

Modelado y Control de un Sistema de Manufactura Flexible basado en Sistemas de Eventos Discretos

Ing. Socorro Susana Rodríguez Sánchez

*Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, Edo. de Méx.
socorrosusana_rodriguezsanchez@yahoo.com.mx*

Dr. Eduardo Gamaliel Hernández Martínez

*Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, Edo. de Méx.
eghm2@hotmail.com*

M. en C. Sergio Antonio Foyo Valdés

*Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, Edo. de Méx.
sergiofoyo@live.com.mx*

Ing. León Loa Pelcastre

*Tecnológico de Estudios superiores de Coacalco, Edo. de Méx.
leonloapel@yahoo.com.mx*

Área de participación: Maestría

Resumen

Este trabajo consiste en la aplicación de los conceptos de Sistemas de Eventos Discretos a través del formalismo de Autómatas de Estado Finito para la coordinación de secuencias de operación de un sistema automatizado de manufactura flexible. Se realiza un modelado de las posibles concurrencias de tareas que realizan los equipos para luego sintetizar un control supervisor que permita las secuencias que obedezcan ciertas restricciones de proceso, seguridad y compartición de recursos separadamente de los productos a realizar. La ventaja principal es la eliminación de una reprogramación total del sistema ante cambios en la producción y la mayor concurrencia posible de tareas. La estrategia aquí planteada es la primera etapa de una serie de trabajos con los que se desarrollará e implementará un software que supervise el Centro Integral de Manufactura localizado en el Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco.

Palabras clave: Autómatas de Estado Finito, Control Supervisor, Automatización.

Introducción

Un Sistema Automatizado de Manufactura Flexible (SAMF) es un sistema controlado por computadora compuesto por una configuración de estaciones de trabajo semi-independientes (por ejemplo máquinas-herramientas de control numérico) y un sistema de manejo de materiales (bandas transportadoras, robots manipuladores, almacenes) diseñado para fabricar eficientemente más de una clase de productos en un grado de pequeño a mediano volumen (Groover, 2008). Las arquitecturas de control aplicadas a los SAMF generalmente se dan en tres niveles (Bianca, 2009). En el primero y más alto se localizan los aspectos de planeación-programación del sistema donde se realiza un control relacionado a la planeación y la modificación de los planes de producción, así como mantenimiento a los equipos. En el nivel intermedio se realiza un control en la coordinación de los recursos del sistema siguiendo planes de producción detallados. En el nivel más bajo se realiza un control básico aplicado al funcionamiento de cada equipo que compone al sistema. El presente trabajo está enfocado en el nivel de coordinación de recursos (nivel intermedio) donde el sistema de control deberá habilitar secuencias de operación flexibles y concurrentes que coordinen el manejo de los materiales y procesos en el sistema y que obedezcan restricciones de seguridad, compartición de equipos, limitaciones de almacenamiento, reglas de procesos, etc. Comúnmente, la coordinación en SAMF se lleva a cabo mediante la programación de rutinas fijas (por ejemplo mediante diagramas de escalera en PLC's) cuya lógica se diseña respecto a un número limitado de productos

(Kalpakjian, 2007). Algunas de las desventajas de ésta estrategia son: (1) la necesidad de una reprogramación del sistema ante cambios de productos y (2) el requerimiento de un operador experto en programación, que conozca a priori las secuencias correctas que no dañen ni deterioren a los equipos o alteren inadecuadamente el flujo de proceso.

Los Sistemas de Eventos Discretos (SED), desde hace más de dos décadas, han abordado el caso de rutinas flexibles en SAMF, especialmente a través de Teoría de Control Supervisor (TCS) (Wonham, 2009), originalmente en su versión de supervisor monolítico hasta esquemas modulares, jerárquicos, de procedimientos, con análisis de compartición de recursos, bloqueos, etc. (ver referencias de (Wonham, 2009, Cassandras, 2008 y Caillaud, 2002)). A pesar de las grandes contribuciones teóricas en la literatura, las aplicaciones de TCS en SAMF reales han sido poco reportadas debido a que los SAMF suelen ser complejos y caros como equipo de laboratorio y muchas de las actividades de implementación de TCS están relacionadas con el entrenamiento en la operación y mantenimiento del equipo, las cuales no son de interés para la teoría de SED. Así, la contribución de este trabajo está relacionada con la implementación de un enfoque de sistema de control supervisor en plataformas comunes de programación (VisualBasic, Siemens WinCC y STEP7) que visualicen el potencial de los SED para SAMF en la industria local. El caso de estudio abordado será el Centro Integral de Manufactura localizado en el Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco (TESCo), donde el resultado es una primera versión de control supervisorio del sistema independiente de los productos que pueden manufacturarse. Esta separación va ligada con la descomposición de los procesos en fases, tal como lo plantean los estándares industriales ISA95 e ISA88 (Bianca, 2009). De esta forma, las tareas pueden ser programadas fuera de línea en sus respectivos controladores locales (PLC's y controladores embebidos) y posteriormente ser supervisadas en alto nivel para permitir la fabricación concurrente de diferentes productos, modelados también como AEF. Una de las ventajas de los AEF, a diferencia de formalismos como redes de petri, es que se obtiene el comportamiento complejo de SAMF a través de la sincronización o combinación de modelos individuales pequeños. También es posible diseñar especificaciones de seguridad, de compartición de equipos y de proceso, entre otras, para la síntesis de controladores.

El artículo está estructurado de la siguiente forma: En la sección 2 se describen los conceptos fundamentales de AES y TCS. La sección 3 presenta el caso de estudio. Posteriormente en la sección 4 se describen algunos aspectos sobre la implementación del control en la celda. Finalmente se muestran algunas conclusiones del escrito.

Conceptos generales de AES y TCS

Un evento se define como una señal asíncrona que genera un cambio espontáneo. Un SED es un sistema en el que la evolución de su estado depende completamente de la ocurrencia asíncrona de eventos a través del tiempo. La operación lógica de algunos sistemas se representa como SED, por ejemplo, el estado de un interruptor que es seleccionado como (ON, OFF); un semáforo con estados (V, A, R), etc. En (Cassandras, 2008) se dan ejemplos de aplicaciones de SED en sistemas de tráfico, bases de datos, sistemas de administración, sistemas distribuidos, protocolos de comunicación, sistemas de logística así como sistemas de manufactura, que son los que nos interesan en este escrito. Existen diferentes formalismos para el estudio de los SED, tal es el caso de las Redes de Petri (Desrochers, 2005), lenguajes formales, lógica proposicional (Caillaud, 2002) y AEF (Wonham, 2009).

Un AEF es un tipo especial de grafo capaz de representar un lenguaje de acuerdo a reglas bien definidas y se define como una séxtupla $G := (X, \Sigma, x_0, X_m, \delta, \Gamma)$ donde X es el conjunto de estados, Σ es el conjunto de eventos, $x_0 \in X$ es el único estado inicial, $X_m \subseteq X$ es el subconjunto de estados marcados, $\delta: X \times \Sigma \rightarrow X$ es la función (parcial) de transición y $\Gamma: X \rightarrow \Sigma$ es la función de eventos activos.

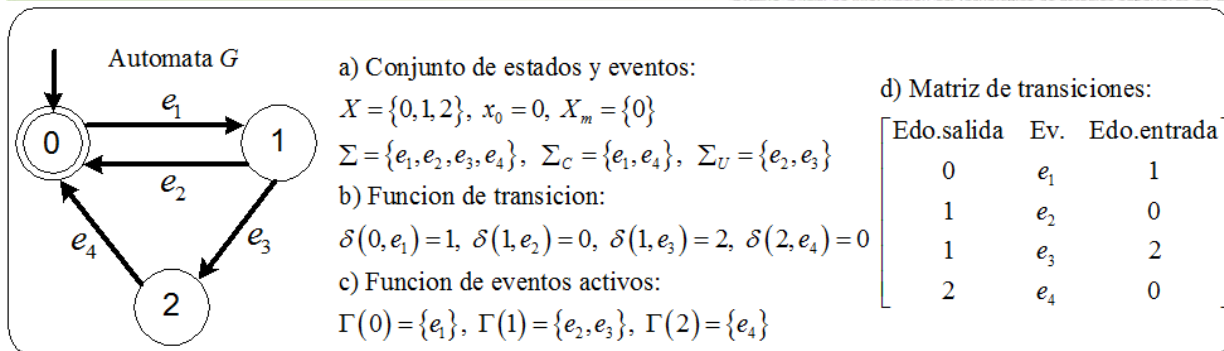


Fig. 1 Ejemplo de AES.

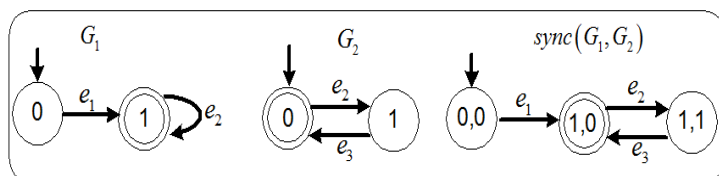


Fig. 2 Ejemplo de producto síncrono

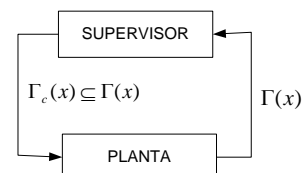


Fig. 3 Esquema de un control supervisor

Los estados marcados permiten distinguir algunos estados que tienen un significado especial, por ejemplo, pueden representar el final de un proceso o el arranque de una estación de trabajo. El conjunto de eventos Σ puede descomponerse en $\Sigma = \Sigma_c \cup \Sigma_U$, $\Sigma_c \cap \Sigma_U = \emptyset$ donde Σ_c, Σ_U son los conjuntos de eventos controlables e incontrolables, respectivamente. Un evento controlable puede ser ejecutado por un agente externo, por ejemplo la señal de un botón de arranque, un comando de arranque, etc., un evento incontrolable no puede ser inhabilitado y puede ocurrir en cualquier momento, por ejemplo, la señal de un sensor, la falla de una máquina o el fin de una tarea.

La figura 1 muestra el ejemplo de un AEF, los estados son representados por círculos y los eventos por flechas, el estado inicial es el círculo con una flecha señalando hacia él. Los estados marcados son representados con doble círculo. Se observa que el estado 0 es un estado inicial y un estado marcado. Este AEF es un ejemplo clásico de la operación lógica de una máquina. Los eventos e_1 y e_2 indican el arranque y paro respectivamente. El evento e_3 representa una falla y e_4 indica que la máquina es reparada. La función de transición del inciso b) definida para cada estado puede resumirse en la tabla de transiciones mostrada en el inciso d), la cual captura la estructura del AEF y es la representación matemática que se utiliza para el algoritmo computacional. Finalmente la función de eventos activos descrita en el inciso c) indica qué eventos pueden ser habilitados en cada estado del sistema. Como se mencionó anteriormente, es posible combinar dos o más autómatas en uno solo a través de reglas bien definidas, esto se conoce como producto síncrono (Cassandras, 2008) donde un evento común puede ser ejecutado solo si los dos autómatas lo ejecutan simultáneamente y los demás eventos no comunes o privados no están sujetos a restricciones y pueden ser ejecutados donde sea posible. Un ejemplo de producto síncrono de dos autómatas G_1 y G_2 se muestra en la fig. 2. Una de las ventajas es que esta y otras operaciones sobre autómatas pueden realizarse a través de software especializado en SED, por ejemplo el TCT, Suprémica o SSPC (Wonham, 2009, Cassandras, 2008, Sánchez, 2004).

La TCS fue desarrollada por (Wonham, 2009) y es una metodología general para verificación y síntesis de supervisores de SED. Esta consiste en obtener el modelo en AEF de una planta o proceso no controlado, obtener modelos de comportamiento deseado para el sistema mediante especificaciones y entonces sintetizar un supervisor. Formalmente, el supervisor es otro AEF que determina qué eventos pueden ser habilitados para cada estado de un AEF de planta. El esquema de control supervisor se ilustra en la fig. 3 donde se observa que la planta comunica al

supervisor los eventos activos de cada estado y entonces permite la habilitación de una parte o de todos los eventos posibles a elegir. La condición principal es que solo pueda habilitar o deshabilitar eventos controlables, es decir, eventos que físicamente se pueden accionar. La condición anterior se le conoce como condición de controlabilidad de un supervisor. El procedimiento para la síntesis de un control supervisor se resume a continuación:

1. Obtención de modelo de planta $G = sync(G_1, \dots, G_n)$ donde G_1, \dots, G_n son los modelos en AEF de cada uno de los elementos físicos operativos del sistema (robots, tornos, bandas transportadoras, AGV, etc.)
2. Obtención de modelo de especificaciones $S = sync(S_1, \dots, S_m)$ donde S_1, S_2, \dots, S_m son los modelos en AEF de cada una de las especificaciones del sistema (de seguridad, compartición de equipos, proceso, etc.)
3. Síntesis del Supervisor que se obtiene mediante la operación $SUPER = sync(G, S)$, sin embargo, si este autómatas viola la condición de controlabilidad, será necesario eliminar estados hasta encontrar un sub autómatas que satisfaga esta condición. A este último AEF se le conoce como supremo controlable (SUPCON). El software TCT desarrollado por (Wonham, 2009) implementa un algoritmo para este último supervisor.

Caso de estudio

En este trabajo se efectuó el modelado para el diseño e implementación de un supervisor de control aplicado al del SAMF del TESCo que se muestra en la fig. 4. El SAMF está compuesto de un almacén automático de materia prima de tipo carrusel hexagonal (HEX) con 6 columnas compuesta de 7 bahías cada una el cual tiene detección de plataformas (pallets) y giro automático del carrusel; un robot tipo Gantry de 5 grados de libertad montado sobre un riel de desplazamiento que lleva piezas del almacén hexagonal a un torno (TOR) de CNC o al centro de maquinado vertical (VMC) de CNC. El mismo Gantry toma las piezas maquinadas en TOR o VMC y las entrega a un robot tipo cartesiano (CART) el cual coloca las piezas en un almacén matricial (MAT) de 7 columnas con 6 bahías igualmente con detección de pallets. Tanto en HEX como en MAT se tienen asignadas columnas específicas para las piezas de trabajo de TOR o VMC y se asume que son colocadas en HEX o retiradas de MAT de forma manual. El sistema de control está integrado mediante un PLC maestro Siemens S7300 y dos PLC esclavos Siemens S7200 enlazados a los controladores locales de los robots y de las máquinas. La comunicación entre los controladores se realiza a través de una red PROFIBUS-DP (ver fig. 4).

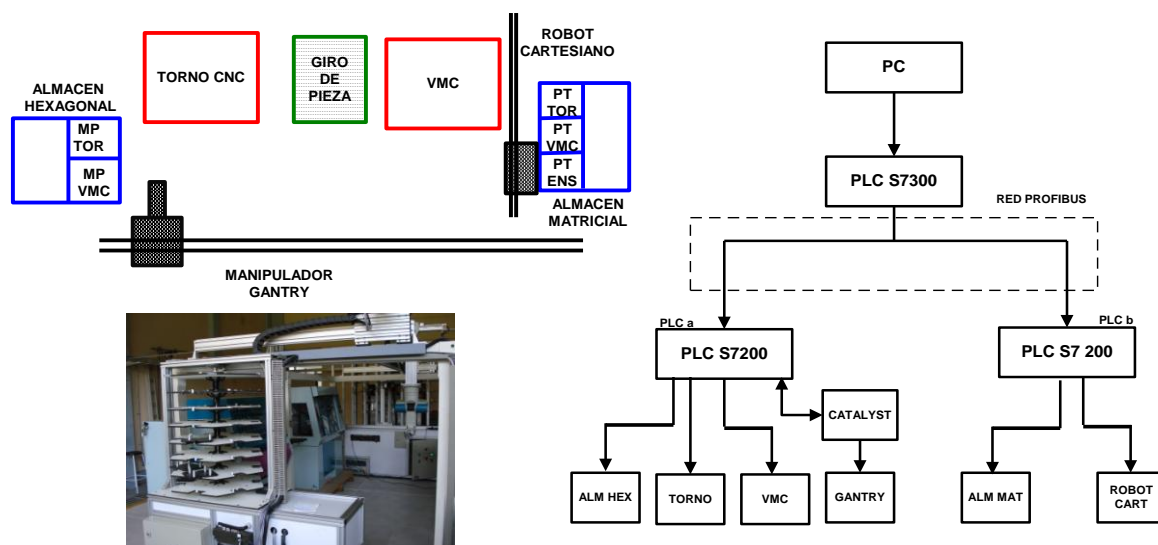


Fig. 4 Diagrama esquemático, fotografía y controladores del SAMF (Cortesía del laboratorio CIM del TESCo)

Para efectuar una primera versión del modelado mediante AES, se definieron las tareas y los respectivos eventos de inicio y fin de los componentes del sistema, tal como lo muestra la tabla 1. El modelo de planta se generó a través de la sincronización de los modelos individuales de la figura 5. Cada tarea se definió por sus eventos de inicio y fin y se asumió que cada componente físicamente solo puede realizar una tarea a la vez.

No.	DESCRIPCIÓN DE TAREA	CONTROLADORES QUE PARTICIPAN	Evento inicia	Evento termina
GAN1	GANTRY lleva piezas de HEX a TOR.	PLC _a / Catalyst	11	10
GAN 2	GANTRY lleva pieza de HEX a VMC.	PLC _a / Catalyst	21	20
GAN 3	GANTRY lleva piezas de TOR a CART.	PLC _a /Catalyst/PLC _b	31	30
GAN 4	GANTRY lleva piezas de VMC a CART.	PLC _a /Catalyst/PLC _b	41	40
CART1	CART lleva piezas de GAN a la columna de producto terminado del TOR en el almacén MAT	PLC _b	51	50
CART2	CART lleva piezas de GAN a la columna de producto terminado del VMC en el almacén MAT	PLC _b	61	60
TOR1	TOR realiza su operación	Controlador Torno	71	70
VMC 1	VMC realiza su operación	Controlador VMC	81	80

Tabla I. Definición de tareas y eventos.

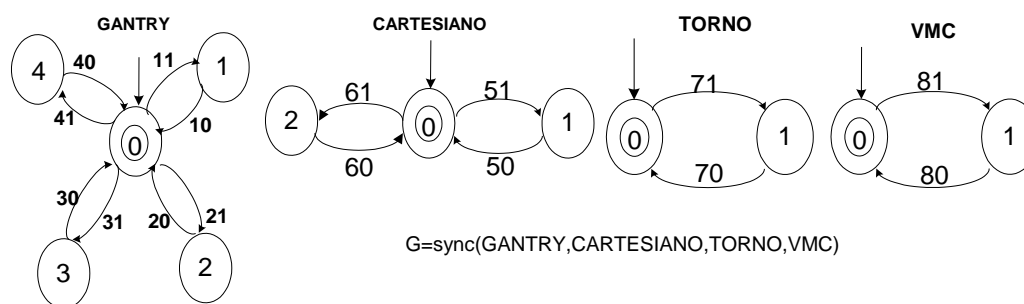


Fig. 5 Obtención del modelado de los planta del SAMF.

Para delimitar condiciones de operación y de seguridad, entre otras, que permitan el trabajo adecuado del sistema se efectuó el modelado de los autómatas para cada especificación, como se muestra en la Tabla II. El autómata de planta obtenido mediante la síntesis de tareas con el programa TCT correspondió a 60 estados y 296 transiciones. (No se presenta en este escrito debido a su tamaño). El AEF total de especificaciones se obtiene como $S = sync(ESP_1, \dots, ESP_{1b})$ de 20,736 estados y 119,800 transiciones. Se observa que en cada especificación se establecen las precedencias lógicas de los eventos que intervienen en dicho comportamiento y los demás eventos que no participan se colocan como autolazos en cada estado. Esto se realiza para que, al obtener la especificación total del sistema, se restrinja al mínimo posible sus secuencias, sin que se vean afectadas por la lógica de las especificaciones y por lo tanto, permita la mayor concurrencia de tareas. Cabe mencionar que el diseño de especificaciones es la parte más crucial y complicada del procedimiento general. Finalmente, la síntesis del supervisor se logró mediante la combinación del autómata de planta y el autómata de especificaciones a través del procedimiento SUPCON del software TCT. El autómata SUPER resultante es de 4580 estados y 11292 transiciones.

Implementación del Control Supervisor

El esquema de implementación del control supervisor se muestra en la figura 6. Las tareas de la Tabla 1 son programadas en los controladores locales de los equipos. Como algunas tareas están relacionadas con la interacción de dos o más controladores, entonces será necesaria la comunicación vía PROFIBUS-DP entre controladores. Entonces los eventos de inicio y fin de

tareas son comunicados vía PROFIBUS-DP a una computadora donde se utilizará una aplicación de software basada en SED, la metodología de este software denominado SIMDES fue inicialmente propuesta en (Hernández, 2005) para prototipos de SAMF (la ventana de la aplicación se muestra en la figura 7). Los autómatas de planta y supervisor son cargados en el software y entonces, el algoritmo de control ejecuta las transiciones de ambos autómatas concurrentemente de manera que los eventos de la planta son habilitados solo si el supervisor lo permite. El usuario puede seleccionar manualmente los eventos o estos pueden ser ejecutados automáticamente de acuerdo a una lista de productos a fabricarse. Finalmente es importante señalar que bajo el esquema de control supervisor, como lo muestra la fig. 6, se ve una clara separación de las concurrencias de tareas de bajo nivel, el control de las especificaciones del sistema a través del supervisor y los productos que realiza el sistema. Por lo tanto, para cambios en los planes de producción, solo basta modificar vía software los AEF de productos y entonces, el supervisor se encargará de vigilar la manufactura de dichos productos obedeciendo las especificaciones mostradas en la tabla 2.

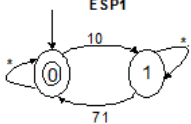
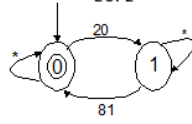
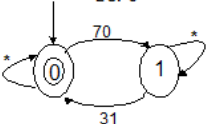
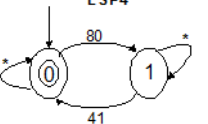
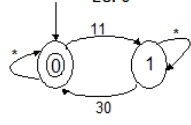
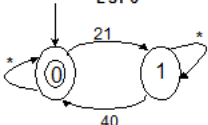
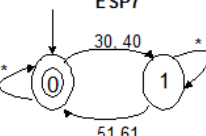
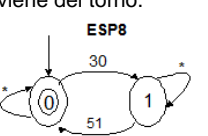
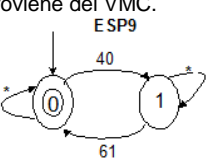
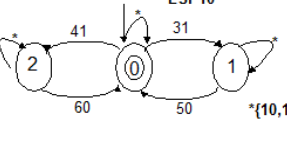
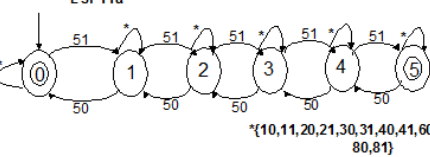
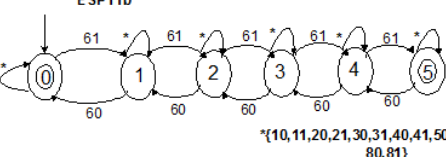
<p>1. TOR no puede operar hasta que el Gantry le haya colocado una pieza a ser maquinada.</p> <p>ESP1</p>  <p>*{11,20,21,30,31,40,41,50,51,60,61,70,80,81}</p>	<p>2. VMC no puede operar hasta que el Gantry le haya colocado una pieza a ser maquinada.</p> <p>ESP2</p>  <p>*{10,11,21,30,31,40,41,50,51,60,61,70,71,80}</p>
<p>3. No se permite que Gantry tome pieza TOR hasta que éste concluya su operación.</p> <p>ESP3</p>  <p>*{10,11,20,21,30,40,41,50,51,60,61,71,80,81}</p>	<p>4. No se permite que Gantry tome pieza de VMC hasta que éste concluya su operación.</p> <p>ESP4</p>  <p>*{10,11,20,21,30,31,40,50,51,60,61,70,71,81}</p>
<p>5. No se permite que Gantry lleve piezas a TOR hasta que la pieza anteriormente fabricada en torno haya sido retirada.</p> <p>ESP5</p>  <p>*{10,20,21,31,40,41,50,51,60,61,70,71,80,81}</p>	<p>6. No se permite que Gantry lleve piezas a VMC hasta que la pieza anteriormente fabricada en VMC haya sido retirada.</p> <p>ESP6</p>  <p>*{10,11,20,30,31,41,50,51,60,61,70,71,80,81}</p>
<p>7. No se permite que el CART opere hasta que el Gantry le haya colocado una pieza.</p> <p>ESP7</p>  <p>*{10,11,20,21,31,41,50,60,70,71,80,81}</p>	<p>8. CART coloca pieza en las bahías del almacén matricial asignadas para producto terminado de torno solo si la pieza proviene del torno.</p> <p>ESP8</p>  <p>*{10,11,20,21,31,40,41,50,60,61,70,71,80,81}</p>
<p>9. CART coloca pieza en las bahías del almacén matricial asignadas para producto terminado de VMC, solo si la pieza proviene del VMC.</p> <p>ESP9</p>  <p>*{10,11,20,21,30,31,41,50,51,60,70,71,80,81}</p>	<p>10. El Gantry no puede colocar piezas en el CART hasta que éste haya colocado su pieza anterior en el almacén matricial.</p> <p>ESP10</p>  <p>*{10,11,20,21,30,40,51,61,70,71,80,81}</p>
<p>11a. El almacén matricial solo tiene espacio para 5 piezas provenientes del TOR.</p> <p>ESP11a</p>  <p>*{10,11,20,21,30,31,40,41,60,61,70,71,80,81}</p>	<p>11b. El almacén matricial solo tiene espacio para 5 piezas provenientes del VMC.</p> <p>ESP11b</p>  <p>*{10,11,20,21,30,31,40,41,50,51,70,71,80,81}</p>

Tabla II. Modelado de AES para especificaciones del sistema.

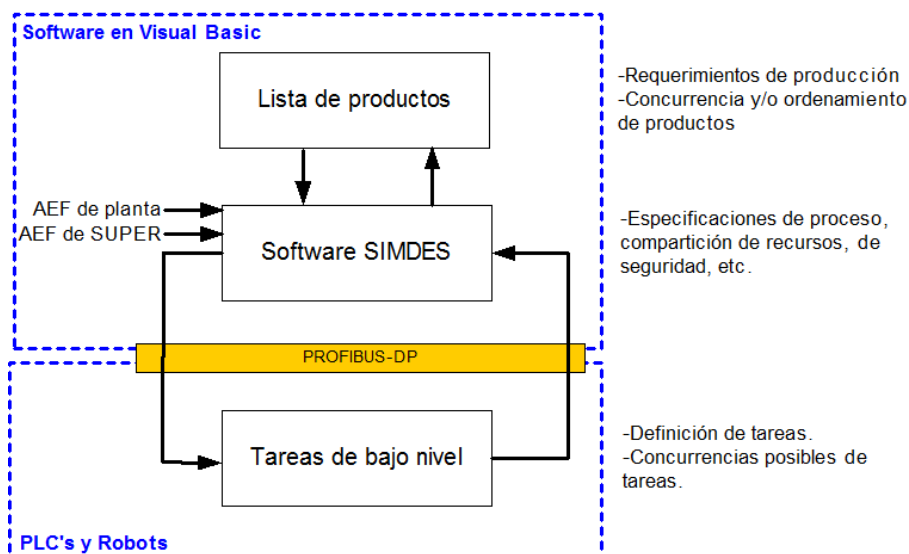


Fig. 6 Implementación del control supervisor

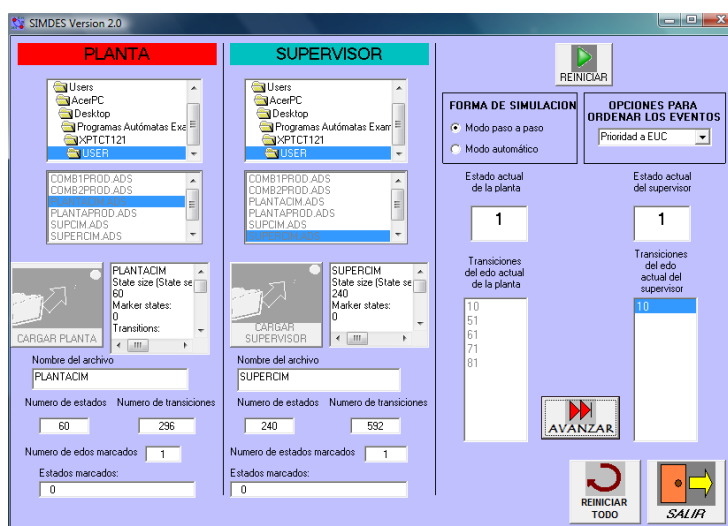


Fig. 7 Software de simulación/control del SAMF

Conclusiones

En este trabajo se modela en AEF las capacidades operativas de un SAMF y se obtienen controladores basados en TCS que delimitan las secuencias del sistema para que obedezcan restricciones de proceso, seguridad o compartición de equipos. Como resultado, el control de coordinación "basada en tareas" permitirá que el usuario, desde un software de alto nivel, ordene las tareas para fabricar varios productos. La ventaja de esta coordinación es la mayor flexibilidad del sistema, la visualización de rutas óptimas de proceso, el cuidado del equipo a través del diseño de especificaciones y la posibilidad de cambios de planes de producción sin la necesidad de reprogramarlo. La contribución principal radica en la implementación del esquema de control en plataformas comunes de programación tal como VisualBasic ligado a Siemens WinCC comunicado a una red de PLC's y controladores embebidos, de tal manera que acerquen estos conceptos a la industria de manufactura local. Incluso, se pretende que la aplicación de software desarrollada en este proyecto se convierta en un software de integración industrial para SAMF similares.

Es pertinente aclarar que el modelado obtenido para este trabajo constituye el inicio de un proyecto de mayor complejidad que tiene por objetivo el estudio de integración total del SAMF ubicado en el Tecnológico de Estudios superiores de Coacalco. Como trabajo futuro se contempla la modificación y puesta en marcha de otros esquemas de control supervisorio y redes de petri que contribuyan a la literatura de los SED.

Agradecimientos

Al COMECYT, por el apoyo económico para el desarrollo de este trabajo.

Referencias

- ¹ M.P. Groover, *Automation, Production Systems and Computer Integrated Manufacturing*, Prentice Hall, 2008.
- ² S. Bianca, *The road to integration; a guide to applying the ISA-95: standard in manufacturing*, ISA, 2009.
- ³ S. Kalpakjian, *Manufacturing engineering and technology*, Pearson Education, 2007.
- ⁴ W. M. Wonham. *Notes on Control of Discrete-Event System*. University of Toronto, 2009.
- ⁵ C. G. Cassandras and S. Lafortune. *Introduction to Discrete Event Systems*. Kluwer Academics, 2008.
- ⁶ A. Desrochers y A. Jaar. *Applications of Petri Nets in Manufacturing Systems*. IEEE Computer Society Press, 1995.
- ⁷ B. Caillaud, P. Darondeau, L. Lavagno, and X. Xie. *Synthesis and Control of Discrete Event Systems*. Kluwer Academic Publisher, 2002.
- ⁸ A. Sanchez and J. Douriet. *Synthesis of a class of discrete-event controllers for forced actions*, IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, 2004.
- ⁹ E.G. Hernández-Martínez, *Modelado y control jerárquico-modular de la coordinación de recursos de sistemas de manufactura flexible*, Tesis de maestría, CINVESTAV-IPN, 2005.

Acerca del autor

La Ing. Socorro Susana Rodríguez Sánchez estudió la licenciatura en Ingeniería Industrial en Eléctrica en el Instituto Tecnológico de Tlalnepanitla. Actualmente está concluyendo los estudios de posgrado de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Industrial del TESCo y trabaja como profesora de la División de Ingeniería Electromecánica de la misma Institución. Sus principales áreas de interés son SED aplicados a sistemas automatizados de manufactura.

El Dr. Eduardo Gamaliel Hernández Martínez estudió la licenciatura en Ingeniería Electrónica en el Instituto Tecnológico de Orizaba. Posteriormente se graduó como Maestro en Ciencias y Doctor en Ciencias en Mecatrónica en el CINVESTAV-IPN. Actualmente es profesor de tiempo completo de la Unidad de Estudios de Posgrado e Investigación del TESCo. Sus principales áreas de interés son sistemas de eventos discretos aplicados a sistemas automatizados de manufactura, robótica móvil y sistemas multiagentes.

El M. en C. Sergio Antonio Foyo Valdés estudió la licenciatura en Ingeniería Electrónica y Comunicaciones en ESIME. Posteriormente se graduó como Maestro en Ciencias en Mecatrónica en el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Actualmente es profesor de tiempo completo de la Unidad de Estudios de Posgrado e Investigación del TESCo. Sus principales áreas de interés son los sistemas de automatización.

El Ing. León Loa Pelcastre estudió la licenciatura en Ingeniería Electromecánica en el Instituto Tecnológico de Tlalnepanitla. Actualmente está concluyendo los estudios de posgrado de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Industrial del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco y trabaja como profesor de la División de Ingeniería Electromecánica de la misma Institución.

Autorización y renuncia

Los autores del presente artículo autorizan al Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco (TESCo) para publicar el escrito en la Revista de Divulgación Institucional TESCOATL. El TESCo o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que está expresado en el escrito.