

MODELADO Y ANÁLISIS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UNA PYME MEDIANTE REDES DE FLUJO DE TRABAJO

Michalus, Juan Carlos*; Batista, Oscar Hugo; Jakimczuk, Romina Ana; Schmidt, Erardo; Mantulak, Mario José

*Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones
Juan Manuel de Rosas N° 325, Oberá, Misiones, Argentina (CP 3360). michalus@fio.unam.edu.ar*

RESUMEN

En el siguiente trabajo se enfoca en el proceso de producción de una PyME denominada “H&H Maderas”, dedicada a la fabricación de cabos de madera para escobillones y escobas de 1,10; 1,20 y 1,30 m de largo, con y sin rosca, localizada en la ciudad de Oberá, Misiones, Argentina. Se documentó el proceso mediante redes de Flujo de Trabajo (redes de Workflow) para facilitar su representación y análisis. Se relevaron datos que permitieron identificar, las actividades que se efectúan en la PyME, se documentaron las tareas que componen el proceso de producción y se procedió a su modelación y simulación, para el cual se utilizó el software WoPeD (WorkFlow Petri net Designer). Se propusieron mejoras y se utilizó el modelo para verificar ex - ante si es posible ejecutar los cambios sugeridos, se coordinó la aplicación de las modificaciones con los empresarios y se realizó una evaluación de los resultados obtenidos.

Palabras Clave: Proceso de producción. Modelado. Simulación. Redes de Workflow.

ABSTRACT

This work focuses on the production processes of an SME “H&H Maderas”, located in the city of Oberá, Misiones, Argentina, engaged in the manufacturing of broomstick of 1.10; 1.20 and 1.30 m in length, with and not threaded. We tried to record the process through Workflow Nets to facilitate its representation. The production process and the tasks involved through its modeling were recorded and simulated. WOPED (Workflow Petri Net Designer) software was used. Improvements were proposed, and the model was used to verify ex-ante if it was possible to implement the suggested changes. The application of the modifications was coordinated with entrepreneurs and the evaluation of results was performed.

Key Words: Production Process; Modelling; Simulation; Workflow Nets.

ÁREA TEMÁTICA: Gestión de Operaciones y Logística

1. INTRODUCCIÓN

La PyME que constituye el objeto de estudio práctico de esta investigación se denomina “H&H Maderas”, se dedica a la fabricación de cabos de madera, para escoba y escobillones (denominados comúnmente “ cabos de escoba”) de diferentes medidas (1,10 m., 1,20 m. y 1,30 m. de largo) y calidades (de “primera” y de “segunda” calidad).

La empresa está ubicada en la localidad de Oberá, provincia de Misiones, Argentina. Pertenece a dos socios, quienes se encargan de las tareas de dirección y administración. Cuenta, además, con 4 operarios destinados a tareas de producción.

La empresa tiene una producción de 4000 cabos/día, opera un total de cinco días a la semana, cuatro días dedicados a la fabricación, y uno (viernes) dedicado al empaquetado y armado de pallets (4500 cabos) para su carga y posterior transporte al cliente (actividad tercerizada).

El trabajo presentado forma parte de una investigación más amplia desarrollada en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones (UNaM) a través de la cual se busca aplicar herramientas de la Ingeniería Industrial y contribuir a mejorar el conocimiento de la PyME local y su problemática. Incluye la aplicación de las Redes de Flujo de Trabajo derivadas de las Redes de Petri clásicas y su utilización para modelar y simular los procesos clave de la firma. En esta oportunidad se presenta y describe el modelado y análisis del proceso de producción. A partir de lo anterior, se establece como objetivo general:

- ✓ Modelar el proceso de producción mediante una red de Flujo de Trabajo y utilizarlo para verificar ex - ante la factibilidad de ejecución de las modificaciones que se desea introducir.

Los objetivos específicos son:

- ✓ Documentar las actividades que componen el proceso de producción con los recursos necesarios para su ejecución.
- ✓ Modelar el proceso mediante una Red de Flujo de Trabajo derivada de las Redes de Petri y simular su operación.
- ✓ Utilizar el modelo de Red de Flujo de Trabajo para comprobar ex - ante la factibilidad de ejecución de cambios propuestos en el proceso.

1.1. Revisión de la literatura

Las Redes de Petri (RdP) constituyen un caso particular de grafo dirigido, ponderado y bipartito, compuesto por dos tipos de nodos: tipo lugar (places) y tipo transición (transitions), conectados a través de arcos orientados, los que pueden conectar los nodos tipo lugar a los nodos tipo transición o viceversa [1, 2].

Un nodo tipo lugar puede contener un número positivo o nulo de marcas (también denominadas “fichas” o “tokens”), las que se representan por un punto en el interior de la circunferencia correspondiente. Un conjunto de marcas que se asocian a un instante determinado y a cada uno de los lugares constituye lo que se conoce como marcado de la RdP.

El disparo de una transición consiste en quitar una marca a los lugares de entrada y añadir una marca a los lugares de salida.

Matemáticamente, una RdP puede definirse como la quintupla siguiente [3]:

$$\text{RdP} = (\mathbf{p}, \mathbf{t}, \mathbf{a}, \mathbf{W}, \mathbf{M}_0) \quad (1)$$

Donde:

$\mathbf{p} = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_m\}$ conjunto de nodos tipo lugar

$\mathbf{t} = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_n\}$ conjunto de nodos tipo transición

$\mathbf{a} = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$ conjunto de arcos de la RdP

$\mathbf{W} = \mathbf{a}_i: \{1, 2, 3, \dots\}$ peso asociado a cada arco

$\mathbf{M}_0 = \mathbf{p}_i: \{1, 2, 3, \dots\}$ número de marcas iniciales (“fichas” o “tokens” según la literatura) en cada nodo tipo lugar.

Una RdP puede ser estudiada formalmente a través de su estructura matemática, y gráficamente a través de su representación en forma de grafo dirigido, en el cual es posible formalizar clientes o peticiones, recursos y procesos como marcas iniciales situados en los nodos tipo lugar.

Las Redes de Petri son una herramienta gráfica y matemática que cuentan con una representación funcional, utilizada en diferentes sistemas (dinámicos, discretos y concurrentes) para modelar su comportamiento. Permiten describir las relaciones existentes entre condiciones y eventos que se presentan en los sistemas del mundo real [3, 4]. Con la información formalmente modelada, es posible evaluar el sistema, localizar errores y/o sugerir mejoras o cambios dentro del sistema [5].

Las Redes de Flujo de Trabajo (Workflow Nets) constituyen una extensión de la Redes de Petri, orientadas a la modelización de procesos de negocios. “El propósito de un sistema Workflow es la definición completa, la gestión y la ejecución de flujos de trabajo, mediante un sistema informático capaz de representar o modelizar la lógica del flujo y modernizar y controlar su ejecución de acuerdo con dicho modelo” [6-8].

Las redes Workflow combinadas con otras técnicas de la Ingeniería Industrial se muestran particularmente útiles para el registro y análisis de procesos ya que permiten documentar el proceso y obtener una representación formal, simular cambios o modificaciones y sondear ex - ante si es posible ejecutarlos sin interrupciones no demoras ocasionadas por la falta de algún recurso.

Si bien existen otras herramientas para el modelado de procesos, como la simulación de eventos discretos, la Dinámica de Sistemas, etc., se ha decidido emplear el formalismo de red de Flujo de Trabajo o red de Workflow debido a la capacidad para lograr una adecuada representación estructural y funcional del proceso, unida a la versatilidad del software utilizado para la construcción del modelo.

Una red de Workflow tiene un estado inicial de entrada y un estado final de salida únicos, y todos los componentes (nodos tipo lugar y nodos tipo transición) deben configurar componentes fuertemente conexas [6]. Gráficamente se utilizan, además, los operadores necesarios para representar correctamente las condiciones de los procesos, como ser: AND-split (un nodo tipo lugar llega a una transición, de la que salen varios); AND-join (varios nodos tipo lugar llegan a una transición y sale uno solo); XOR-split (dos o más transiciones que salen a partir de un nodo tipo lugar); XOR-join (un solo nodo tipo lugar que une las salidas de dos o más transiciones). En la Figura 1 se presenta parte de una red de Flujo de Trabajo donde se pueden apreciar sus los elementos básicos.

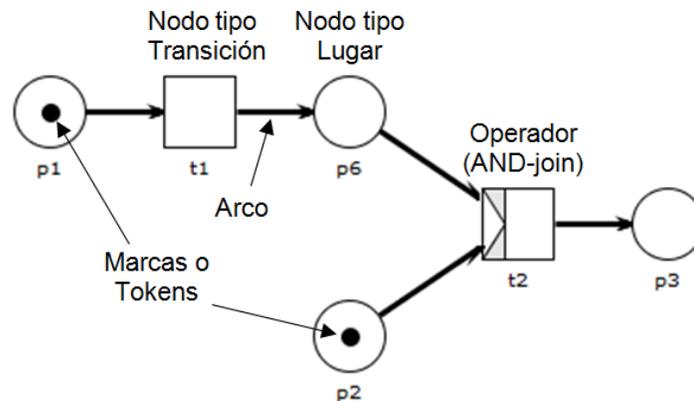


Figura 1. Elementos básicos de una Red de Flujo de Trabajo

2. METODOLOGÍA

Se llevaron adelante las etapas y pasos siguientes:

- ✓ Identificar y describir el proceso de producción. Para ello se realizó un relevamiento de tareas en la PyME mediante inspecciones visuales, mediciones in situ, entrevistas a los empresarios,

operarios y análisis de documentación disponible en la empresa con la finalidad de recabar los datos necesarios y documentar el proceso.

- ✓ Proceder a la modelación y simulación del proceso mediante una red de Workflow. Se utilizó el software WoPeD (WorkFlow Petri net Designer) v. 3.2.0.
- ✓ Analizar críticamente el proceso, proponer modificaciones tendientes a optimizarlo y verificar la factibilidad de ejecución ex-ante mediante el modelo elaborado.
- ✓ Orientar en la aplicación de las alternativas seleccionadas por los empresarios de acuerdo a los recursos disponibles, y evaluar los resultados obtenidos.

3. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CABOS DE MADERA

Se realizaron visitas a la PyME, donde se identificaron las actividades que se desarrollan como parte del proceso de producción de cabos para escobas y escobillones, se determinaron los parámetros cualitativos y cuantitativos que las caracterizan mediante consultas a los dueños, a los operarios, y a través de mediciones (distancia entre máquinas, tiempos, etc.), las que permitieron documentar el proceso: En la Figura 2 se muestra un pictograma representativo de las etapas del proceso de producción



Figura 2. Proceso de producción de cabos en H&H Maderas

Las etapas componentes del proceso se describen a continuación.

3.1. Planchada de varillas

Consiste en un espacio al aire libre reservado para el gradeo (apilado de las varillas con espacios intermedios para permitir la circulación de aire y facilitar el proceso de secado al aire libre) de la materia prima (varillas de sección cuadrada de 1 x 1 pulgada y 125 a 135 cm de largo)

3.2. Traslado con el Autoelevador

El traslado de la materia prima se realiza en dos etapas: En una primera etapa, un operario, con ayuda de un autoelevador, traslada la materia prima que se encuentra en condiciones de ser procesada hacia el galpón hasta llenar el espacio disponible en el mismo para tal fin (aproximadamente 40000 varillas secas), las que luego se trasladan hacia el Centro de Trabajo a medida que se utilizan, a razón de un pallet por vez.

3.3. Torneado

En este centro de trabajo, un operario introduce las varillas en el torno, una a continuación de la otra, de manera que la maquina se encuentre trabajando de forma continua, La producción promedio es de 400 a 450 varillas/hora. Las varillas torneadas (cabos), se depositan en un espacio destinado para tal fin, a la espera de ser procesadas por el próximo centro de trabajo.

3.4. Despuntado

Mediante una sierra circular, se procede a despuntar entre 2 y 4 cabos en forma simultánea, en diferentes medidas (1,10; 1,20 y 1,30 m. de largo) dependiendo de la longitud y de las fallas que presentan los mismos. El mismo operario se encarga de realizar un control de calidad de las varillas torneadas, descartando aquellas que no cumplen con los requisitos mínimos de calidad establecidos.

3.5. Perillado

Se redondea uno de los extremos del cabo previamente despuntado, la maquina destinada para tal fin tiene una capacidad de 700 cabos/hora, depositándolos posteriormente en un contenedor para la disponibilidad del siguiente centro de trabajo. El operario de éste CT alterna sus actividades entre el CT perillado y el CT de lijado.

3.6. Lijado de los cabos

La máquina posee dos entradas, lo que brinda la posibilidad de lijar dos cabos al mismo tiempo. El operario introduce dos cabos en la lijadora, uno a continuación del otro, de manera que la maquina se encuentre trabajando la mayor cantidad de tiempo posible. Esta máquina tiene una capacidad productiva promedio de 1200 cabos/hora.

3.7. Roscado

Los cabos de 1,20 m. y 1,30 m., llevan rosca del tipo italiana cónica estándar en el extremo opuesto al extremo perillado. Dichas roscas se realizan en el sector de roscado empleando una roscadora para tal fin, esta máquina posee una capacidad productiva promedio de 700 cabos/hora.

Para realizar el roscado (únicamente en cabos de 1,20 m. y 1,30 m.), se emplea una máquina roscadora. El operario toma un cabo, posiciona el extremo no perillado próximo a la roscadora e introduce el cabo en la máquina. Una vez finalizada la rosca, el cabo roscado se deposita en un contenedor, previa clasificación según las calidades del mismo.

3.8. Clasificación

Los cabos son seleccionados en 1° y 2° dependiendo del tipo de falla que posea de acuerdo a la calidad.

3.9. Empaquetado o enfardado

Los cabos se empaquetan en atados de 50 cabos, para tal fin se disponen de tres mesas de empaquetado con un trabajador en cada una, alimentadas a cada mesa con cabos por el cuarto operario. seguidamente mediante el uso de un hilo de polietileno se ata los cabos en fardos de 50

unidades cada uno, que luego son depositados sobre una plataforma para conformar un pallet de 4500 cabos.

3.10. Apilado

Mediante el uso del autoelevador, un operario (aquel que se encuentre disponible en ese momento) traslada los pallets hacia el el espacio de productos terminados, acomodándolos uno encima del otro, de forma entrecruzada para mantener la estabilidad de la pila, y a su vez mejorar el aprovechamiento el espacio físico disponible.

4. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A partir de la información cualitativa y cuantitativa recabada, se elaboró un modelo de Red de Flujo de Trabajo (Workflow), para lo cual se utilizó el software WoPeD (WorkFlow Petri net Designer) versión 3.2.0. Se modelaron las pre-condiciones, cada una de las actividades o tareas y las post-condiciones o resultados una vez ejecutadas, lo que permitió representar la operación de los diferentes centros de trabajo, y las reglas que determinan la evolución a través de las distintas actividades, como así también los recursos necesarios para su desarrollo (ver Figura 3).

Se verificó que el modelo elaborado se ajusta exactamente a los pasos y etapas utilizados en el proceso de producción.

Se procedió al análisis del proceso mediante técnicas de la Ingeniería Industrial como el análisis de lay-out, análisis de proceso, detección de recursos con restricción de capacidad, etc. [9-11], se efectuaron varias propuestas de modificación del proceso, las que se modelaron y ejecutaron ex – ante para comprobar su factibilidad de ejecución con los recursos proyectados. Al ejecutar la simulación se pudo comprobar en algunos casos que se requería la utilización de un recurso que estaba siendo utilizado en otra operación (por ejemplo el autoelevador, operarios), por lo que no era factible su implementación, y eran descartadas.

Se analizó la viabilidad de concretar las modificaciones propuestas con los dueños de la PyME. Finalmente, fueron seleccionadas aquellas que podían llevarse a la práctica por contar con los recursos (espacio, materiales, recursos económicos) y producir un recupero de la inversión en un tiempo aceptable desde el punto de vista de los empresarios.

Las modificaciones implementadas fueron las siguientes:

- ✓ Instalación de dos tornos en simultáneo. Con ello se logró aumentar la producción de cabos en un 100 % aproximadamente (se pasó de producir 450 a 900 varillas por hora).
- ✓ Incorporación de un operario. Con ello se pasó a realizar las tareas de empaquetado o enfardado diariamente, en lugar de hacerlo el día viernes de cada semana, lo que obligaba a suspender la producción para realizar dicha actividad. Con esta modificación, la empresa incrementó la producción semanal en un 25%, y además cuenta con mayor cantidad de producto terminado en stock para abastecer pedidos sin tener que esperar al día viernes, donde recién se realizaba la operación final de empaquetado.
- ✓ Tercerización del gradeo y la preparación de de la materia prima para su traslado hasta el primer Centro de Trabajo. Con esto se evitó que un operario (del sector de torneado) deba suspender la producción en forma periódica para efectuar estas tareas que insumían un tiempo importante.
- ✓ Incorporación de una máquina perilladora de mayor capacidad, aumentando la producción horaria de este Centro de Trabajo de 700 a 1200 varillas por hora.

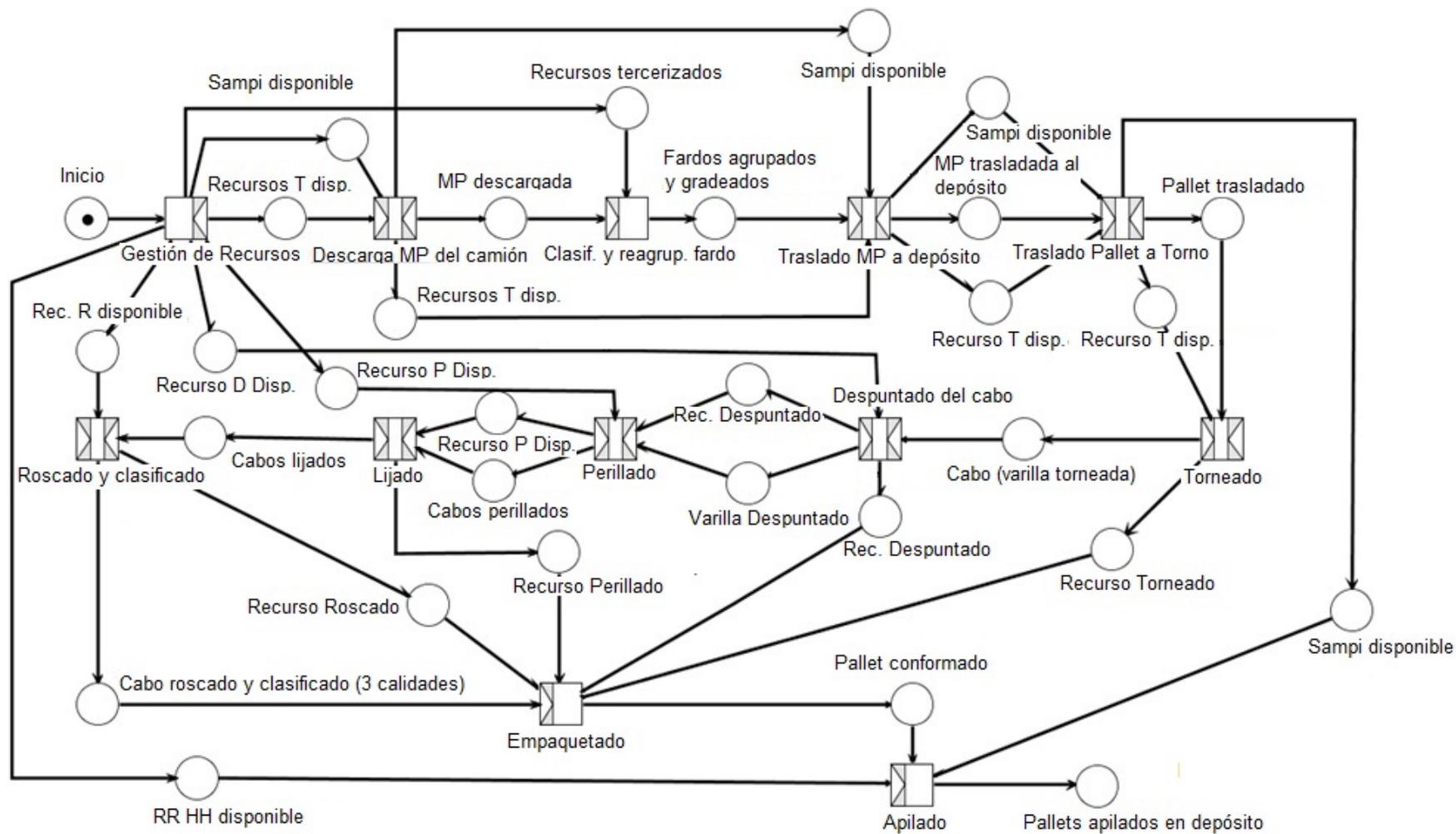


Figura 3. Red de Workflow correspondiente al proceso de producción de H&H Maderas. Fuente: Elaboración propia a partir de la aplicación del software WoPeD v. 3.2.0

Con las modificaciones implementadas se ha incrementado la capacidad disponible en un 94 %; sin embargo, ahora la limitación interna [9, 10] pasó a ser el proceso de secado de madera al aire libre, que presenta un tiempo muy largo y altamente dependiente de las condiciones climáticas. Para superarla, es necesario instalar una cámara para secado, lo que se encuentra fuera del alcance económico de la empresa, por el momento. Además, existen limitaciones en el volumen de aprovisionamiento por parte de los proveedores de materia prima (es decir, una limitación externa). Debido a estas razones el volumen de producción real de la PyME se incrementó solamente un 37 %. También se ha disminuido el tiempo de respuesta ante pedidos, lo que mejoró la calidad de atención al cliente.

5. CONCLUSIONES

Las Redes de Flujo de Trabajo constituyen una herramienta útil para el modelado de procesos de negocio, dado que permiten disponer de una representación sintética del conjunto, soportan una representación gráfica la cual provee de abundante información contenida en su estructura, que facilita la comprensión de los procesos de negocio, en este caso particular del proceso clave que genéricamente se denomina “transformación” o producción.

La Red de Flujo de Trabajo correspondiente al proceso de producción de “H&H” Maderas permitió examinar numerosas alternativas de solución y comprobar ex-ante su capacidad de ejecución con los recursos previstos, lo que ayudó a prevenir errores en los cambios proyectados para mejorar los procesos de la PyME.

Las modificaciones implementadas de manera conjunta han permitido aumentar el volumen de producción en un 37 % y mejorar la calidad de atención al cliente.

Este trabajo permitió ampliar el conocimiento de la PyME local y contribuir a mejorar su desempeño mediante la aplicación de herramientas de la Ingeniería Industrial.

6. REFERENCIAS

- [1] Castellanos, C. (2006). “Consideraciones para el modelado de sistemas mediante Redes de Petri” *Revista Ciencia e Ingeniería*. Vol. 27, N° 2. Universidad de Los Andes. Mérida, Estado Mérida, Venezuela. URL:<http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/cienciaeingenieria/article/view/File/300/319>. Acceso: mayo de 2012.
- [2] Guasch, A.; Piera, M. A.; Casanovas, J.; Figueras, J. (2003) *Modelado y Simulación: Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios*. Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Barcelona, España.
- [3] Magaña Orúe, S. (2009). *Estudio comparativo de lenguajes de modelado de procesos de negocio para su integración en procesos de desarrollo de software dirigido por modelos*. Proyecto de fin de carrera: Ingeniería en Informática. Universidad Carlos III de Madrid. Madrid, España. URL: <http://hdl.handle.net/10016/9077>. Acceso: agosto de 2010.
- [4] Garrido Daniel, S. (2005). *Modelado de workflow con redes de Petri coloreadas condicionales*. Tesis de maestría. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV). Instituto Politécnico Nacional. México, D.F.
- [5] Restrepo, L. A. (2011). “Un método computacional para la detección y caracterización de conflictos en redes de Petri”. *Revista Ingenierías*. julio - diciembre de 2011. Universidad de Medellín. Medellín, Colombia. URL: <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v10n19/v10n19a18.pdf>. Acceso: julio de 2014.
- [6] Solana González, P.; Alonso Martínez, M. y Pérez González, D. (2006). “Análisis y modelado con redes de workflow del proceso de tratamiento de experiencias operativas”. *XX Congreso anual XX AEDEM*. Academia Europea de Dirección y Economía de la Empresa AEDEM. Palma de Mallorca, España. URL: http://www.aedem-virtual.com/congresos_informacion.php. Acceso: enero de 2010.
- [7] Lozada, M. y Velasco, J. M. (2010). “Modelado dinámico basado en redes de Petri para el modelo de integración empresarial actor empresa”. *Scientia e Technica*, Año XVI , N° 44. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia. <http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/140-145l.pdf>. Acceso: febrero de 2011.
- [8] Amador Hernández, A. y Sánchez León, O. E. (2009). “Modelo de memoria organizacional soportado en "Workflow" en empresas comercializadoras mixtas”. *XII Taller Internacional de Gestión Tecnológica e Innovación GESTEC 2009*. Centro Tecnológico GAIKER, de España, TECNOSIME y DISAIC. La Habana, Cuba. URL: <http://www.gestec.disaic.cu>. Acceso: agosto de 2012.
- [9] Domínguez Machuca, J. A.; Álvarez Gil, Ma. J.; Domínguez Machuca, M. A.; García González, S.; Ruíz Jiménez, A. (1995). *Dirección de Operaciones. Aspectos estratégicos en la producción y los servicios*, Editorial Mc-Graw Hill. Madrid, España.

- [10] Chase, R.B.; Aquilano, N.J.; Jacobs, R. (2000). *Administración de Producción y Operaciones*. Mc-Graw-Hill Interamericana. 8° ed. Santa Fé de Bogotá, Colombia.
- [11] Krajewski, L.J.; Ritzman, L.P.; Malhotra, M. (2008). *Administración de operaciones. Procesos y cadenas de valor*. Pearson Educación de México S.A. de C.V. México, D. F.