

MODELADO DINAMICO BASADO EN REDES DE PETRI PARA EL MODELO DE INTEGRACION EMPRESARIAL "ACTOR DE EMPRESA".

Dynamic Modeling Based on Petri Nets Model for enterprise Integration "Enterprise Actor"

RESUMEN

En los últimos años las Mypimes colombianas se han visto afectadas en la disminución de la eficiencia de sus procesos con respecto a las grandes empresas, ya que son compañías que carecen de tecnología, y en muchos casos desconocen el concepto de integración empresarial, pues perciben que es un tema netamente propio de las multinacionales. La integración empresarial se ha venido atacando a nivel mundial, muchos han sido los esfuerzos para lograrlo, uno de ellos son las normas ISA [1], con la aplicación de estas normas hoy en día se ha tenido numerosos avances en pro del desarrollo de la industria, aunque todavía carecen de una semántica para realizar integración de software empresariales. El grupo de investigación en Automática Industrial de la Universidad del Cauca ha optado por tratar de resolver este problema mediante el modelo del "Actor de Empresa" propio de ésta institución. Por ende lo que se pretende en éste artículo es realizar el moldeamiento dinámico, que le permita por medio de un formalismo matemático prever los tipos de bloqueo que pudiera tener el modelo y su aplicación en un caso real.

PALABRAS CLAVES: Integración Empresarial, Modelado Dinámico, Normas ISA, Redes de Petri, Rockwell Arena.

ABSTRACT

In the last years the Colombian Mypimes they have met affected in the decrease of the efficiency of ,your processes with regard to the big companies, since they are companies that lack technology, and in many cases they do not know the concept of enterprise integration, since they perceive that it is a net own proper of big companies. One has come the enterprise integration attacking worldwide, many have been the efforts to achieve it, one of them they are the procedure ISA, with the application of these procedure nowadays numerous advances have been had in favor of the development of the industry. The group of investigation in Automatic Manufacturer of the University of the Cauca has chosen to address this problem by using the model of "Actor of Enterprise" own of that institution. Thus the aim in this article is to perform the dynamic modeling, enabling it through a mathematical formalism to provide the types of locks that would have the model and its application in a real case.

KEYWORDS: Dynamic Modeling, Enterprise Integration, Petri Nets, Rockwell Arena.

1. INTRODUCCIÓN

Como es conocido, la automática pretende dotar a la máquina de los atributos y procedimientos que constituyen la inteligencia humana, es decir, la toma de decisiones basada en conocimientos compartidos o aprendidos. Las tecnologías modernas de la información y las telecomunicaciones han facilitado enormemente la incorporación y el tratamiento automático de la información, lo que ha conducido a técnicas muy potentes de sistematización de procesos.

Evidentemente, estos desarrollos se han ido aplicando a una de las actividades más fundamentales del proceso social, a saber: el proceso productivo. Y el propósito final de las mismas no se limita al procesamiento de la información sino que pretende automatizar todo el proceso, integrando la manufactura y la administración con miras a alcanzar lo que se ha denominado en llamar "fábrica del futuro".

Esta tarea, que inicialmente se pensó fácilmente realizable, se ha encontrado en la práctica con múltiples dificultades, no sólo de orden tecnológico y económico, además de sus implicaciones sociales, sino, inclusive, de

MANUEL LOZADA

Ingeniero Industrial, Esp.
Estudiante Maestría
Universidad del Cauca
apipolozada@unicauca.edu.co

JUAN MARTIN VELASCO

Ingeniero Electronico, Ph.D.
Profesor de planta
Universidad del Cauca.
jmvelasco@unicauca.edu.co

orden teórico, al no disponerse aún de modelos de referencia estándar que permitan una intercomunicación expedita entre los fabricantes de equipos, los empresarios, los ingenieros y administradores, y los operarios.

El presente artículo pretende, precisamente, desde la línea de automatización industrial del Grupo de I+D en Automática Industrial, continuar el trabajo iniciado en este terreno, bajo el supuesto de que si la industria nacional pretende alcanzar metas de crecimiento significativas, no puede menos que echar mano de las tendencias tecnológicas que se están visionando e implementando en el ámbito global. Y si el éxito empresarial depende fundamentalmente de la innovación, no se puede esperar a que sean otros los que impongan sus adelantos.

El primer paso que se ha considerado necesario para ello es concebir un modelo de agente autónomo que permita servir de patrón o módulo básico de tal forma que, por incrementos crecientes de complejidad, al estilo fractal, se pueda ir construyendo por niveles sucesivos de control el andamiaje total de una empresa, cualesquiera sean estructuras, procesos y productos; cabe notar que en este artículo como primer avance se realizará la aplicación del modelo dinámico en un nivel de proceso según el nivel jerárquico de una empresa de producción.

El modelo actor de empresa es un concepto que nace dentro del grupo de investigación I+D en Automática Industrial de la Universidad del Cauca, con el propósito de establecer un enfoque que permita abordar, de una manera metodológica y sencilla, los modelos y estándares internacionales de integración empresarial [2]

Por ende y por la complejidad de este se muestra un avance del desarrollo del proyecto que se lleva hasta hora; con la presentación del modelado dinámico del modelo basado en redes de Petri.

A continuación mostraremos la filosofía en la cual se basa el modelo para dar una mayor visión al lector de lo que es el Actor de Empresa; después como segundo paso se mostrara la metodología aplicada para la extracción del Modelado Dinámico, el tercer paso se presentaran los resultados obtenidos en el caso de estudio y por ultimo en el cuarto paso se plantearan las conclusiones y los trabajos futuros del modelo.

1.1 Filosofía del Actor de Empresa

La idea que se fundamenta el modelo, en algunos caso lo llamaremos ADE, es la de aproximar la máquina al estilo humano. En consecuencia, se ha partido de dos esquemas: el primero, el de la estructura humana; el segundo, el de la acción humana. Estos modelos se muestran a continuación [2]:

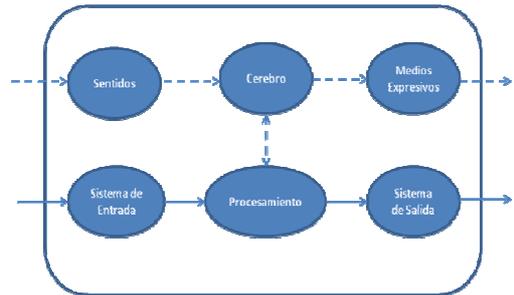


Figura 1: Esquema de la estructura humana

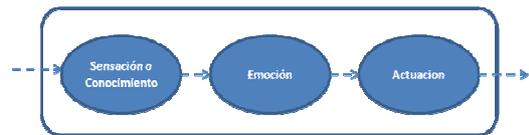


Figura 2: Esquema de la Acción Humana

El modelo del Actor de Empresa parte de la suposición de que toda la empresa y cada parte de la misma puede ser modelada a partir del esquema de la estructura humana. De esta manera, el esquema del actor de empresa sería el siguiente [2].

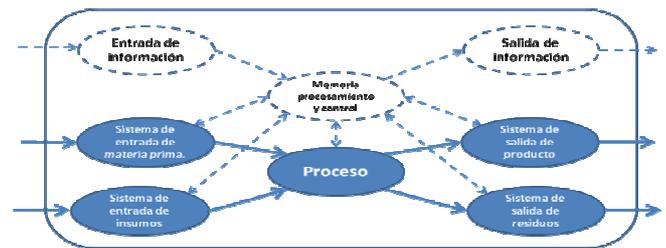


Figura 3: Esquema del Modelo Actor de Empresa

Como puede apreciarse, existen dos tipos de flujos: el flujo físico (líneas continuas) y el flujo informacional (líneas punteadas). Nótese la simetría entre ambos flujos. El flujo físico representa la secuencia que transforma la 'materia prima' y 'los insumos' en 'productos' y 'residuos' al sufrir el 'proceso'. El flujo informacional representa el intercambio de información que hace posible el 'control' del flujo físico, es decir, la secuencia del 'proceso'.

2. METODOLOGIA APLICADA PARA EL MODELO DINAMICO DEL ACTOR DE EMPRESA.

Se realizó un análisis exhaustivo a los diferentes formalismos que existen para realizar modelado dinámico como lo son Grafcet[3], Automatas Finitos[4], IDEF2 [5], UML[6]; Redes de Petri [7]. Y después de analizar las ventajas y desventajas de cada uno, se optó por utilizar las de Redes de Petri pues cumplen con el formalismo matemático necesario para el modelo Actor de Empresa.

La Red de Petri es una herramienta matemática y grafica para modelado, análisis y control de sistemas discretos. Ya que permite describir sistemas concurrentes, asíncronos, distribuidos y no distribuidos [7].

La extracción de la Red de Petri se realizo en 3 pasos que se muestran a continuación:

2.1 Modelo de Comportamiento ADE

Para precisar su comportamiento es necesario establecer el flujo que realiza los sistemas que componen el modelo ver figura 3. Por ende se construyo a manera de flujo la secuencia que realiza cada uno. Para describir el comportamiento del Actor de Empresa se utiliza la herramienta diagrama de proceso de lenguaje de especificación SDL. En este diagramas se utilizan los siguientes símbolos:

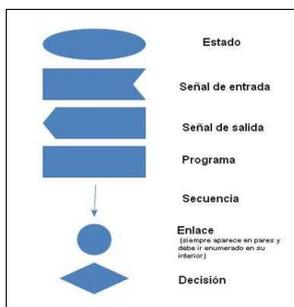


Figura 4: Simbología SDL

Los ‘estados’ son momentos de reposo en la ejecución de un procedimiento de control; las ‘señales de entrada’ son informaciones que producen la salida de un estado y el tránsito a otro o al mismo estado; los ‘bloques’ son componentes o divisiones del procedimiento, es decir, ‘unidades de procedimiento’, ‘operaciones’ o ‘fases’, que controlan etapas, operaciones de proceso o acciones de proceso. [2]

Partiendo de esta simbología el modelo de comportamiento del Actor de Empresa queda de la siguiente manera:

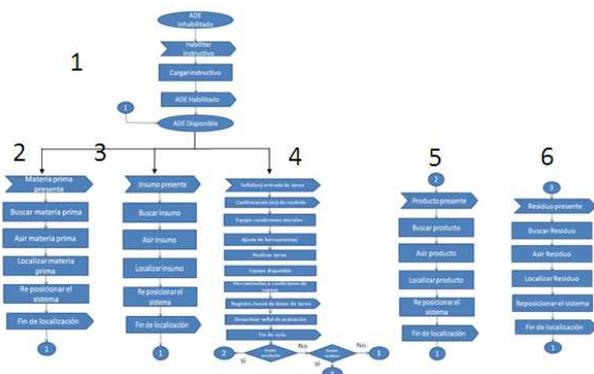


Figura 5: Modelo de Coportamiento Actor de Empresa.

En la figura anterior muestra el modelo de comportamiento del Actor de Empresa, donde el numero 1 hace parte de las funciones de Memoria Procesamiento y control, este consta de una señal de entrada que habilita el instructivo del ADE, carga el instructivo y envía una señal de Actor disponible.

Los números 2 y 3 hacen parte del sistema de entrada de materia prima y entrada de insumo; estos dos sistemas realizan las mismas funciones con materiales diferentes; lo componen una señal de entrada de Materia prima presente/insumo presente, luego realiza la operación de buscar, asir, localizar, reposicionar el sistema de materia prima/ insumo.

El numero 4 hace parte del sistema de procesado, éste está compuesto por una señal de entrada de tarea presente, una señal de salida de recibido, luego realiza las operaciones de equipo a condiciones iniciales, ajuste de herramientas, realizar tarea, equipo disponible, herramientas a condiciones de reposo, registro de tarea, fin de ciclo.

Los números 5 y 6 hacen parte del sistema de salida de producto y salida de residuo; estos dos sistemas realizan las mismas funciones con productos y residuos, este ultimo depende del tipo de tarea que se esté realizando pues de ella depende que se genere residuo o no.; también es activado por una señal de entrada, luego realiza la operación de buscar, asir, localizar, repositona el sistema de producto y residuo.

Explicado el modelo de comportamiento pasamos al segundo paso.

2.2 Definición de lugares y transiciones del Modelo Actor de Empresa.

Para el caso del modelo Actor de Empresa, la Red de Petri que construiremos es una red Autónoma de grafos de estados. Es decir:

$$\forall t \in T : | \bullet t | = | t \bullet | = 1$$

Ecuación 1: Red de Petri Grafos de Estado [7]

Definido el tipo de red se pasa a extraer los lugares del modelo ADE

Tabla: lugares Red de petri ADE

Lugar	Descripción
P1	ADE inhabilitado a la espera de una señal que lo habilite
P2	Cargar instructivo ADE
P3	ADE disponible
P4	Buscar materia prima
P5	Buscar insumo

Tabla 1: lugares Red de Petri ADE

Cabe resaltar que por forma se muestra hasta el lugar p5 pues es una red de dimensiones grandes.

Las transiciones del modelo ADE se muestra en la siguiente tabla:

Lugar	Descripción
T1	Señal de entrada que Habilita el instructivo del ADE
T2	Señal de salida, ADE habilitado
T3	Señal Materia Prima presente
T4	Señal Insumo presente
T5	Encontró materia prima
T6	Encontró insumo
T7	Materia prima tomada

Tabla 2: Transiciones de la Red de Petri ADE

2.3 Construcción de la red de Petri del modelo ADE

Para la construcción de la red de Petri del ADE se utilizó la herramienta Hpsim [8]. Esta herramienta tiene la ventaja de que es fácil de editar, y muestra la simulación del sistema de una forma clara y concisa. Una vez extraído los lugares y las transiciones, se pasó a editarla teniendo como resultado la siguiente Figura:

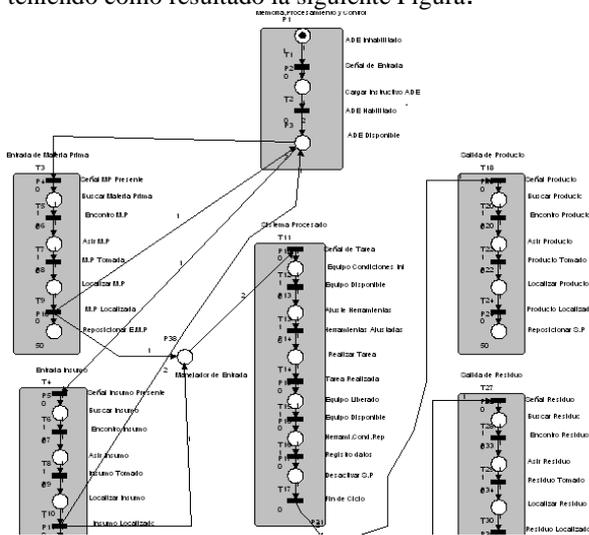


Figura 5: Modelo Dinámico ADE en Hpsim

En la Figura anterior se puede apreciar el modelo dinámico del Actor de Empresa, se puede decir que es una red de grafos marcados donde cada lugar tiene una transición de entrada al igual que una de salida. Para ello se simuló las transiciones y lugares mostrados en las Tabla 1 y 2; en esta Figura se pueden observar los sistemas que componen el ADE, donde P1 cuenta con una marca, la cual genera que el ADE esté disponible; P3 tiene una capacidad de 2 tokens, lo que hace que el

sistema de Entrada de Materia Prima y Sistema Entrada de Insumo se activen de forma dinámica para que el Sistema de Procesado pueda realizar las tareas para las cuales fue programado; en T9 y T10 se tiene una tipología tipo tenedor, donde envía la marca T9 a P38 y a P3; para T10 envía la marca a P38 y a P3; todo esto para que evolucione el marcado de la Red pues esta es una red viva. En T17 las marcas pasan a P3 para que el sistema de procesamiento quede disponible y a P31 para que el producto y residuo procesado sean enviados a los sistemas de Salida de Producto y Residuo.

3. RESULTADO OBTENIDOS

Al simular la red de Petri del modelo ADE se observa las marcas como pasan de un lugar de una manera dinámica.

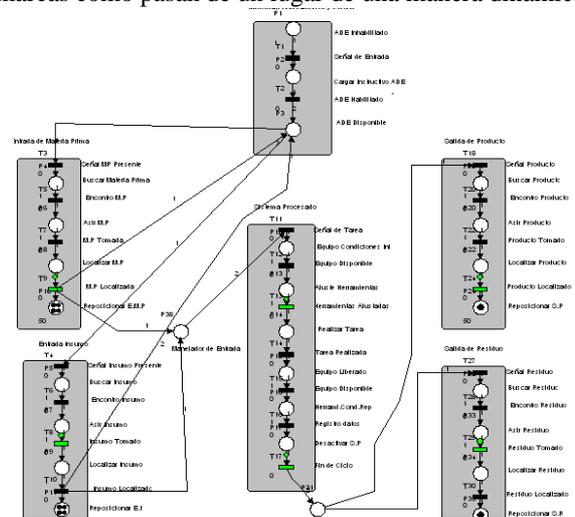


Figura 6: Modelo dinámico ADE en Ejecución

Las partes que se muestran en verde son las marcas del modelo Actor de Empresa que están pasando por sus lugares y transiciones de una forma dinámica la cual hace que una vez terminado las operaciones de cada sistema este se pone disponible a la espera de otra marca.

3.1 Comprobación Matemática Modelo Dinámico ADE

La simulación con el software HPSim no es suficiente para demostrar la clase de tipología de la red de Petri pues con este software solo se puede observar como fluyen las marcas de un lugar a otro sin generar a simple vista algún tipo de bloqueo, también no me define el tipo red del modelo.

En este caso tenemos que definir si la red es Limitada, Viva o reinicializable para esto utilizamos el software de origen francés Tina (Time Petri Net Analyzer), éste software cumple con el formalismo matemático para definir el tipo de red que nosotros buscamos.

Si la red es limitada quiere decir que un sistema físico siempre es limitado. Sin embargo, puede que se utilice una red no limitada cuando se quiere evaluar el desempeño de un sistema independiente de los límites de sus almacenamientos intermedios.

Una red marcada N es k-limitada (*bounded*) si y solamente sí, todos sus lugares son k – limitados, esto quiere decir que k es el número máximo de marcas que debe poseer un lugar. (Mosquera, 2009)

$$\forall M' \in A(R, M), M'(p) \leq k$$

Ecuacion 2: Red de Petri Limitada [7]

Para que una Transición sea Viva se dice que una transición t de una red marcada N = < R,M> es viva si y solamente si, para todas las marcaciones que están en el conjunto de “marcaciones accesibles” existe una secuencia s tal que la transición t quede activada:

$$\forall M' \in A(R, M), \exists s | M' \xrightarrow{st}$$

Ecuacion 3: Red de Petri Viva [7]

Para ser viva, una transición t debe poder ser habilitada a partir de cualquier marcación M' del grafo de transiciones accesibles, a través de una secuencia de disparo s.

Para la Red Marcada Reiniciable se dice que una red marcada N = < R,M> es reiniciable (o propia) si y solamente si, Para toda marcación M' que está en el conjunto de “marcaciones accesibles”, existe una secuencia s tal que desde M' puedo llegar a la marcación inicial M:

$$\forall M' \in A(R, M), \exists s | M' \xrightarrow{s} M$$

Ecuacion 4: Red Marcada Reiniciable [7]

Luego, a partir de cualquier marcación M' del grafo de accesibilidad, encontrar una secuencia de disparo s que lleve a la red de vuelta a la marcación inicial M.

Definido los conceptos de tipos de redes se pasa a realizar el segundo modelo dinámico de la red de Petri donde se muestra el ADE como un conjunto de sistemas:

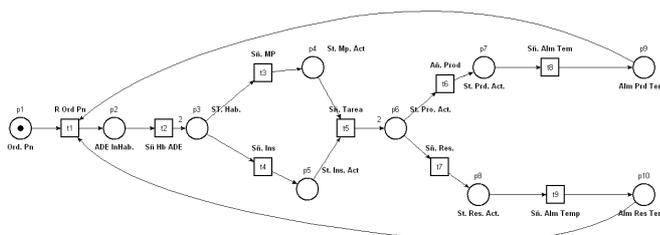


Figura 7: Red Dinámica del ADE Tina

En el segundo caso la red Petri del ADE es simulada a partir de una orden de producción; ésta habilita el ADE y envía una señal de que el sistema está habilitado; luego se pone disponible para enviar una señal de entrada de Materia prima e insumo para que sean tratados por los sistemas P4 y P5; éstos a su vez envían una señal de Tarea presente para que el sistema de procesado los trate y envíe dos señales, una de producto y otra de residuo, para ser tratados por los sistemas de salida, que los colocan en un almacenamiento temporal. Después de cumplido la labor del ADE, almacenamiento de residuo temporal de producto y residuo envían una señal de disponible para tratar otra orden de producción que se requiera.

Al realizar la simulación con el software Tina [9] se obtiene lo siguiente:

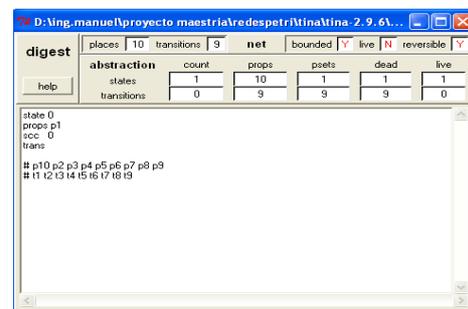


Figura 8: Resultado con Software Tina

Muestra que la red de Petri es una red limitada por que depende de su marcaje inicial para poder activar las transiciones y los estados, además de pende del numero de marcas que se hayan colocado en la orden de producción lo que hace que se limite. También esta red de Petri es reiniciable, ya que a partir de cualquier marcación M' del grafo de accesibilidad (Orden de Producción), encuentra una secuencia de disparo s que lleva de vuelta la marcación inicial M. pero la red no es viva, por la razón de que no puede ser habilitada por cualquier marcación, ya que ésta debe seguir con los parámetros y marcas que fueron establecidas.

Para observar los tipos de bloqueo de la red de Petri anterior se construyó el Árbol de alcanzabilidad de esta red utilizando la herramienta Psim [10], donde se obtuvo lo siguiente:

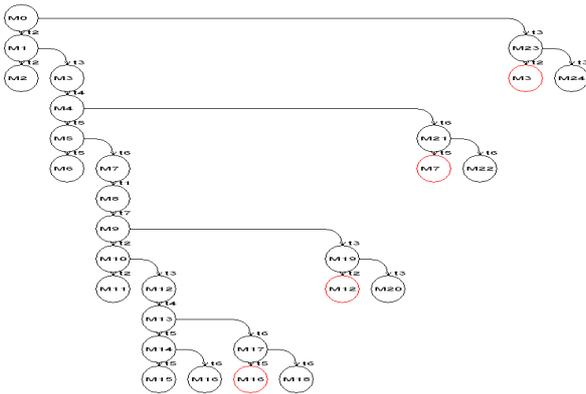


Figura 9: Árbol de Alcanzabilidad ADE

El árbol de alcanzabilidad muestra que la red genera un tipo de bloqueo en M24, M22, M20, M18, porque no se tiene otra opción de marcaje para la red; en este caso y como representación del modelo pueden existir lugares donde la red se bloquee como es el siguiente caso:

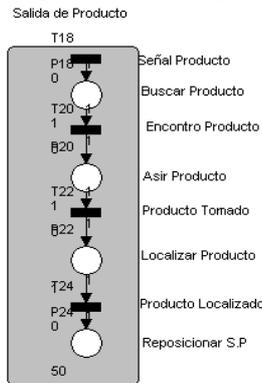


Figura 10: Sistema Salida de Producto

Un caso típico de bloqueo es el que se muestra en la figura 6, con el lugar P24 **“Re posicionar S.P”**; en este lugar, una vez ejecutada la red de Petri las marcas se van acumulando y no tienen la forma de evolucionar a otro estado debido a que las transiciones de salida de este lugar no están habilitadas para disparo, por ende, se pueden generar bloqueos, caso típico que está pasando con las marcas M24, M22, M20 y M18 del árbol de alcanzabilidad descrito anteriormente, es decir, que una vez tratado en este caso el producto las marcas se van acumulando N veces en el lugar de **“Reposicionar Sistema”** sin tener una opción de marcaje. Otro caso particular de bloqueo es el que se puede generar en la figura 3, cuando se ha habilitado solamente una orden de producción, pues se empiezan a utilizar los recursos (Sistemas del ADE) y las nuevas marcas que se generan, no tienen opción de marcaje ya que solo se cuenta con una orden de producción; en la realidad este caso es muy típico, partamos de una operación de proceso cuales quiera, como ejemplo el sistema de entrada de materia prima, este tiene una cola de producción por tratar, una vez se cumple con la cantidad de material tratado, este

podría generar un tipo de bloqueo debido a que no cuenta con más material para desempeñarse

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El artículo permite observar como las Redes de Petri son una herramienta muy útil en el modelado de procesos productivos, debido a que soportan una representación gráfica que facilita la comprensión del sistema modelado y simultáneamente posibilitan un análisis formal en el establecimiento, verificación y validación del modelo.

Con la construcción del modelo dinámico del Actor de Empresa, se obtiene una herramienta útil para visualizar y gestionar las etapas de proceso en forma sistemática a la hora de realizar integración la una con la otra. Para el ADE el grado de integración está relacionado con la capacidad del modelo para representar la interdependencia entre los sistemas correspondientes a los niveles de la empresa y sus funciones.

La posibilidad de alcanzar la integración de la empresa se basa en la disponibilidad de técnicas de modelado basados en Sistemas a Eventos Discretos, que permiten componer dinámicas de sistemas aislados basados en el intercambio de eventos.

El Actor de Empresa es una herramienta eficaz, que sirve de una manera concisa a la hora de automatizar e integrar empresas a pequeña escala.

La metodología aplicada en el artículo mostro excelentes resultados en el caso de estudio, pues proporciono de una forma clara como se tenía que ir estructurando la realidad con la teoría.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] ANSI/ISA, I. Integración de los Sistemas de la Empresa. En ANSI/ISA, *Normas ISA* (págs. 40-80). 2001
- [2] VELASCO, Juan M. Curso de CIM. Notas de Clase “Actor de Empresa”. Universidad del Cauca. 2007.
- [3] Genia. (2005). *Resumen sobre Grafcet*. 2006.
- [4] Wikipedia, Automatas finitos, 2009.
- [5] Richard, M. (1992). IDEF Family of Methods for Concurrent Engineering and Business Re-Engineering Applications.
- [6] Perez, Rene. Lenguaje unificado de modelado. Artículo.2007.
- [7] Mosquera, V. *Notas de Clase "sistema de Eventos Discretos"*. Popayan. 2009
- [8] Henryk Anschuetz.. Hpsim. Online. <http://www.informatik.uni-hamburg.TGI/PetriNets>.
- [9] *Networks*. [Online]. [Http/ Time Petri Net Analyzer](http://Time Petri Net Analyzer).
- [10] <http://www.powersimtech.com/>.