

APLICACIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN DISCRETA EN EL SECTOR DEL SERVICIO AUTOMOTOR

A DISCRETE SIMULATION MODEL APPLICATED
IN THE AUTOMOTIVE SERVICE SECTOR



Julián Andrés Ceballos Carillos

Facultad de Ingeniería Industrial
Universidad Pontificia Bolivariana
julian.ceballos@alfa.upb.edu.co



Javier Darío Fernández Ledesma

Facultad de Ingeniería Industrial
Universidad Pontificia Bolivariana
javier.fernandez@upb.edu.co



Eyder Daniel Restrepo Núñez

Facultad de Ingeniería Industrial
Universidad Pontificia Bolivariana
daniel.restrepo@alfa.upb.edu.co



En este documento se proponen una serie de pasos para construir un modelo de simulación debido a que la mayoría de las compañías actualmente piensan que la simulación es un elemento aislado con respecto a los modelos actualmente usados para mejorar y resolver problemas en el campo de la manufactura. Se estudió la iniciativa de construir un modelo que integre la simulación con las bases de la administración de proyectos y en la experiencia adquirida durante la implementación de un modelo de simulación discreta y en diferentes referentes teóricos previamente consultados.

En este trabajo se presentan nueve etapas para construir un modelo de simulación orientado a cualquiera que quiera desarrollar un proyecto bajo el rigor de una investigación apropiada y mejores posibilidades de éxito para alcanzar resultado positivo bajo la premisa de eficiencia, economía y seguridad.

PALABRAS CLAVES

Discreta, Modelo, Simulación.

RESUMEN

ABSTRACT

In this paper we propose a series of steps to build a simulation model, because most companies actually think that simulation is an isolated element with respect to the models currently used to improve and solve problems in the field of manufacturing. We studied the initiative to build a model that integrates the simulation with the basis of the project management and the experience gained during the implementation of a discrete simulation model and in different theoretical framework previously consulted. In this paper, nine stages are executed to build a simulation model aimed at anyone who wants to develop a project under the rigor of a proper research and to get a better chance of success to achieve positive results on the premise of efficiency, economy and security.

KEY WORDS

Discrete, Model, Simulation



Introducción

El actual entorno globalizado y altamente competitivo impone que hoy nuestras industrias se vean enfrentadas principalmente a tres grandes retos: la optimización de recursos y procesos, la reducción de los costos y la disminución de los riesgos. Es aquí donde las nuevas técnicas de simulación permiten alcanzar en gran medida estos objetivos a través de la experimentación y análisis de escenarios visualizados donde se pueda conocer el comportamiento de las variables en el tiempo, realizar modificaciones experimentales de los parámetros del sistema y conocer las estadísticas e indicadores para tomar decisiones basadas en información exacta y oportuna.

La simulación surge de la evolución del método de Montecarlo y la aplicación de modelos estadísticos y matemáticos por medio de herramientas informáticas, principalmente la computadora. En 1948 con el trabajo de Harris y Herman Kahn se inicia el estudio de la simulación como campo de conocimiento; estos sistematizaron las primeras técnicas de simulación que hoy en día se han venido aplicando en diferentes entornos. [1]

Desde los años 70 la educación de la simulación ha venido ganando especial atención debido a la creciente aceptación de la modelación y la simulación (M&S) a través de las diferentes disciplinas de la ciencia y sus variadas aplicaciones tales como la industria militar, producción y servicios. [2]

Ante el auge alcanzado por las herramientas, modelos y casos de aplicación surge la iniciativa de construir un modelo basado en la experiencia adquirida durante la aplicación de la simulación en un entorno específico, con el cual se busca facilitar la utilización de la simulación en la industria y otros campos de aplicación. En la segunda sección se muestran los antecedentes conceptuales e investigativos del proyecto, en la tercera sección se muestran los elementos desarrollados en el proyecto, en la cuarta sección se muestra el caso práctico de aplicación y por último, se presentan las conclusiones y futuros trabajos que dan pie a ser abordados posteriormente.

Antecedentes conceptuales e investigativos

Una de las definiciones más aceptadas de simulación fue dada por uno de los pioneros de la simulación Tomas H. Naylor quien la define así: "La simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos periodos de tiempo" [4]. De igual manera H. Maisel y G. Grugnoli definen la simulación como "Una técnica numérica para realizar experimentos en una computadora digital. Estos experimentos involucran ciertos tipos de modelos matemáticos y lógicos que describen el comportamiento de sistemas de negocios, económicos, sociales, biológicos, físicos o químicos a través de largos periodos de tiempo". Otro estudioso del tema Robert E. Shannon, define por su parte, simulación como "El proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo, con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuáles se puede operar el sistema."

Es importante aclarar que ninguno de los autores que definió la simulación anteriormente nombra la simulación de eventos discretos, la cual es el foco de este trabajo. García Dunna en su texto Simulación y análisis de sistemas con Promodel define la simulación de eventos discretos como: "El conjunto de relaciones lógicas, matemáticas y probabilísticas que integran el comportamiento de un sistema bajo estudio, cuando se presenta un evento determinado." [5].

Ahora bien, un sistema es un conjunto de elementos interrelacionados que funcionan para lograr un propósito definido; en términos de la simulación, los sistemas se pueden dividir en elementos importantes para la construcción de un modelo de simulación.



Simular un sistema entonces significa imitar un procedimiento que se aproxima al comportamiento real. Para la simulación, el sistema depende principalmente del objetivo de estudio.

Es así como las entidades del sistema vienen a constituirse en la representación de los flujos de entrada y salida de un modelo de simulación. Este es uno de los elementos más importantes dentro de un modelo. Las entidades son las responsables de los cambios dentro del sistema, estas son sometidas a actividades y/o procesos a través del tiempo, causando la variación del estado del sistema.

El estado del sistema se define entonces como la colección de indicadores necesarios para describir la condición de este en un momento determinado. Estos indicadores deben ser congruentes con el objetivo de estudio, algunos autores lo asemejan a una fotografía del sistema.

Es así como los sistemas discretos, que son el objeto de nuestro trabajo, son aquellos donde las variables de estado cambian en momentos de tiempo discretos establecidos. Estos sistemas se rigen por ecuaciones lógicas (condiciones) para que un evento ocurra, como por ejemplo inspeccionar la calidad de un proceso una vez cada dos horas. Los sistemas de eventos discretos tienen como principal característica que están determinados por una secuencia de eventos que ocurren en puntos temporales aleatorios, generando el cambio de estado del sistema en estos puntos, como por ejemplo la llegada de clientes a la fila de un banco.

Finalmente, los sistemas continuos, son aquellos que pueden ser descrito a través de un sistema de ecuaciones diferenciales, tal como puede ser la variabilidad de flujo de un líquido que pasa por una tubería, el cual es medido continuamente en un periodo de tiempo. Este tipo de sistemas es considerado el más complejo debido a que estos sistemas se rigen por el cálculo diferencial.

Después de realizar una revisión bibliográfica de metodologías de simulación [6], [7], [8], [9] y [10], y un posterior análisis, se ha logrado desarrollar un

modelo de simulación aplicado en una empresa del sector servicios.

Propuesta metodológica

Después de un acercamiento a las medianas y pequeñas industrias locales se percibió que la aplicación de la simulación es concebida por parte de las compañías como una técnica aislada con respecto a los modelos convencionalmente utilizados en la mejora y solución de problemas en los procesos de manufactura y/o servicios.

Algunos datos publicados por la Asociación Colombiana de las micro, pequeñas y medianas empresas (ACOPI) en el año 2009, revelan la necesidad de incorporar alternativas tecnológicas y técnicas innovadoras, que se podrían traducir en una técnica como la simulación para que las pequeñas y medianas empresas (PYMES) en Colombia sobrepasen las dificultades competitivas que impiden la participación en mercados internacionales. Esto debido a que según las estadísticas manejadas por dicha asociación, el panorama es preocupante, pues las PYMES están atrasadas, ya que su nivel de productividad no llega al tope de lo que debería ser una empresa normal. En Colombia estas alcanzan apenas el 25%. [3]

Esto evidencia que hay falencias en la aplicación de técnicas que contribuyan al mejor desempeño de la productividad y en especial el desconocimiento de la simulación en los entornos empresariales como una forma de contribuir en el mejoramiento de la productividad y competitividad de las pequeñas y medianas empresas.

En este sentido, este proyecto, fundamentado en la aplicación del ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar y Actuar), y en los pasos más generales para la construcción de modelos de simulación discreta, busca dar solución al problema anteriormente planteado.

Las siguientes nueve etapas comprenden de manera integral los aspectos más importantes para llevar a cabo un proyecto de simulación válido y con altas posibilidades de éxito.



Planeación general del proyecto y formulación del problema

En esta etapa se pretende definir la dirección del proyecto en términos de: identificar los requisitos; establecer unos objetivos claros y posibles de realizar; equilibrar las demandas concurrentes de calidad, alcance, tiempo y costos; adaptar las especificaciones, los planes y el enfoque a las diversas inquietudes y expectativas de los diferentes interesados.

De la formulación del problema se derivan las demás actividades del proyecto. Es aquí donde se comienza a establecer el tema central y el alcance del proyecto. En esta primera etapa se recomienda tener en cuenta los siguientes aspectos para su implementación: presentación de los parámetros generales para iniciar adecuadamente el proyecto, trabajo en el problema correcto, gestión de las expectativas del cliente, planteamiento de preguntas habilidosamente, escucha imparcial, comunicación abierta y predicción de la solución.

Conceptualización del problema

Para esta segunda etapa se recomienda trabajar bajo el modelo mental del pensamiento sistémico con el objetivo de hacer uso de esta herramienta que permite analizar las problemáticas desde todos los elementos que componen un sistema, sin dejarse perturbar por soluciones dirigidas a atacar los síntomas. Este modelo de pensamiento trasciende el marco conceptual y genera relaciones directas de los fenómenos reales modelados a través de los conceptos. Por medio de la socialización del grupo de trabajo y el cliente, es posible determinar la relación de las variables del problema a analizar, para posteriormente partir de estas relaciones e ilustrar su interacción mediante un diagrama causal.

Recolección de los datos

La gestión de datos es un tema crítico dentro del desarrollo de un estudio de simulación. Se puede

decir que el aspecto más difícil es recoger suficientes datos con la calidad, cantidad y variedad conveniente para el análisis en el estudio en donde es importante detallar algunos aspectos. Se debe recalcar que en algunos casos es imposible o poco factible dicha recolección, o a veces no se tiene ni el tiempo ni el suficiente recurso humano para reunir la cantidad deseada. En ocasiones y en contraste con la estadística clásica, resulta difícil seguir la forma sistémica o ideal que se propone para la recolección de datos, y se debe emplear una forma más hábil o simplemente encontrar las fuentes de datos que suplan las necesidades para la modelación. Algunas recomendaciones útiles en el momento de recolectar datos específicamente para un estudio de simulación son:

- Si existe la posibilidad, tomar entre 100 y 200 observaciones, pues esto mejorará enormemente la veracidad del análisis, se puede decir que el decrecimiento en la calidad del análisis con una pequeña muestra, es notable.
- Para observación de valores reales, intentar tomar al menos dos o tres cifras significativas, esto mejorará la precisión del modelo y por ende la calidad del análisis.
- Cuando se está interesado en tiempos entre eventos, se sugiere tomar primero todos los tiempos y luego sustraer la información de los eventos deseados, ya sea manualmente o con un software que facilite esta labor.
- Cuando es necesario emplear datos históricos, es recomendable buscar los datos de diferentes periodos, para evitar trabajar con datos estacionarios.

Construcción del modelo

Un modelo de simulación es construido usando la conceptualización del problema establecida anteriormente. En este punto es necesario definir el software de simulación que se utilizará para construir el modelo. Para ayudar en la tarea de construir el modelo se considera seguir las siguientes directrices:



- Enfocarse en el problema
- Empezar desde lo más simple
- Reducir la complejidad
- Mantener el entusiasmo
- Revisar permanentemente el modelo

Validación del modelo

La verificación, en pocas palabras, se encarga de que el modelo se construya correctamente, y evita que las transformaciones que este sufre a través de su desarrollo tergiversen la realidad que se quiere representar, para lo que se recomienda el uso del diagrama de flujo. La validación se encarga de que se construya el modelo adecuado, es decir, que el modelo que se realice esté enmarcado en los objetivos del estudio y dentro del dominio y comportamiento aplicable. Por último, la prueba o evaluación del modelo se encarga de examinar si existe algún tipo de error o inexactitud en el modelo, poniéndolo a prueba con datos o en situaciones conocidas y observando cómo es su comportamiento.

Diseño experimental

En esta etapa se deben plantear los escenarios a simular para obtener las estadísticas que serán analizadas, teniendo en cuenta que estos experimentos deben estudiar propuestas que contribuyan a conocer el sistema, permitiendo así comprobar hipótesis establecidas a lo largo del proyecto. Para cada escenario se debe determinar: duración de la corrida; número de corridas y modo de inicialización del modelo.

Simulación y análisis

El objetivo de correr el modelo de simulación es sacar conclusiones de los resultados que este experimento arroja. Siempre se debe tener en cuenta que estas conclusiones tienen que estar

relacionadas con los objetivos formulados desde el principio del estudio. Para realizar lo anterior se recomienda: hacer correr al modelo; cuestionar los resultados que arroja la simulación; entender los límites del modelo; saber cuándo parar; presentar una alternativa y transferir el éxito.

Documentación y reporte

Los modelos de simulación son construidos para ser utilizados, y a través de su uso los modelos evolucionan. Teniendo una documentación completa del modelo y del proyecto se facilitan los requisitos de información para apoyar el uso continuo del modelo y permite mantener informado al cliente de las actividades realizadas de manera cronológica, lo que a su vez permite que este sea entendido y se mantenga el entusiasmo del proyecto. El documento debe proporcionar un registro exhaustivo de los logros, problemas, las solicitudes de cambio, las decisiones claves, las ideas para incorporar, y cualquier información considerada relevante.

Implementación

Un proyecto es verdaderamente exitoso cuando el cliente decide implementar o actuar según la alternativa que el equipo de trabajo le presentó después de desarrollar todo el estudio.

Como se dijo anteriormente esta metodología está fundamentada en el ciclo PHVA. Los pasos están definidos en cada una de estas etapas, donde es necesario establecer recursos, actividades y estrategias de mejoramiento asociados a cada uno de los elementos con el fin de alcanzar metas establecidas.



TABLA N.1 ESQUEMA DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA SIMULACIÓN ENMARCADA EN EL CICLO PHVA

ETAPAS DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA ENMARCADA EN EL CICLO PHVA	
PLANEAR	<ul style="list-style-type: none"> Planeación general del proyecto y formulación del problema. Conceptualizar el problema.
HACER	<ul style="list-style-type: none"> Recolectar los datos. Construir el modelo. Diseñar el experimento. Simular y analizar. Documentar y reportar.
VERIFICAR	<ul style="list-style-type: none"> Validación, verificación y prueba del modelo.
APLICAR	<ul style="list-style-type: none"> Implementar.

Fuente: Autores

Caso de estudio

Con el objetivo de ejemplificar y enmarcar la realización de un modelo de simulación en la industria, se siguen cada uno de los pasos de la metodología planteada en el siguiente caso de aplicación en el sector de servicios automotriz.

FIGURA 1: MODELO DE SIMULACIÓN



Fuente: autores



También con el fin de ilustrar el diseño y desarrollo de un proyecto de simulación, se presenta la definición de variables, e identificación de locaciones, entidades, rutas y tiempos de operación del modelo simplificado. Allí se analiza el comportamiento de las variables con información histórica y actual, y además se implementa el diseño y desarrollo de la simulación del modelo para dicha empresa en el software ProModel.

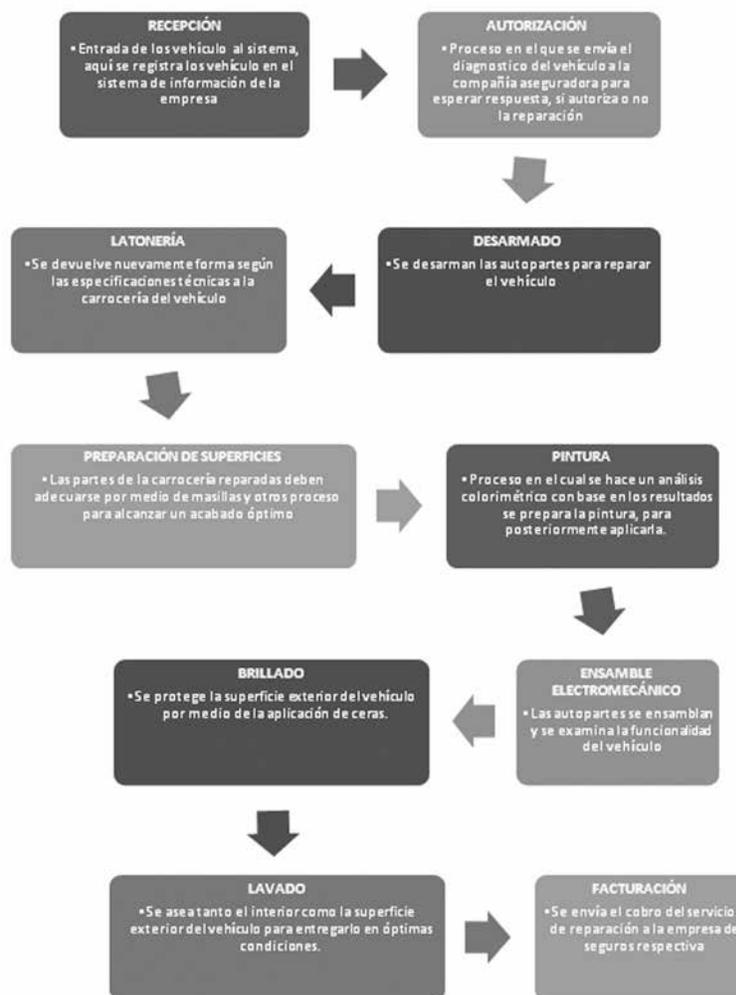
La implementación de la metodología propuesta se llevó a cabo siguiendo las etapas de planeación general del proyecto y formulación del problema; conceptualización del modelo de reparación de vehículos; recolección de los datos del sistema de reparación de vehículos; construcción del modelo

de simulación; verificación, validación y prueba del modelo; diseño experimental del modelo; simulación y análisis; documentación y reporte, e implementación

Debido a que el modelo debía ser simplificado se consideró en consenso con el cliente que el proceso más apropiado para simular era el de los vehículos que ingresaban por aseguradoras, pues este es uno de los clientes más críticos, ya que se presentan algunas dificultades en el tipo de proceso debido a las condiciones que presentan las aseguradoras para reparaciones y otros aspectos relevantes.

El proceso simulado fue el siguiente:

FIGURA 2: PROCESO A SIMULAR DE EUROAUTOS LTDA.



Fuente: autores



Del cual se determinaron las entidades de estudio, las locaciones claves, la declaración de variables, las adecuaciones necesarias para hacer un modelo simplificado, y la definición de supuestos, quedando un modelo con once (11) locaciones, veintinueve (29) supuestos, veintitrés (23) varia-

bles y dos (2) limitaciones. Las variables del modelo fueron validadas estadísticamente mediante el software Statgraphics y el modelo se desarrolló usando el software Promodel.

Este modelo arrojó los siguientes resultados:

FIGURA 3: RESULTADOS DEL MODELO DE SIMULACIÓN

LOCATIONS									
Location Name	Scheduled Hours	Capacity	Total Entries	Average Minutes Per Entry	Average Contents	Maximum Contents	Current Contents	% util	
Llegada	396	3	14	0.00	0	1	0	0.00	
Recepción	396	1	14	30.87	0.01	1	0	1.82	
Cola espera autorización	396	2	15	1034.80	0.66	2	0	33.30	
Cola espera para latonería	396	2	15	65.16	0.04	1	0	2.06	
Preparación de superficies	396	1	16	468.33	0.31	1	0	31.54	
Desarmado	396	1	15	61.71	0.03	1	0	3.90	
Latonería	396	1	16	450.55	0.30	1	0	30.24	
Cabina de Pintura	396	1	16	106.94	0.07	1	0	7.20	
Brillado	396	1	16	48.27	0.03	1	0	3.25	
Lavado	396	1	16	27.77	0.01	1	0	1.87	
Armado	396	1	16	95.36	0.06	1	0	6.42	

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Multiple Capacity)						
Location Name	Scheduled Hours	% Empty	% Partially Occupied	% Full	% Down	
Llegada	396	100.00	0.00	0.00	0.00	
Cola espera autorización	396	49.97	33.47	16.56	0.00	
Cola espera para latonería	396	95.89	4.11	0.00	0.00	

LOCATION STATES BY PERCENTAGE (Single Capacity/Tanks)							
Location Name	Scheduled Hours	% Operation	% Setup	% Idle	% waiting	% Blocked	% Down
Recepción	396	1.25	0.00	94.54	0.00	0.57	3.64
Preparación de superficies	396	31.42	0.00	61.64	0.12	0.00	6.82
Desarmado	396	3.90	0.00	93.07	0.00	0.00	3.03
Latonería	396	30.34	0.00	59.05	0.00	0.00	10.61
Cabina de Pintura	396	7.20	0.00	75.83	0.00	0.00	16.97
Brillado	396	3.25	0.00	77.66	0.00	0.00	19.09
Lavado	396	1.87	0.00	87.22	0.00	0.00	10.91
Armado	396	6.42	0.00	87.21	0.01	0.00	6.36

RESOURCES								
Resource Name	units	Scheduled Hours	Number of Times Used	Average Minutes Per Usage	Average Minutes To Use	Average Minutes To Park	% blocked In Travel	% util
Pintor	1	396	64	143.91	0.44	0.00	0.00	38.88

RESOURCE STATES BY PERCENTAGE						
Resource Name	Scheduled Hours	% In Use	% Travel To Use	% Travel To Park	% Idle	% Down
Pintor	396	38.76	0.12	0.00	0.00	61.12

FAILED ARRIVALS		
Entity Name	Location Name	Total Failed
Twingo Azul Choque Medio	Llegada	0
Twingo Azul Choque Fuerte	Llegada	0

ENTITY ACTIVITY							
Entity Name	Total Exits	Current Quantity In System	Average Minutes In System	Average Minutes In Move Logic	Average Minutes wait For Res, etc.	Average Minutes In Operation	Average Minutes Blocked
Twingo Azul Choque Medio	9	0	2142.79	9.16	1.79	2104.31	27.52
Twingo Azul Choque Fuerte	7	0	2910.87	9.16	1.79	2776.41	123.51

ENTITY STATES BY PERCENTAGE					
Entity Name	In Move Logic	% Wait For Res, etc.	In Operation	% Blocked	
Twingo Azul Choque Medio	0.43	0.08	98.20	1.28	
Twingo Azul Choque Fuerte	0.31	0.06	95.38	4.24	

VARIABLES						
Variable Name	Total Changes	Average Minutes Per Change	Minimum Value	Maximum Value	Current Value	Average Value
Medio	10	2224.88	0	4	2	1.45
Fuerte	14	1587.59	0	4	1	1.82
vehiculos reparados medio	8	2580.35	1	9	9	5.34
vehiculos reparados fuerte	10	2152.47	1	11	11	6.09
total vehiculos reparados	18	1195.81	2	20	20	11.44

Sección para el análisis de las locaciones, donde se puede examinar el comportamiento y nivel de ocupación

Sección para el análisis de los recursos

Sección para el análisis de las entidades, donde se puede examinar su comportamiento dentro del sistema

Sección para el análisis y captura de los datos de las variables globales

Fuente: autores



En síntesis, el modelo permitió observar lo siguiente:

El tiempo asignado a la simulación correspondió a 396 horas reales de trabajo que representan tres meses de operación en el taller.

La locación que registra mayor tiempo promedio de las entidades corresponde al turno de autorización de las reparaciones que implica tomar decisiones para disminuir el tiempo entre la llegada del cliente y la entrega de su vehículo.

Por otra parte, se identificaron las locaciones de preparación de superficies y latonería como aquellas en las cuales la entidad permanece mayor porcentaje de tiempo comparándola con los otros centros de trabajo lo cual permite inferir que esta corresponde a las entidades más influyentes y cuello de botella del proceso de reparación de automóviles.

Por consiguiente, los centros de trabajo de latonería y preparación que poseen la mayor ocupación tienen aún un margen de capacidad disponible para aprovechar, mientras los otros centros de trabajo poseen amplio margen de disponibilidad de capacidad para aprovechar, por lo cual se debería analizar, con el objetivo de obtener una mejor decisión, todas las entidades que puedan ingresar y asignarles toda la capacidad disponible.

Según los porcentajes de ocupación de los turnos, se puede afirmar que la capacidad asignada es más que suficiente para el manejo de este tipo de entidad al interior del taller, por lo cual se podría disminuir dicha capacidad y asignarle estos espacios a otras entidades o diferentes usos que lo requieran; principalmente al turno de llegada cuyo porcentaje de ocupación es del 0% y el de latonería con 4.11%.

Bajo las consideraciones de capacidad hechas con anterioridad se observa que los porcentajes de parada de las locaciones son altos, esto corresponde principalmente al tiempo que se le ingresó al sistema con el ánimo de simular el uso de dicha locación para el procesamiento de otras entidades no simuladas.

El recurso pintor cuenta con un porcentaje de ocupación alto comparado con su disponibilidad de 40%, con una capacidad disponible sin aprovechar casi nula, considerando los tiempos de parada. Esto ratifica el gran uso de la locación de preparación, y tiene como causante fundamental la necesidad del recurso por parte de dos locaciones.

En cuanto a las entidades, el Twingo choque frontal medio, tiene un promedio de 2142.79 minutos de atención que corresponde a 5.9 días hábiles de trabajo, mientras el Twingo choque frontal fuerte, con un promedio de 2910.87 minutos de atención aproximadamente 8.08 días hábiles de trabajo. Ambas entidades poseen altos porcentajes de operación sobre el total del tiempo en el sistema, lo cual se explica en los bajos tiempos de transporte entre locaciones y el exceso de capacidad disponible dentro de la tasa asignada para esta entidad.

En el modelo no ocurren arribos fallidos lo cual es vital para este tipo de empresas en las que se tiene como llegadas un cliente; se hace fundamental que en el turno de llegada y recepción halla disponibilidad para estar siempre en capacidad de atender al cliente y recibirle su vehículo, de tal forma que no se desaproveche la oportunidad de prestar el servicio de reparación y generar ganancias para la empresa.

Por último se obtiene un valor de gran importancia para la empresa y es el número de vehículos facturados o reparados en el periodo de tres meses hábiles; con la salida de 9 Twingos que ingresaron con choque medio, y 7 con choque, que representarían 3 con choque medio por mes y 2 con choque fuerte.

Al realizar el análisis de sensibilidad al modelo desarrollado, se plantearon las siguientes alternativas de solución:

- Disminución en el tiempo de autorización por parte de las compañías aseguradoras.
- Disminuir en una unidad la capacidad de cada una de los turnos que se incluyen en el modelo, donde el turno de llegadas quedaría con capa-



cidad de dos, mientras el de autorización y de latonería tan solo con capacidad de uno.

- Disminución del tiempo de aseo y lavado a la mitad del actual

Lo cual permitió mejorar los resultados del modelo.

Conclusiones

Entre las principales conclusiones del trabajo desarrollado se tienen las siguientes:

- Se pudieron definir los pasos a través de los cuales es posible establecer los parámetros de un modelo respecto a las variables exógenas, endógenas y de estado, las cuales están relacionadas con las necesidades específicas del cliente.
- Durante la búsqueda y definición de los parámetros y pasos para construir el modelo, se encontraron varios factores que sobresalen por la dificultad de ser encontrados en la literatura, como lo son el diseño experimental, el análisis de resultados y los elementos de gestión aplicada a la simulación.
- Realizar un modelo de simulación exitoso en la toma de decisiones, estudio de sistemas, análisis de alternativas y optimización de procesos, depende de la vinculación que logre el equipo del proyecto con todo el personal de la empresa en todos los niveles de jerarquía y la participación de todos para construir un modelo efectivo.
- La metodología propuesta presenta un procedimiento para llevar a cabo un estudio de simulación de forma ordenada, estructurada y sistémica enmarcada en el ciclo PHVA, exaltando las reglas generales que se deben tener en cuenta en el momento de realizar un proyecto que incluye a la simulación como herramienta para solucionar problemas presentes en una empresa.
- La estructura general de la metodología aborda diferentes temáticas vinculadas al campo de la ingeniería industrial, lo que la hace perfectamente aplicable tanto en el medio empresarial como en el ámbito académico.

Referencias

- [1] Aspray, William. John Von Neumann and the Origins of Modern Computing. Massachusetts. The MIT Press. p. 110-113.
- [2] Abu-Taieh, Evon M. and Rahman El Sheikh, Asim Abdel. Handbook of Research on Discrete Event Simulation Environments: Technologies and Applications. New York. Information Science Reference. p. 1.
- [3] Pymes de Colombia están atrasadas. En: El diario. (20, Marzo, 2009) <disponible en: <http://www.eldiario.com.co/seccion/ECONOMICA/pymes-de-colombia-est-n-atrasadas090319.html>> [consultada: 1 Abril, 2010]
- [4] Coss Bu, Raúl. Simulación, un enfoque práctico. Editorial Limusa. Primera Edición. México DF. 2003. P. 11 y 12.
- [5] Dunna García, Eduardo. García Reyes, Eduardo y Cárdenas Barrón, Leopoldo E. Simulación y análisis de sistemas con Promodel®. Pearson. Primera edición. 2006. p.2-7.
- [6] Chung, Christopher A. Simulation Modeling Handbook, a practical approach. CRC Press. Boca Raton, FL. 2004. P3-20.
- [7] Blanco Luis E. y Fajardo Iván D. Simulación con ProModel®; *Casos de producción y logística*. Editorial Escuela Colombiana de Ingenieros. Bogotá. 2004. P.7-16.
- [8] BANKS, Jerry. Handbook of Simulation, principles, methodology, advances, applications and practice. Engineering & Management Press. Toronto. 1998. P.721-745.esas, PP 208-245.
- [9] FASES QUE COMPRENDE TODO ESTUDIO QUE UTILIZA LA SIMULACION. En: Sistemas Modelos Y Simulación. Facultad de Ingenierías Universidad de Buenos Aires. 75.26 Simulación [en línea] < Disponible en: <http://materias.fi.uba.ar/7526/docs/teoria.pdf>> [consulta 25 feb. 2010]
- [10] MURETTI, Efrain. Etapas para realizar un estudio de simulación. En: Simulación de Sistemas. [en línea] < Disponible en: http://members.libreopinion.com/ve/efrainmuretti/simulacion/ss_intro.pdf > [consulta 25 feb. 2010]

