jornada y el colaborador actuando como bloques para considerar otras posibles fuentes de variabilidad. Todos los factores son fijos; a su vez, el vehículo está incluido en un diseño factorial. Cada experimento tiene una réplica. Al realizar todas las experimentaciones se obtienen 80 datos para un mismo centro, los cuales se recolectan de manera aleatoria durante un periodo de dos meses. En la Tabla 2 se presentan los niveles para cada uno de los factores contemplados en el diseño.

La variable respuesta corresponde al tiempo de procesamiento (sin suplementos), en ade-

Tabla 1
Datos de entrada y de salida

Datos de entrada	Datos de salida
Cantidad de vehículos programados, por tipo.	Unidades producidas, totales y de cada tipo de vehículo.
Inventario de producto en proceso.	Cola en Centros de Trabajo (Cuellos de Botella).
Stock de seguridad de producto terminado.	Porcentaje de Tiempo Ocioso de MOD en los centros de trabajo.
Días laborables al mes.	Tiempo Ocioso al día.
Salario mensual del colaborador MOD de la línea.	Costo mensual del Tiempo Ocioso.
Duración de la jornada laboral.	Productividad.
Tiempo entre demandas.	Costo de MOD/vehículo.
Tiempos básicos de las operaciones según tipo de vehículo (no incluye suplementos).	Porcentaje de Cumplimiento de la Producción.
Suplementos (fatiga, necesidades personales, especiales, por contingencia).	Número de Colaboradores (MOD).
Número de colaboradores en cada centro de trabajo.	Costo mes de MOD.
	Inventario de producto terminado.

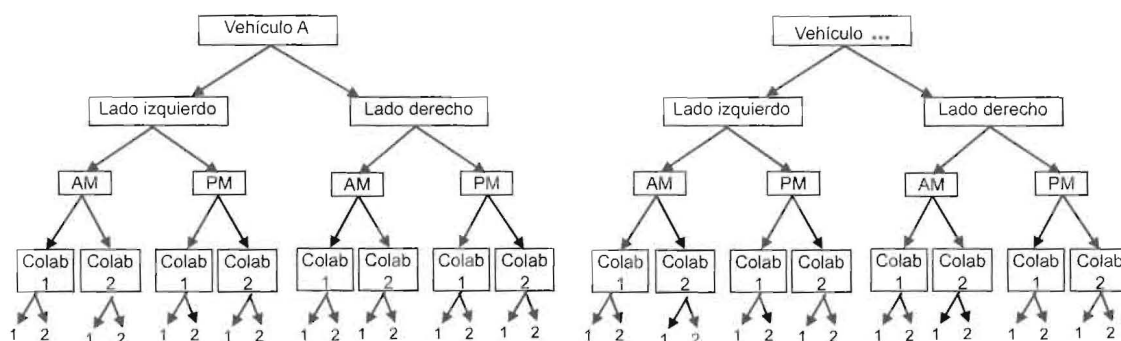


Figura 2. Diseño anidado de dos etapas para cada centro de trabajo.

lante llamado "tiempo básico", que se tarda un colaborador calificado y a ritmo normal en procesar una unidad de vehículo (dos asientos de la línea) en un determinado centro. Así mismo, en cada centro de trabajo, por cada tipo de vehículo, se recolectan 16 observaciones del tiempo básico.

Para concluir, a través del software el Statgraphics 5.1 se recurre al Análisis de Varianza [11], el cual amerita cumplir diversos supuestos, entre ellos: distribución normal del error con media cero y varianza constante, por lo que, luego se procede con las validaciones debidas. Seguido, a los tiempos básicos estimados se les cargan suplementos: especiales, fijos, variables por fatiga (apo-

yados en un cuestionario adaptado de [12]), contingencia y casuales. El trabajo de campo fue realizado entre el 21 de enero y el 21 de marzo de 2008.

3.4. Resultados del trabajo de campo

Mediante Análisis de Varianza, con significancia de 0.05, en todas las estaciones exceptuando empaque se identificó, respecto al lado de la silla, diferencias significativas en el tiempo de cada vehículo; con base en pruebas de bondad y ajuste, así como gráficas de residuales versus valores predichos, entre otras, fueron probados los supuestos requeridos para este análisis. En la Figura 3 se muestran los tiempos de ciclo, los cua-

Tabla 2
Niveles de los factores

Factores	Cantidad	Descripción
Tipo de vehículo	5	A,B,C,D y E
Lado del asiento (vehículo)	2	Izquierdo, derecho
Jornada	2	Mañana (AM), tarde (PM)
Colaborador	2	Dos colaboradores fijos en cada centro de trabajo

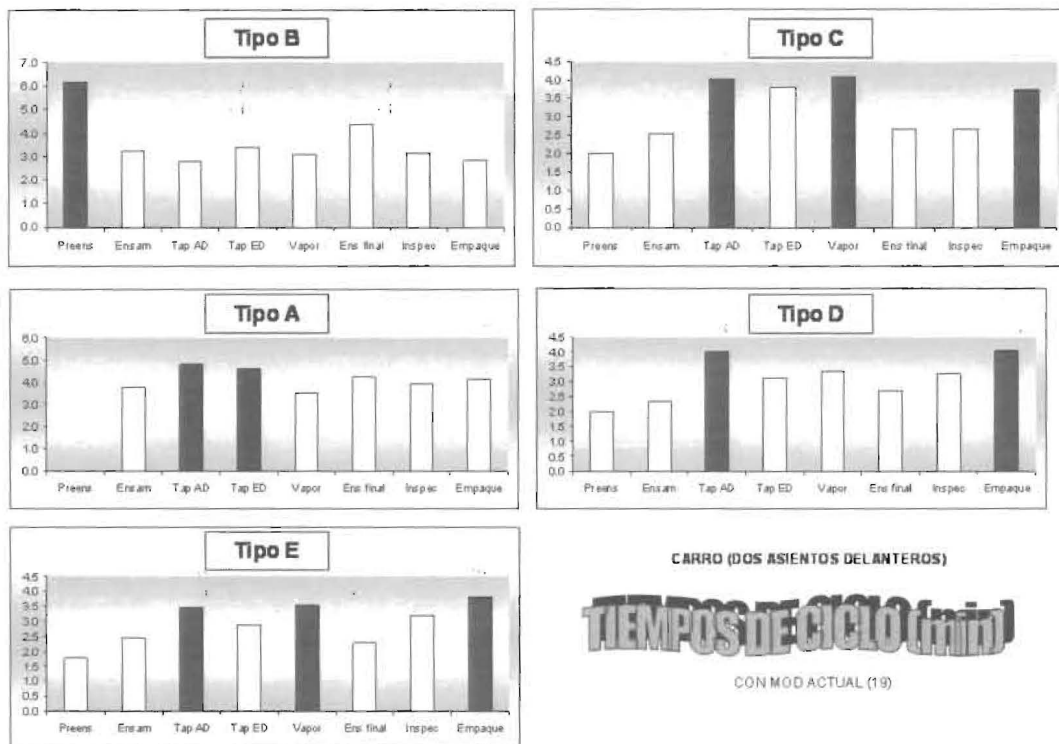


Figura 3. Tiempos de ciclo en los centros de trabajo, según el tipo de vehículo a producir.

les consideran la actual cantidad de colaboradores en cada centro y establecen así su capacidad de producción. También, se resaltan los cuellos de botella según el vehículo. Se nota variedad de comportamientos del proceso dependiendo del vehículo a ensamblar.

3.5. Construcción del modelo

El modelo se construyó en Ithink 8.1 y puede resumirse en conglomerados de: datos de entrada, flujo de asientos, tiempos de ciclo, productos terminados y tiempo ocioso. En la Figura 4 se muestra una pequeña parte del modelo desarrollado, pues para abordar todos los elementos y sus interrelaciones fueron requeridas 32 páginas.

En la Figura 5 se muestra el menú principal donde el usuario procede, de una manera más "amigable", a modificar las variables/parámetros

de entrada, y de la misma manera, a observar la respuesta del sistema.

3.6. Validación del modelo

El modelo se sometió a prueba para los escenarios: enero, febrero y marzo de 2008. En cada uno se tuvo variaciones en: demanda, cadencia diaria por vehículo, días laborables y MOD. Aparte, se llevó a cabo una prueba real en la planta de producción. Al final, todas las respuestas del sistema ante los diferentes escenarios fueron acordes con los comportamientos reales de la línea, deduciendo una representación adecuada del sistema.

3.7. Diseño de los escenarios de experimentación

La planeación consideró los siguientes aspectos: balancear la línea dependiendo del tipo

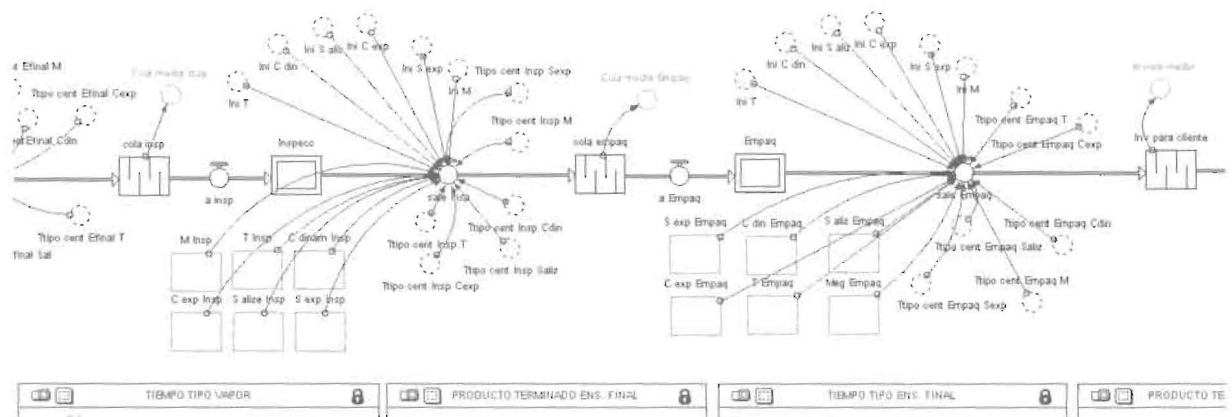


Figura 4. Extracto del modelo de simulación.



Figura 5. Menú principal del modelo de simulación.

de vehículo que por allí pase, modificaciones de MOD teniendo presente el Tack Time para una demanda de 134 carros con 600 minutos de jornada, lotes de un mismo vehículo, demanda de marzo de 2008: 12 vehículos tipo A, 44 de B, 38 tipo C, 21 tipo D y 19 de referencia E. Como colchón de capacidad se adicionó 3.7% a los tiempos de ciclo, pues bajo información de director de planta y de jefes de: calidad, producción, talento humano y logística, 22 minutos diarios era como mucho la muda de espera en cada estación, debido a situaciones de pausas no programadas más típicas de la línea.

Se consideraron dos tipos de escenarios, uno basado en condiciones típicas de operación de la línea y otro que implica ruptura de paradigmas de producción, que considera reestructuración de operaciones para los centros de trabajo,

ameritando cambios en layout. En la Tabla 3 se presentan los primeros escenarios de interés, que incluyen modificaciones en Mano de Obra Directa respecto a la política actual. "0" indica que no hubo cambios en la MOD, "+1" se refiere al incremento de un colaborador y "-1", disminución de un colaborador.

Después de analizar similitudes en cuellos de botella y en tiempos, el vehículo tipo C representa razonablemente a los tipos D y E. Otro escenario fue denominado "Integración de centros de trabajo" (Tabla 4). En este se unifican operaciones, reduciendo la cantidad de centros de trabajo.

3.8. Resultados de la simulación

Se encontró gran oportunidad de mejora con el escenario de integración de centros (Tabla 4), trabajando bajo las siguientes configura-

Tabla 3
Primeros escenarios de experimentación

Carro	Configuración	Preens	Ensan	Tap AD	Tap ED	Vapor	Ens final	Inspec	Empaque	Total MOD
Todos	Escenario Inicial	0	0	0	0	0	0	0	0	19
Tipo C	Escenario 1	-1	-1	0	0	+1	0	0	0	18
	Escenario 2	-1	-1	0	0	0	0	0	0	17
Tipo A	Escenario 1	-2	0	0	+1	0	0	0	0	18
	Escenario 2	-2	0	0	0	0	0	0	0	17
Tipo B	Escenario 1	+1	-1	-1	0	0	0	0	0	18
	Escenario 2	+1	-1	-1	0	-1	0	0	0	17
Todos	Escenario 1	0	-1	0	0	0	0	0	0	18

Tabla 4
Escenario de integración de centros de trabajo

Vehículo	Tipo A		Tipo C		Tipo B	
Escenario	1	2	1	2	1	2
Ensamble	4	4	4	3	6	6
Tapizado	7	6	6	6	5	4
Vapor y ensamble final	4	4	5	5	4	4
Inspección y almacenaje	2	2	2	2	2	2
Total MOD	17	16	17	16	17	16

ciones de MOD según el tipo de vehículo a procesar: Tipo A (4, 6, 4, 2), tipo B (6, 4, 4, 2) y los demás (3, 6, 5, 2). Respecto a la situación inicial de la línea, esta política permite incrementar la productividad en 19%, reducir el tiempo ocioso en 77% y disminuir los costos de mano de obra en 16%, obteniendo anualmente importantes ahorros monetarios. La Figura 6 ofrece el tiempo ocioso de la línea, antes y después de que se opere bajo dicho escenario.

3.9. Validación en planta

El sábado 12 de abril de 2008 se llevó a cabo en la planta de producción, una corrida con el 56% de la demanda diaria real del citado mes, trabajando bajo configuraciones de colaboradores en los centros de trabajo dependiendo del vehículo. En ella se implementó en piso otro de los escenarios planteados (Tabla 5), que si bien, no fue el de mejor respuesta encontrada, sí permite mejores resultados que los actuales con una inversión prácticamente nula y sin cambios en el layout de la línea.

La prueba fue exitosa, la línea mostró un comportamiento equivalente al arrojado por la simulación en cuanto a tiempos de salida de

vehículos, cuellos de botella, producto en proceso, balanceo durante cambios de referencias y configuraciones, y capacidad de los centros de trabajo. Esta prueba estuvo antecedida por capacitación de los colaboradores. Así entonces, de manera inmediata y con una inversión prácticamente despreciable, se logra aumentar la productividad en 12% y reducir el tiempo ocioso en 44%.

3.10. Escenarios a implementar

De manera inmediata la empresa adoptó la estrategia presentada en la Tabla 5, que con una mesa más para el centro de preensamble y algunas herramientas económicas, la línea se hace más productiva. Luego, se comenzó a trabajar en la estrategia de integración de centros de trabajo (Tabla 4), conformando para ello un equipo interdisciplinario.

4. Conclusiones

El estudio evidencia la pertinencia de la investigación aplicada, desde la academia y particularmente con el uso de la simulación dinámica de sistemas, como medio para contribuir sustancialmente a la solución de problemas reales del

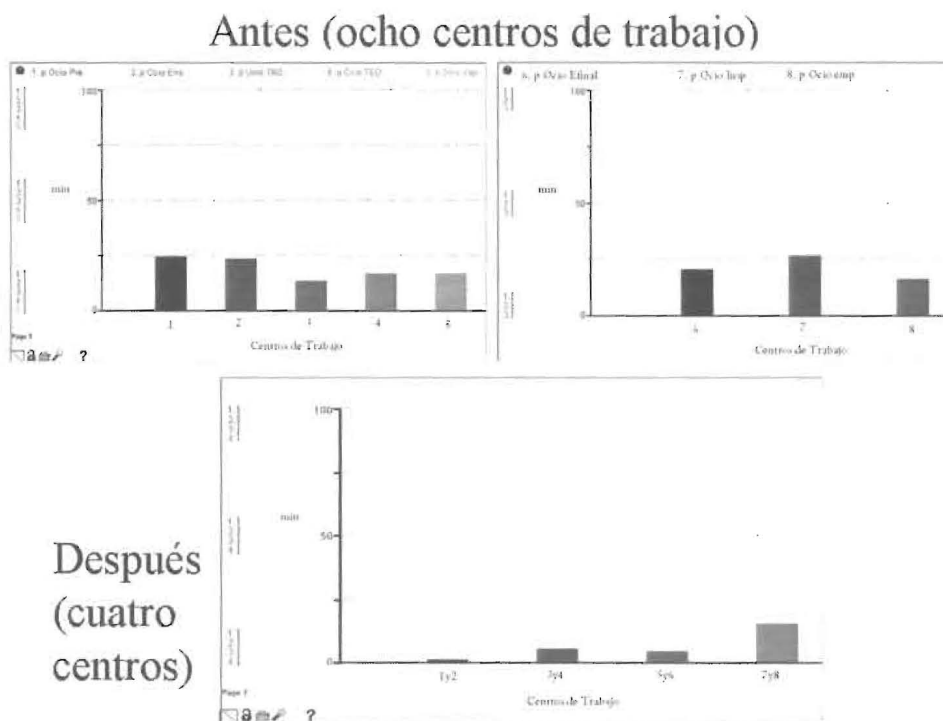


Figura 6. Tiempo ocioso en minutos, antes y después de integración de centros.

Tabla 5
Configuraciones de MOD estrategia corto plazo

Vehículo	Tipo A	Tipo B	Otros
Preensamble	0	3	1
Ensamble	4	3	3
Tapizado asiento	3	2	3
Tapizado espalda	3	3	3
Vapor	3	2	3
Ensamble final	1	1	1
Inspección	2	2	2
Empaque	1	1	1
Total MOD	17	17	17

sector empresarial, que limitan la homogeneidad en términos competitivos con empresas de países más desarrollados; este tipo de investigación posibilita además, que docentes y estudiantes se familiaricen con reales necesidades empresariales, a fin de orientaciones mucho más eficaces en los procesos de enseñanza-aprendizaje, que redunden en mayor capacidad de los titulados para aportar al progreso empresarial.

El modelo de simulación desarrollado ha permitido, para cada uno de los escenarios abordados, caracterizar el comportamiento dinámico de la línea de ensamble en términos de diversas variables de interés empresarial, entre ellas: tiempos de ciclo, cuellos de botella, productividad, costos y porcentajes de tiempo ocioso. Igualmente, ha posibilitado determinar el número de trabajadores requeridos para cumplir con las unidades demandas. Del mismo modo, el estudio ha corroborado la pertinencia de, en casos, manejar políticas de redistribución de personal con esquemas flexibles dependiendo del tipo de referencia a procesar, así como de integración de operaciones en lugar de recurrir a la típica división del trabajo.

Se le ofrecen a la empresa dos escenarios de mejoramiento, uno para corto plazo y otro que exige mayor preparación para su despliegue en piso. El primero de ellos es implementado de manera inmediata y está basado en redistribución de la mano de obra, el cual, con inversión casi

nula, permite aumentar la productividad de la línea en 12% y reducir su tiempo ocioso en 44%. El segundo escenario, con proyección a mediano plazo, aparte de redistribución de mano de obra, contempla políticas de integración de operaciones, pasando de ocho centros de trabajo sólo a cuatro, lo cual lleva a que la empresa rompa paradigmas tradicionales de producción enmarcados en la típica división del trabajo. Este nuevo escenario ofrece un impacto mucho más significativo en costos de producción, espacios, productividad y tiempo ocioso, permitiendo que la línea, antes considerada como la menos productiva de la empresa objeto de intervención, lidere el avance hacia mejores estándares de desempeño.

Para la implementación del segundo escenario se sugiere conformar un equipo con participación de: Producción, Logística, Ingeniería, Talento Humano y Calidad, con apoyo de la Alta dirección, que planea y coordina el despliegue según las políticas de redistribución y de integración de centros sugeridas por el equipo investigador (Tipo A (4, 6, 4, 2), tipo B (6, 4, 4, 2) y los demás (3, 6, 5, 2)).

Agradecimientos

Los autores agradecen a los estudiantes Isabel Montoya, Andrea Velásquez, Fabián Bermúdez, Héctor Espinosa y Andrés Sora, Unidad de Gerenciamiento Táctico.

Referencias

1. Pérez J., Ruiz J., Parra C. Uso del Enfoque por procesos en la actividad investigativa. *Ingeniare Revista Chilena de Ingeniería*. Vol. 15. N°3. Septiembre 2007. pp. 260-269.
2. Valero E. Nuevas relaciones laborales en la industria automotriz Colombiana. *INNOVAR, Revista de ciencias administrativas y sociales*. No. 23, enero-junio de 2004. pp. 98.
3. DNP. Agenda interna para la productividad y la competitividad. Documento sectorial, Cadena Autopartes-Automotor. Departamento Nacional de Planeación. Bogotá, octubre de 2007. pp. 19.
4. Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010. Estado Comunitario: Desarrollo para todos. Capítulo 4. www.dpn.gov.co.
5. Andriani C., Biasca R. y Rodríguez M. Un nuevo sistema de gestión para lograr PYMES de clase mundial. México. Norma, 1ª edición. 2003. pp. xvi.
6. Chan F. Using simulation to predict system performance: a case study of an electrophoretic deposition plant. *Integrated Manufacturing Systems*, vol. 6. 1995. pp. 27-38.
7. Black J. and Schroer B. Simulation on an apparel assembly cell with walking workers and decouplers. *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 12. 1993. pp. 170-180.
8. Parra C, Pérez J. y Torres D. Modelación y simulación computacional de un proceso productivo de una pequeña empresa usando dinámica de sistemas. *Ingeniería & Desarrollo*. Vol. 20 Julio-Diciembre. 2006. pp. 151-171.
9. Law A., Kelton W. *Simulation Modeling and Analysis*. McGraw-Hill Series in Industrial Engineering and Management Science. 1982. xiv + 400 p.
10. Pegden C., Shannon R., and Sadowski R. *Introduction to Simulation Using SIMAN*. Highstown, New Jersey. 1990.
11. Montgomery D. *Diseño y Análisis de Experimentos*. Editorial Limusa, S.A de CV. México D.F. 2004. 686 p.
12. OIT y Kanawaty G. *Introducción al estudio del trabajo*. 4. ed. Rev. México: Limusa, 2002. 522 p.

Recibido el 6 de Diciembre de 2008

En forma revisada el 19 de Octubre de 2009