

Modelación y simulación computacional de un proceso productivo de una pequeña empresa usando dinámica de sistemas

Carlos Mario Parra Mesa*, Jorge Iván Pérez Rave**,
Diego Torres Franco***

Resumen

Este artículo pretende motivar a los estamentos académicos y a las pequeñas y medianas organizaciones a desarrollar en el área de la simulación dinámica de sistemas trabajos conjuntos que conlleven a un direccionamiento empresarial más claro y confiable, y de paso contribuyan a la formación de profesionales mejor capacitados para satisfacer las necesidades del medio. Para ello se presenta la aplicación de la simulación dinámica de sistemas en una pequeña empresa, mediante la modelación y simulación computacional del proceso de plastificado de barra metálica para carpetas de FRAMECO S.A (Bello-Antioquia), con interés particular en la identificación de las limitaciones del sistema, la capacidad de producción, el tiempo tipo del proceso, el tiempo ocioso de la mano de obra y el tiempo de consumo innecesario del gas empleado como insumo en uno de los equipos; igualmente, se ilustra de manera general el análisis de sensibilidad del proceso. Como resultado se obtiene un modelo de simulación que representa de manera razonable el comportamiento dinámico del proceso y le facilita al directivo, académico o analista, la comprensión, el análisis y el mejoramiento del sistema productivo.

Palabras claves: Trabajo conjunto Academia-Pymes, dinámica de sistemas, modelación y simulación, análisis de sensibilidad.

Abstract

This article aims to motivate the academic sector as well as the small and medium sized firms to develop, in the field of dynamic system simulation, cooperative works which will lead to a clearer and more reliable enterprise management, and also contribute to the training of professionals who are best suited to satisfy the needs existing in today's society. To achieve this purpose, the application of dynamic systems simulation done in a small sized enterprise by means of computer modeling and simulation

Fecha de recepción: 6 de mayo de 2005
Fecha de aceptación: 19 de julio de 2006

* Grupo de Investigación Gestión de la Calidad. Estadístico MSc. Profesor del Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Antioquia. cmparra@udea.edu.co

** Grupo de Investigación Gestión de la Calidad. Departamento de Ingeniería Industrial Universidad de Antioquia.

Dirección: Calle 67 N° 53-108, oficina 18-126, Medellín (Colombia). ejipr056@udea.edu.co

*** Profesor del Departamento de Ingeniería Industrial Universidad de Antioquia. Ingeniero Industrial. Esp. Logística Integral. diegotorres1@epm.net.co

is presented. The simulated situation is the plasticizing process applied on a small metal bar for folders. This process belongs to an enterprise called FRAMECO S.A (Bello, Antioquia). This was done particularly focusing on the identification of the system's limitations, the production capacity, the process' standard time, the personnel's idle time and period of time during which the gas used as input in one of the machines was consumed unnecessarily. Also, the process' sensibility analysis is shown in a general way. As a result of this, a simulation model that reasonably represents the dynamic behavior of the process and makes it easier for the manager, scholar, or analyst to understand, analyze and improve the productive system was obtained.

Key words: Cooperative work between the academic sector and the SMEs, system dynamics, modeling and simulation, sensibility analysis.

INTRODUCCIÓN

Las Pymes (pequeñas y medianas empresas) constituyen un conglomerado significativamente importante para el desarrollo socioeconómico del país [1]. Una de las principales características de estas organizaciones es la falta de un direccionamiento claro basado en información confiable, que les permita establecer políticas eficaces y eficientes [2] para competir en igualdad de condiciones en un mercado cambiante, que acelera la imperante necesidad de estar preparado para afrontar la era de la globalización económica [3].

Como herramienta de apoyo para facilitar el adecuado direccionamiento en este segmento de empresas puede emplearse la dinámica de sistemas, una técnica de la simulación que permite entender las relaciones entre los elementos de un determinado sistema, y simular su comportamiento dinámico ante diversos escenarios sin necesidad de ser llevados a cabo sobre el sistema real [4], facilitando con ello una mejor comprensión del mismo y el establecimiento de políticas que probablemente conlleven a los resultados más deseados.

Si bien es cierto que la aplicación de esta técnica en un sistema real se constituye en una tarea compleja debido a la necesidad de un trabajo interdisciplinario que requiere soluciones en diferentes áreas, dependiendo del objeto de estudio, entre las que se mencionan: informática, estadística, economía y producción –y sería ambicioso pensar que todas ellas las podría aportar una pequeña o mediana organización–, también es cierto que es viable trabajar conjuntamente con la academia para que, mediante el uso de la simulación dinámica de sistemas, se encuentren soluciones expertas que permitan un direccionamiento empresarial más claro y confiable, y de paso contribuya la academia a la formación de profesionales mejor capacitados para satisfacer necesidades reales del medio empresarial y de la sociedad en general.

Con el propósito de motivar a los estamentos académicos y al sector empresarial a desarrollar en esta área trabajos conjuntos en pro del beneficio mutuo, se aplicó la dinámica de sistemas en un proceso de producción de FRAMECO S.A, pequeña empresa metalmecánica del municipio de Bello (Antioquia).

El objetivo de la investigación fue desarrollar un modelo de simulación que facilitara la comprensión, análisis y mejora del proceso de plastificado de barra metálica para carpetas, con interés particular en la identificación de las limitaciones del sistema, la cantidad de producto terminado, el tiempo ocioso del talento humano y el tiempo de consumo innecesario del gas que emplea uno de los equipos del proceso; este último detectado a raíz de un estudio de gestión del tiempo realizado en el 2004 por uno de los autores en la empresa FRAMECO S.A.

En el primer apartado se presenta un marco conceptual que facilita una mejor comprensión del artículo; el segundo contiene la descripción general del proceso objeto de estudio, seguido de la construcción y validación del modelo; posteriormente se muestran los resultados y análisis de la simulación para la jornada laboral, se ilustra el análisis de sensibilidad del proceso y finalmente se presentan las conclusiones de la investigación.

Marco conceptual

A continuación se presentan algunas definiciones que facilitan una mejor comprensión de los apartados de este artículo:

- *Tiempo tipo y suplementos de trabajo*: Corresponde al tiempo empleado por un trabajador calificado para realizar determinada labor; comprende el tiempo necesario para ejecutar la tarea a un ritmo normal, las interrupciones que precisa el operario para sus necesidades personales y para recuperarse de la fatiga. Estas interrupciones de trabajo son denominadas suplementos [5].
- *Proceso*: Un proceso es un conjunto de actividades relacionadas que conducen a un fin en particular y en las que intervienen personas, máquinas, materiales y métodos [6].
- *Tiempo ocioso*: “Es el tiempo que el obrero, aún estando a disposición de la empresa, no realiza tareas, a raíz de una baja temporal del nivel de actividad” [7].

- *Stock, flujos y convertidores*: Estos elementos se emplean en la construcción del diagrama de flujo del modelo. Los primeros representan acumulaciones de elementos que reflejan el estado del sistema en cualquier momento, entre los cuales cabe mencionar: materiales, herramientas y tiempo ocioso; los segundos se emplean para llenar o drenar los *stocks*, y los convertidores pueden representar los parámetros de entrada del modelo y, además, permiten modificar los *stocks* y los flujos¹.
- *Sistema*: Es un conjunto de elementos relacionados entre sí y con el medio [8].
- *Modelo*: Es una representación abstracta que reproduce las características de un objeto, sistema o concepto del mundo real [9].
- *Análisis de sensibilidad*: Un análisis de sensibilidad es una técnica a través de la cual se intenta evaluar el efecto que los parámetros de entrada o las restricciones especificadas a un modelo definido tienen sobre las variables de salida del mismo [10].

Descripción general del proceso

Con el propósito de obtener un conocimiento completo del sistema, se revisó de manera exhaustiva un estudio de gestión del tiempo realizado en el 2004 por uno de los autores en la empresa FRAMECO S.A, y se extrajo información relevante para el entendimiento del proceso y la construcción del modelo, la cual se presenta a continuación:

- Nombre: Proceso de “plastificado de barras metálicas para carpetas” (PBMC).
- Objetivo: el plastificado tiene como finalidad dar mayor estética y evitar la oxidación de la barra metálica (figura 1).
- Entrada: barras metálicas sin plastificar provenientes del proceso de troquelado.
- Salida: barras metálicas plastificadas y empacadas en cajas de 2.000 unidades (producto terminado).

¹ Tomado del menú de ayuda del *software* ITHINK 7.02 para Windows.

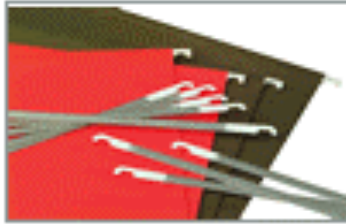


Figura 1. Barra metálica

- Duración de la jornada laboral: 8 horas
- Tiempo tipo del proceso: 26,17 minutos por caja de barras (2.000 unidades).
- Capacidad de producción del proceso: en las condiciones actuales de operación, se está en capacidad de plastificar 18 cajas de barras metálicas durante la jornada laboral.

Actividades

El proceso de PBMC se divide en cuatro actividades fundamentales:

1. *Colocado*: Actividad realizada por dos operarios; consiste en colocar barras metálicas en unas bases de madera denominadas “paletas”, cuya capacidad permite alojar 41 barras metálicas. En condiciones normales de funcionamiento, el proceso se desarrolla con 15 paletas.
2. *Plastificado*: Esta actividad es desarrollada por un operario, y consiste en calentar en un quemador las barras que contiene la “paleta” proveniente de la anterior actividad, para luego pasar los extremos de las barras por una pintura en polvo, con el fin de darles protección, comodidad y mejor apariencia.
3. *Curado*: En ella no interviene ningún operario, puesto que la paleta (con 41barras) pasa por un horno de 10 metros de longitud a una temperatura de aproximadamente 200°C a través de una banda transportadora, y luego es sometida a un proceso de enfriamiento. Esta actividad tiene como propósito “curar” la barra metálica para dar adecuada resistencia a la pintura.
4. *Empaque*: Una vez finaliza el enfriamiento, un operario inspecciona las barras, las recoge de la paleta, las deposita en una caja de cartón con capacidad para 2.000 unidades y luego devuelve la paleta a la actividad de “colocado” para que de nuevo repita su ciclo. En la figura 2 se ilustra el recorrido de las paletas por el proceso de plastificado.

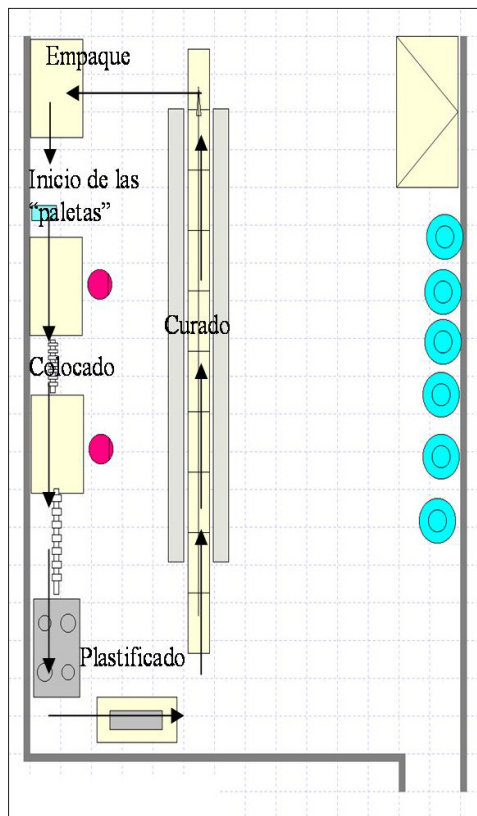


Figura 2. Ciclo de las paletas por el proceso de plastificado

Limitaciones del sistema: La capacidad del proceso está limitada por la capacidad de la actividad de plastificado, puesto que se genera una acumulación aproximada de entre tres y cinco “paletas”.

Consumo innecesario de gas: En la actividad de plastificado se emplea un quemador, el cual funciona mediante gas, y de acuerdo con el estudio de gestión del tiempo, este gas tan solo se aprovecha aproximadamente 6.07 segundos por paleta, lo que indica existencia de tiempo de consumo innecesario del mencionado insumo.

Construcción del modelo

Estimación del tiempo empleado por una “paleta” en cada actividad

Para determinar la duración de una “paleta” en cada actividad se dispuso de

49 datos históricos para cada una de ellas, los cuales fueron capturados en el 2004 por uno de los autores durante el estudio de gestión del tiempo que adelantó en la empresa FRAMECO S.A.

A partir de dicha información se analizó si los mencionados tiempos siguen una distribución específica. Para tal efecto se aplicó la prueba de bondad de ajuste de Smirnov Kolmogorov [11], que permite analizar la concordancia entre la función de distribución muestral ($S_n(x)$) y la función de distribución propuesta ($F_0(x)$), empleando para ello el estadístico $D_{max}(x)$ definido en la ecuación 1, el cual selecciona de las n distancias entre ambas distribuciones la mayor.

$$D_{mx}(x) = \text{Max} | F_0(x) - S_n(n) \quad (1)$$

La hipótesis de que no existe diferencia significativa entre ambas distribuciones se acepta si el valor $D_{max}(x)$ es menor o igual que el valor crítico $D_{max}(\alpha, n)$, donde α corresponde al nivel de significancia y n al número total de observaciones.

Empleando el *software* Statgraphics 5.1 se procedió a desarrollar la prueba de bondad de ajuste para el menú de distribuciones continuas disponibles. En la tabla 1 se presentan la distribuciones a la que mejor se ajustaron los tiempos de las actividades de interés, además de los parámetros que caracterizan cada distribución y los resultados arrojados por la prueba a un nivel de significancia del 5%.

Tabla 1
Ajuste de los tiempos (segundos)

Actividad	Distribución	Parámetros							n	Dmx (x) calculado	Dmx (α, n)
		μ	σ	β	α	Mín.	Central	Máx.			
Plastificado	Normal	16.7	1.7						45	0.08	0.20
Quemado	Normal	6.1	1.4						47	0.11	0.20
Curado	Normal	219.6	6.4						44	0.06	0.21
Colocado	Weibull			29.5	14.4				48	0.11	0.20
Empaque	Triangular					12.4	14.8	17.3	43	0.09	0.21

Los parámetros μ y σ corresponden a la media y desviación estándar de la distribución normal respectivamente, β y α son parámetros de la distribución

Weibull; el primero es de escala y el segundo de forma; Mín., Central y Máx. corresponden al límite inferior, central y superior de la distribución triangular.

Es de resaltar que el quemado de las barras está contenido en la actividad de plastificado; sin embargo, fue preciso analizarlo por separado para facilitar la estimación del tiempo en que el gas consumido por el quemador se desperdicia durante la jornada.

Generación de variables aleatorias

El *software* (Ithink) empleado para la construir y simular el proceso permite generar directamente variables aleatorias con distribución normal a través de la función NORMAL (media, desviación), sin embargo, para generar las demás variables de interés se recurrió a las siguientes ecuaciones [12]:

Distribución Weibull:

$$X = b(-\ln r)^{1/\alpha} \quad (2)$$

Distribución Triangular:

Para

$$r \leq \frac{\text{central} - \text{min}}{\text{max} - \text{min}} \quad X = \text{min} + \sqrt{(\text{max} - \text{min})(\text{central} - \text{min})r} \quad (3)$$

$$\text{En caso contrario, } X = \text{max} - \sqrt{(\text{max} - \text{min})(\text{max} - \text{central})(1 - r)} \quad (4)$$

Donde X es la variable aleatoria de interés, r es un número aleatorio uniforme entre 0 y 1, el cual se genera directamente desde el *software* con la función Random.

Suplementos de trabajo

A partir de información histórica del proceso se determinaron los suplementos de trabajo para cada una de las actividades que se iba a modelar, los cuales se presentan en la tabla 2; igualmente fue preciso considerar otros suplementos propios de las políticas de la unidad económica (tabla 3).

Tabla 2
Suplementos por actividad

Actividad	Suplementos (%)
Plastificado	14.6
Curado	
Colocado	12
Empaque	11.7

Es importante resaltar que a la actividad de curado no se le carga ningún suplemento, puesto que es realizada por un equipo (horno).

Tabla 3
Otros suplementos

Descripción	Tiempo (minutos)
Inicio de turno	5
Fin de turno	15
Ddesayuno	15
Total	35

Descripción del modelo

El modelo se compone de cuatro etapas fundamentales: la primera corresponde al ciclo de las “paletas” por el proceso, la cual proporciona un entorno para identificar las limitaciones del sistema; la segunda permite estimar el tiempo tipo y la cantidad de producto terminado durante la jornada; en la tercera se modela el tiempo ocioso de la mano de obra, y la cuarta etapa corresponde al modelado del consumo innecesario del gas empleado por el quemador. A continuación se describen los principales elementos de cada una de ellas.

Ciclo de las paletas por el proceso

En la figura 3 se puede observar el diagrama de flujo del modelo desarrollado para el recorrido de las paletas por el proceso. Este ciclo inicia en el *stock* tipo cola que representa las “paletas disponibles”, puesto que cuando cada paleta termina su ciclo hace fila para ser empleada nuevamente en la actividad de colocado. Otros componentes importantes de este modelo son los tres *stocks* tipo estufa, empleados para representar las actividades de colocado, plastificado y empaque, cada uno con capacidad para atender de a 1 “paleta”; igualmente

se observa un *stock* tipo banda transportadora que representa el horno donde se realiza el curado de las barras.

El flujo de los *stocks* se rige por la distribución específica de la duración de cada actividad (ver tabla 1), duración a la que se le carga un porcentaje de tiempo adicional debido a suplementos de trabajo por aspectos tales como: la fatiga y las necesidades personales, dichos suplementos se representan en el modelo mediante convertidores.

En la figura 3 se observa el modelo como un circuito cerrado, similar a lo que ocurre en la realidad del proceso, ya que se cuenta con un número determinado de “paletas”, y cuando una de ellas termina su ciclo es empleada en la actividad de colocado para comenzar lo nuevamente.

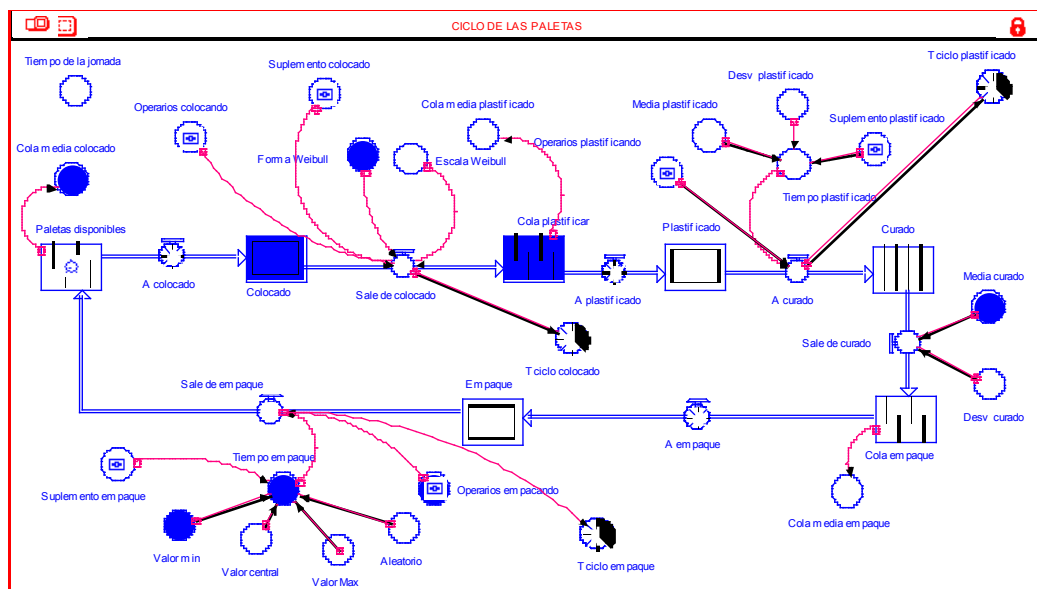


Figura 3. Diagrama de flujo del ciclo de las paletas por el proceso de PBMC

Producto terminado y tiempo tipo

Esta etapa se presenta en la figura 4 y se compone de un flujo, un *stock* y dos convertidores. El flujo representa la cantidad de barras que se van empackando en la caja; el algoritmo de llenado consiste en que cada vez que una paleta sale de la actividad de empaque, lo que equivale a terminar su ciclo por el proceso, se depositan 41 barras metálicas (capacidad de la “paleta”) en la caja.

El stock “Barras en caja” es tipo tanque, debido a que acumula las barras plastificadas sin importar el orden de llegada, y los convertidores se emplean para calcular el tiempo tipo y el número de cajas que se van elaborando durante la jornada laboral. Para el cálculo del primero se divide la duración de la jornada laboral entre el número de cajas de barras metálicas que se elaboraron, y para el segundo se divide la cantidad de barras en caja entre su capacidad de almacenaje (2.000 unidades).

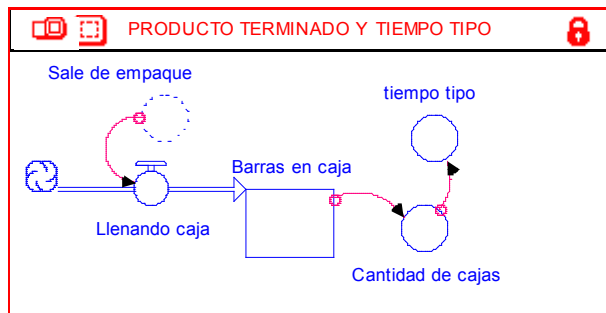


Figura 4. Diagrama de flujo para el producto terminado y tiempo tipo

Es importante resaltar que el flujo “llenando caja” está relacionado con el flujo “Sale de empaque”, ya que este último es causa de que ingresen barras a la caja; es decir, cada vez que una paleta sale de empaque ingresan 41 barras a la caja.

Consumo innecesario de gas

En la figura 5 se muestra el diagrama de flujo para el consumo innecesario de gas, el cual está relacionado con la salida de la actividad de plastificado.

Inicialmente se parte de un flujo que acumula el tiempo durante el cual se aprovecha el gas consumido por el quemador, tiempo que se rige por una distribución normal con parámetros media y desviación estándar, y para el cual se emplean tres convertidores. El algoritmo consiste en que a medida que una “paleta” sale de la actividad de plastificado se acumula el tiempo de quemado de las barras, puesto que sólo durante ese tiempo se aprovecha realmente el gas.

Finalmente, para determinar el tiempo de consumo innecesario de gas durante la jornada laboral se emplea el convertidor denominado “T gas innecesario”; para tal efecto, al tiempo en que el quemador permanece encendido (444 minutos) se le resta el tiempo de aprovechamiento de gas.

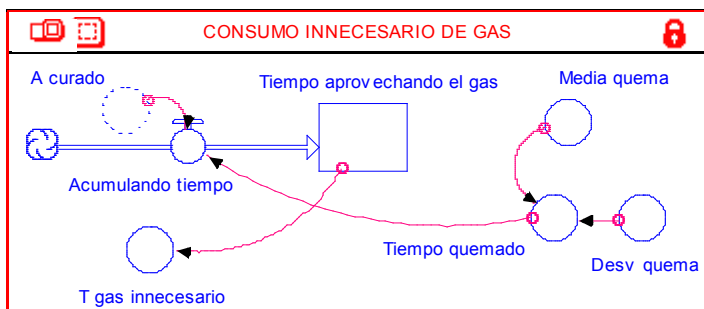


Figura 5. Diagrama de flujo del tiempo de consumo innecesario de gas

Tiempo ocioso de la mano de obra

El modelo para el tiempo ocioso de la mano de obra (figura 6) está en función de los tiempos ociosos de las actividades de colocado, plastificado y empaque, cada uno de los cuales se compone de tres elementos fundamentales: un flujo, un stock tipo tanque y un convertidor.

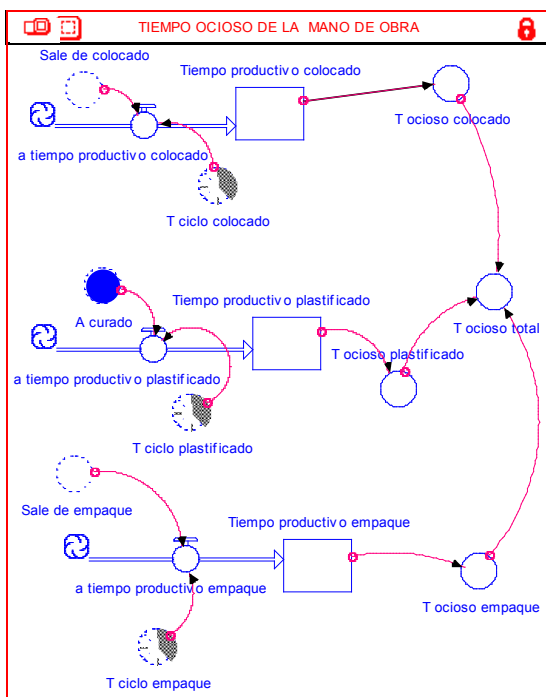


Figura 6. Diagrama de flujo para el tiempo ocioso de la mano de obra

A través del flujo se acumula el tiempo en que la mano de obra permanece ocupada; este tiempo está relacionado con el flujo de salida de cada actividad y con el tiempo desde que una “paleta” ingresa a ella, es atendida y sale de ésta; para el cálculo de dichos tiempos se emplearon tres convertidores denominados “T ciclo colocado”, “T ciclo plastificado” y “T ciclo empaque”.

El tiempo ocioso de la mano de obra en cada actividad se calcula mediante la diferencia entre el tiempo efectivo de la jornada laboral (444 minutos) y el tiempo productivo de la mano de obra en la actividad. El tiempo ocioso total durante la jornada corresponde a la suma de los tiempos ociosos de las actividades de colocado, plastificado y empaque.

Interfaz de operación del modelo computacional

La interfaz de operación del modelo consta de dos elementos: uno de ellos permite al usuario establecer el escenario en el que se simulará el proceso (figura 7) y el otro muestra el comportamiento del sistema ante dicho escenario (figura 8).

Para establecer el escenario de la simulación, el usuario tiene control sobre la cantidad de “paletas” que circularán en el proceso, el talento humano que se empleará en cada actividad y los suplementos de trabajo; la disminución de estos últimos implica un cambio importante en la realidad del sistema, que bien puede deberse a aspectos como: mejora de las condiciones laborales (temperatura, iluminación,...), métodos de trabajo más eficientes y cómodos para los empleados, entre otros.

La respuesta del sistema se observa mediante las siguientes variables: cola media de las actividades de colocado, plastificado y empaque, las cuales permiten identificar restricciones del sistema, unidades de producto terminado, tiempo tipo del proceso, tiempo de consumo innecesario de gas, tiempo ocioso de la mano de obra en cada actividad y el tiempo ocioso total durante la jornada laboral.

Para visualizar de una mejor manera el comportamiento de las mencionadas variables, cada una de ellas está acompañada de un dispositivo de advertencia que puede tomar los colores rojo, amarillo y verde, dependiendo de los valores de cada variable. Esto funciona como un semáforo donde el color verde implica que no hay peligro, el amarillo indica precaución y el rojo el pánico.

Además de lo anterior también se muestra la duración de la jornada, en caso de que el analista desee pausar la simulación y modificar el escenario en un tiempo determinado.

El segundo elemento de la interfaz contiene un menú con seis botones de acción cuyas funciones permiten: correr la simulación, restaurar las condiciones iniciales de operación, salir de la aplicación, ver tablas y gráficas de resultados.

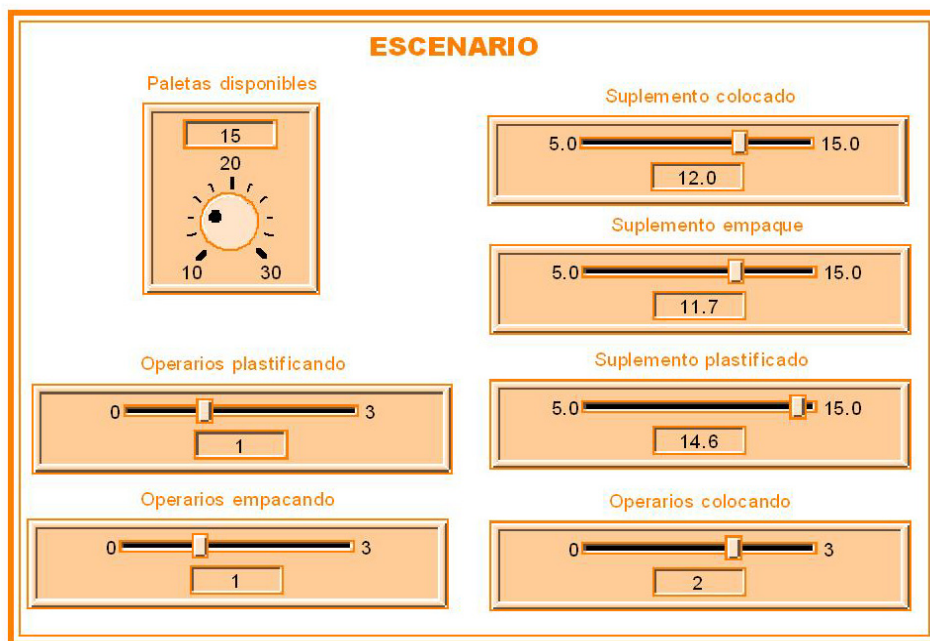


Figura 7. Escenario real del proceso

Validación del modelo

Gracias al estudio de gestión del tiempo realizado durante el 2004 en la empresa FRAMECO S.A se dispuso de información cuantitativa y cualitativa sobre la evolución del sistema en el pasado, siendo posible verificar si el modelo refleja de manera razonable el comportamiento real del proceso. Para tal efecto se corrió bajo las condiciones reales de operación, las cuales se presentan en la figura 8. Y efectivamente, el modelo es capaz de generar los comportamientos que caracterizan el sistema objeto de estudio.

Resultados de la simulación e interpretación



Figura 8. Respuesta del sistema bajo el escenario real de operación del proceso

En la figura 8 se puede observar que los resultados arrojados por el modelo son coherentes con las conclusiones del estudio de gestión del tiempo realizado en la empresa. En este sentido, el tiempo tipo del proceso de plastificado arrojado por el modelo (26.6 minutos) es equivalente al determinado mediante el mencionado estudio (26.17 minutos); igual coherencia se presenta con las conclusiones provenientes de la producción del proceso, cuya capacidad es de 18 cajas (36.000 barras metálicas).

Del mismo modo, con relación a las limitaciones del sistema, los resultados producidos por el modelo estuvieron acordes con la información histórica acerca de las características del proceso, y en la actividad de plastificado se presentó una acumulación promedio de 4 paletas, lo que equivale a 164 barras metálicas en espera.

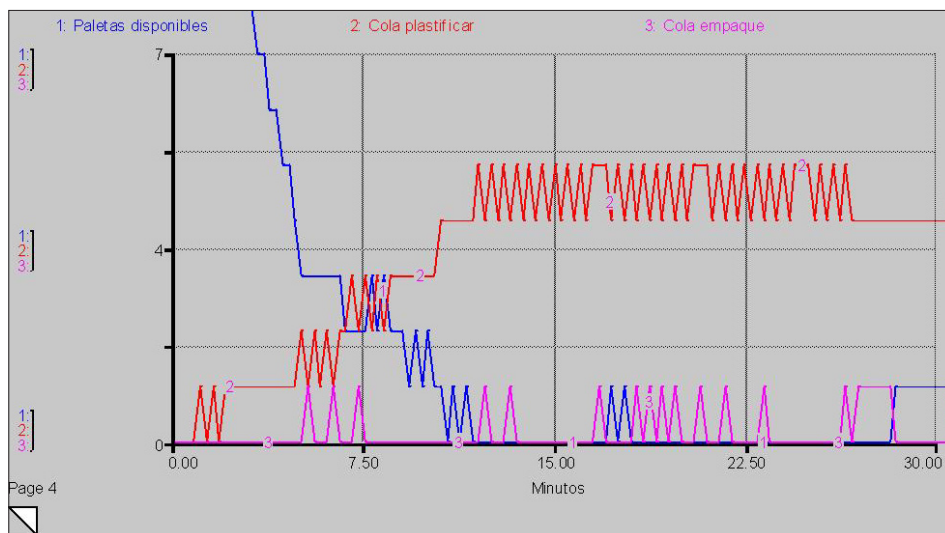


Figura 9. Comportamiento de las colas generadas durante la jornada

La figura 9 muestra que rápidamente (aproximadamente en el minuto 7.5) la cola para el proceso de colocado “paletas disponibles” iguala la acumulación de “paletas” que esperan a ser plastificadas; luego de este tiempo la primera tiende a decrecer hasta estabilizarse entre 0 y 1 a partir del minuto 11, y la segunda crece hasta estabilizarse entre 4 y 5 a partir del minuto 12 aproximadamente. Con relación a la acumulación de “paletas” que esperan a ser empacadas, se muestra estable entre 0 y 1 durante toda la jornada.

En la figura 8 también se puede observar que se genera desperdicio de gas durante aproximadamente 354.4 minutos, lo que equivale a aprovechar tan solo 6.12 segundos por paleta (6.07 de acuerdo con los datos históricos), lo cual, teniendo en cuenta la duración media de la actividad de plastificado (16.72 segundos), se aprovecha el gas tan solo el 37% del tiempo, y como consecuencia de esta identificación nuevas oportunidades de mejora para la organización empresarial.

En las figuras 9 y 10 se puede observar además que en las actividades de colocado de barra y empaque, a pesar de que no se limita la producción del sistema, tampoco se aprovecha completamente su capacidad de producción precisamente porque la actividad de plastificado tiene una capacidad inferior; esto da como resultado un tiempo ocioso total de la mano de obra de 65.3 minutos durante la jornada laboral, de los cuales el 64% se genera en la actividad

de colocado y el 36% en el empaque del producto. Lo anterior se traduce en oportunidades de mejoramiento para la compañía.



Figura 10. Tiempo ocioso de la mano de obra en las actividades

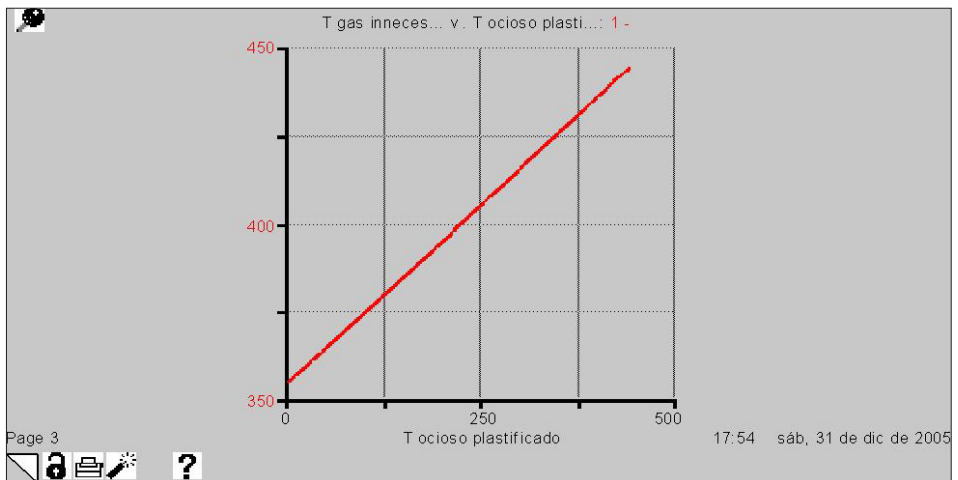


Figura 11. Tiempo de consumo innecesario de gas vs tiempo ocioso de la mano de obra en el plastificado

En la figura 11 se relaciona el tiempo de consumo innecesario de gas con el tiempo ocioso de la mano de obra generado en la actividad de plastificado.

A partir de ella se puede observar bajo el escenario real de operación un comportamiento lineal, en el cual a medida que aumenta una variable la otra también lo hace. Esto es coherente teniendo en cuenta que mientras más ocupado en la actividad de plastificado se encuentre el operario, más paletas quemará durante la jornada, lo cual permitirá un mayor aprovechamiento del gas; en caso contrario, menos paletas quemará y, por ende, mayor será el tiempo de desperdicio del mencionado insumo.

Análisis de sensibilidad

Teniendo en cuenta que el objetivo de la investigación no es propiamente analizar el efecto de los parámetros de entrada sobre las variables de salida del sistema, sino el desarrollo de un modelo de simulación que facilite la comprensión, análisis y mejorar del proceso, se ilustra de manera general la aplicación del análisis de sensibilidad para mostrar la utilidad del modelo. En este sentido, sólo se modificarán los siguientes parámetros de entrada: número de operarios en cada actividad y cantidad de “paletas” disponibles, dejando constantes los suplementos de trabajo, puesto que la modificación de alguno de ellos requiere un cambio considerable en las condiciones actuales del proceso. Con respecto a las variables de salida, la ilustración se centrará en el tiempo ocioso total, la cantidad de cajas elaboradas durante la jornada laboral y el tiempo de consumo innecesario de gas.

Para determinar las respuestas del sistema ante diferentes escenarios se realizó cuatro experimentaciones por cada nivel del parámetro de entrada y se promediaron los resultados.

En la tabla 5 se presentan las condiciones iniciales de operación del proceso y la respuesta del sistema ante diferentes escenarios, donde +1 significa que el parámetro se aumentó en una unidad y -1 indica la disminución del parámetro en la misma magnitud, manteniendo los demás bajo las condiciones iniciales de operación. En vista de que en las actividades de empaque y plastificado solo interviene un operario, no se consideró pertinente experimentar en el nivel -1.

Tabla 5
Respuesta del sistema ante diferentes escenarios

Parámetros	Escenario	Cantidad de cajas	Tiempo de consumo innecesario de gas	Tiempo ocioso total en la jornada
	Inicial	18,1	354,9	65,0
Paletas disponibles	+1	18,1	353,5	65,9
	-1	18,1	354,1	66,5
Operarios colocando	+1	18,1	353,2	239,3
	-1	12,8	380,37	277,2
Operarios plastificando	+1	18,9	348,8	239,8
Operarios empacando	+1	18,0	353,5	266,33

Las interpretaciones sobre los efectos de los factores de entrada en el comportamiento del sistema se basan en un análisis visual de los resultados; sin embargo, para poder generar conclusiones más contundentes y optimizar las condiciones de operación del proceso, se sugiere realizar un diseño experimental en el que se determine con significancia estadística la influencia de dichos factores en el comportamiento del sistema y, además, se contemplen las posibles interacciones entre ellos, lo cual se aleja del alcance de este artículo.

Con base la tabla 5 puede considerarse que en el rango de experimentación el sistema es poco sensible ante cambios en el número de paletas disponibles; diferente de lo que ocurre cuando se aumenta o disminuye el número de operarios en la actividad de colocado, puesto que se afectan considerablemente todas las variables de salida; es decir, si se disminuye la capacidad de la actividad de colocado, ésta se convierte en la restricción del sistema, lo cual limita la capacidad de producción, genera un mayor tiempo ocioso en la actividad de empaque y plastificado, y por ende, ocasiona que se quemen menos barras durante la jornada, lo que, en otras palabras, se traduce en menor tiempo de aprovechamiento del gas.

Sabiéndose que bajo las condiciones iniciales de operación la restricción o cuello de botella del sistema se genera en la actividad de plastificado, se podría pensar en aumentar su capacidad con el propósito de incrementar la producción. Sin embargo, si bien es cierto que aumentando el número de operarios a 2 en la mencionada actividad se elaboran 18.9 cajas de barras, es decir, casi una caja más y se disminuye en 6.10 minutos el tiempo en consumo innecesario de gas,

es preciso ser cautelosos en la decisión, ya que el tiempo ocioso aumenta en 274.8 minutos, lo que equivale a un incremento del 269%.

Finalmente, aumentando a 2 el número de operarios que empacan no se muestra ningún beneficio para el proceso, puesto que se aumenta el tiempo ocioso en un 310%.

CONCLUSIONES

- Se logró desarrollar un modelo de simulación que representa, de manera razonable, el comportamiento dinámico del proceso de plastificado de barras metálicas para carpetas de la empresa FRAMECOS.A, con el cual se facilita la comprensión, el análisis y el mejoramiento del mencionado sistema, puesto que permite al directivo, académico o analista experimentar diferentes escenarios y ampliar el análisis de sensibilidad para determinar políticas de operación que, a un bajo costo, aumenten la productividad de la empresa
- La modelación y simulación computacional del proceso productivo de la empresa FRAMECOS.A, usando dinámica de sistemas, constituye una base para motivar y propiciar análisis, reflexión y discusión sobre el trabajo conjunto entre la academia y las Pymes, de modo que se posibilite el establecimiento de políticas que contribuyan tanto al mejoramiento de la competitividad de las unidades económicas del país como a la formación de los futuros profesionales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las directivas y empleados de la empresa FRAMECOS.A. por su disposición para realizar trabajos conjuntos con la Universidad, en pro del beneficio mutuo y de la sociedad en general.

REFERENCIAS

- [1] www.mincomercio.gov.co/VBeContent/NewsDetail.asp?ID=2653&IDCompan=13. Leído el 17 de diciembre de 2005.
- [2] ANDRIANI, C. et al. *Un nuevo sistema de gestión para lograr Pymes de clase mundial*. México, Norma, 2003, p. xvii.
- [3] www.unfv.edu.pe/publicaciones_unfv/w%F1ay_7/pdf/TELLO%20VERA,%20INDUSTRIAL.pdf. Leído el 2 de enero de 2006.
- [4] <http://www.daedalus.es/AreasDSDef-E.php>. Leído el 1° de enero de 2006.
- [5] www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger/estudtiemtrab.pdf. Leído el 28 de noviembre de 2005.

- [6] <http://www.sc.edu/es/svwkalit/FuncionamientoEquipos/funcionamientoequipos-c.htm>. Leído el 3 de enero de 2006.
- [7] ASUAGA, C. La cuantificación del factor trabajo en escenarios de crisis e inflación. En *Revista Iberoamericana de contabilidad de gestión*, Vol. 1, N° 1. Uruguay. Enero-Junio, 2003.
- [8] GEA, M., GUTIÉRREZ, F.L., GARRIDO, J.L. y CAÑAS, J.J. Teorías y Modelos Conceptuales para un diseño basado en grupos, *IV Congreso Internacional de Interacción Persona- Ordenador*. Vigo, España, 2003, p. 5.
- [9] SIERRA, E., GARCÍA-MARTÍNEZ, R., CATALDI, Z. y HOSSIAN, A. Fundamentos para una metodología de diseño de sistemas tutoriales inteligentes centrada en la reparación de mecanismos. Aceptado en XCACIC. *X Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*. Universidad de la Matanza, 2004, p. 2.
- [10] TURBAN, E. y ARONSON, J. E. *Decision Support Systems and Intelligent Systems*, Upper Saddle River, N. J.: Prentice Hall, 2001.
- [11] http://bochica.udea.edu.co/~bcalderon/6_pruebasbondadajuste.html. Leído el 20 de diciembre de 2005.
- [12] <http://industrial.udea.edu.co/partes/cursos/IIN-464.htm>. Leído el 13 de enero de 2006.