

Diseño de un control jerárquico por medio de sistemas de eventos discretos para el Sistema Mecatrónico I de Fischertechnik

Luis Alonso Córdova Medina¹, Javier Molina Salazar¹,
Maribel Gomez Franco¹, Erwin Adan Martinez Gomez¹

¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Resumen

En este trabajo se propone el modelado sistemático y ordenado de una celda didáctica de Fischertechnik (Sistema Mecatrónico I) por medio de sistemas de eventos discretos (SED) para diseñar un control jerárquico por medio de la teoría de control supervisor. El supervisor jerárquico será implementado en un PLC. El enfoque de este trabajo es desarrollar controladores controlables para supervisores de alto nivel o jerárquicos, mínimamente restrictivos, no bloqueantes y no conflictivos para sistemas flexibles de manufactura por medio de SED.

Palabras clave: Sistemas Flexibles de Manufactura (FMS), Sistema de Eventos Discretos (SED), Autómatas, Control Lógico Programable (PLC), Teoría de Control Supervisor (TCS), Control jerárquico.

Introducción

Los sistemas de eventos discretos (SED) son una herramienta de análisis que ha tomado gran notoriedad durante las últimas décadas debido a que son capaces de modelar muchos fenómenos orientados hacia alguna aplicación en la industria. A través del modelado de máquinas de estado finito o autómatas (Foyo 2010) y teoría de control supervisor (Wonham 2010), se puede obtener una arquitectura jerárquica de control, la cual permite reducir la complejidad de las tareas de síntesis del supervisor. La estructura de un control jerárquico es muy útil en

sistemas integrados ya que permite descomponer un sistema complejo en varios subsistemas.

El estudio y control será implementado solo en el módulo del centro neumático del Sistema Mecatrónico I de Fischertechnik el cual emula un proceso de un FMS, y se utilizará un PLC Microllogix 1500 (Rockwell Automation 2002) para implementar el control, el PLC es un equipo especialmente diseñado para el control de máquinas y procesos en ambientes industriales, la programación escalera es comúnmente la más utilizada

para el PLC, por lo cual en este trabajo se realizará la programación en diagramas escalera.

El resto del documento está organizado de la siguiente forma. En la sección II es introducida la celda didáctica Fischertechnik con la descripción de sus principales elementos. Sección III Teoría de Control supervisor donde se explica la manera de lograr la síntesis del supervisor

y el estándar ISA-88. Sección IV Síntesis del supervisor se presentan los modelados de los autómatas de los componentes elementales y las especificaciones funcionales. Sección V Control jerárquico aquí se propone al supervisor obtenido en la sección anterior como la planta y se genera un supervisor de alto nivel. En la sección VI Implementación del supervisor jerárquico en el PLC. Sección VII Conclusiones.

Celda didáctica Fischertechnik

Los módulos del Sistema Mecatrónico I (Fischertechnik) son una herramienta económica, práctica y versátil que permite analizar el proceso de un FMS. Este tipo de celdas didácticas ayudan en la enseñanza y en la investigación por su bajo costo en comparación con un FMS real. La celda didáctica está compuesta

por cuatro módulos los cuales tienen integrados sensores y actuadores en la Figura 1 y en la Tabla 1 se observa la descripción de la celda didáctica, estos módulos poseen la capacidad de ser controlados por un PLC de forma conjunta o por separado.

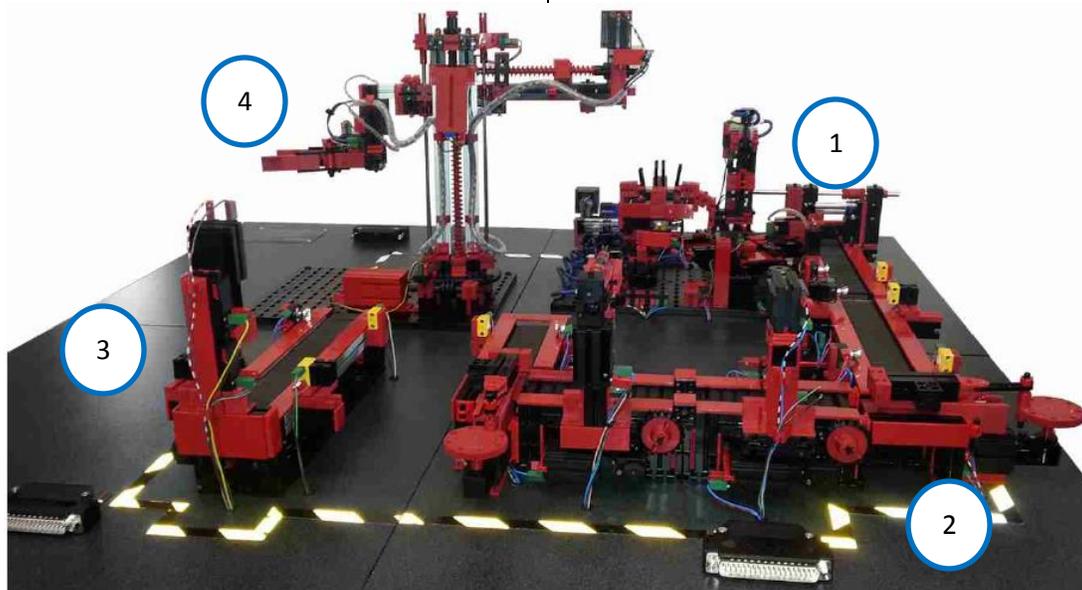


Figura 1. Módulos del Sistema Mecatrónico I
 Tabla 1 Composición de la celda didáctica de Fischertechnik

1	Módulo Centro Neumático
2	Modulo Centro de Maquinados
3	Módulo Centro de Prensado
4	Módulo Robot de 3 ejes con manipulador de piezas cilíndricas

Centro neumático. Funciona como un almacén encargado de mandar las piezas al proceso por medio de un pistón de doble efecto, la pieza es transportada por un plato giratorio que lleva la pieza a la prensa donde es troquelada, después el mismo plato giratorio lleva la pieza al área de descarga y es introducida en la banda transportadora por medio de otro pistón de doble efecto.

Centro de maquinado. Está compuesto por 4 bandas transportadoras independientes, 2 máquinas de trabajo

(fresadora y barrenado) y 2 pusher los cuales se encargan de cambiar de dirección del recorrido de la pieza.

Centro de prensado. Está compuesto por una banda transportadora y una máquina de trabajo (prensa para troquelar).

Robot de 3 ejes con manipulador de piezas cilíndricas. Se encarga de transportar las piezas entre los módulos, centro de maquinado al centro de prensado y del centro de prensado al centro neumático para almacenar.

Teoría de Control Supervisor (TCS)

La TCS es una teoría de síntesis de supervisor de SED para sistemas de manufactura, la cual consiste en realizar el modelo de la planta y el comportamiento deseado del sistema (especificaciones funcionales) por medio de autómatas de estado finito para después sintetizar un supervisor el cual garantiza que el controlador en lazo cerrado cumpla con las propiedades especificadas, cada supervisor sintetizado es realizado como un FMS $G = (Q, \Sigma, \delta, q_0, Q_m)$ (Wonham 2010) donde Q : es el conjunto de estados, Σ : conjunto de eventos, δ : función de transición parcial $\delta: Q \times \Sigma \rightarrow Q$, q_0 : estado inicial y Q_m : es el subconjunto de estados

marcados ($Q_m \subseteq Q$) del autómata. El conjunto de eventos está compuesto por eventos controlables (Σ_c) y eventos incontrolables (Σ_u) por lo cual $\Sigma = \Sigma_c \cup \Sigma_u$.

La obtención del supervisor o supervisores siguiendo el procedimiento de ISA-88, dará resultado en el emparejamiento de las fases de los equipos y la unidad procedural. Hay una gran variedad de tareas que se pueden programar para seguir un proceso de producción, se utilizará el procedimiento de ISA 88 (ISA-88 2010) para generar las recetas procedurales, los modelados de equipos y el control procedural son las

partes estándar del proceso. El supervisor de fases trata con los componentes asociados con la unidad de equipos mientras que el supervisor de la unidad procedural debe encargarse de cumplir las ejecuciones de seguridad de las fases

como fueron solicitadas por el programa de producción, en la figura 2 se muestra el modelo de equipo y el modelo procedural del centro neumático siguiendo el estándar ISA-88.

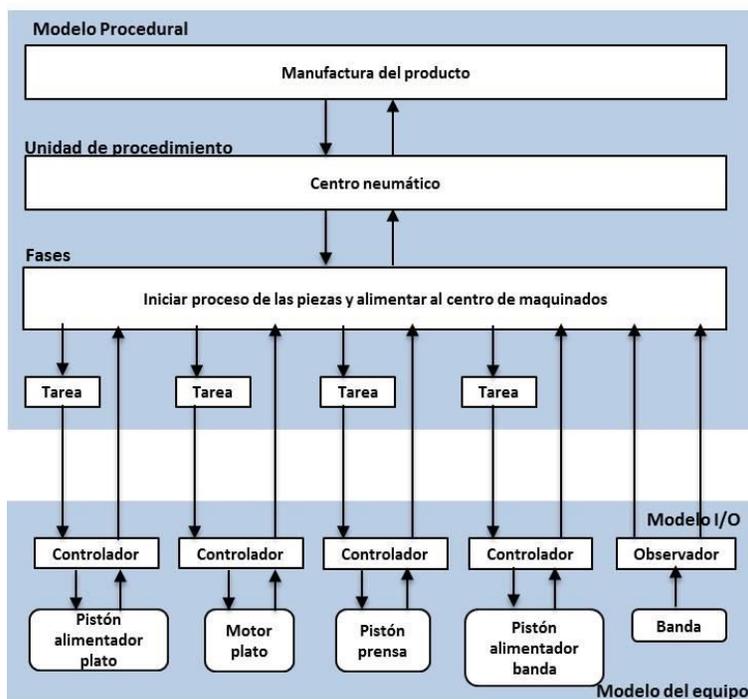


Figura 2. Modelo híbrido del centro neumático (modelo procedural y de equipo)

Síntesis del supervisor

De acuerdo al modelo híbrido propuesto, se genera la lista de eventos de los componentes elementales y las especificaciones funcionales del sistema, con esto se generan los autómatas para sintetizar el supervisor, en la tabla 2 se muestra la lista de eventos para la

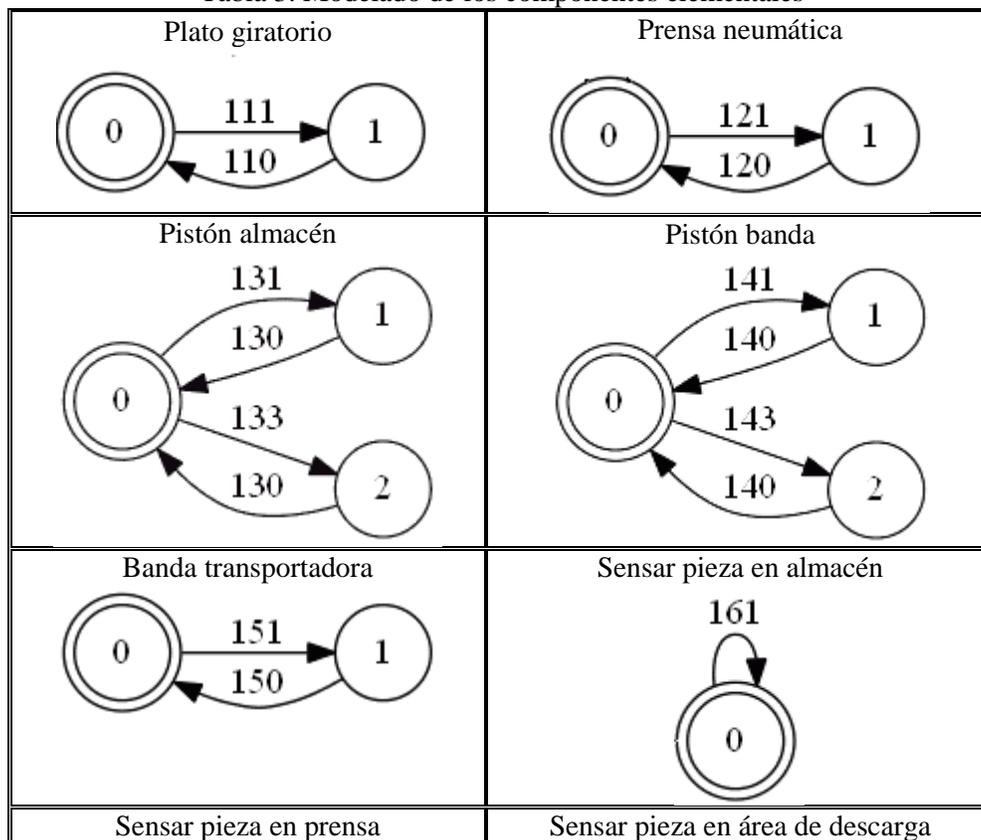
interpretación física y en la tabla 3 se muestran los autómatas de los componentes elementales y en la tabla 4 se muestran las especificaciones funcionales las cuales siguen una secuencia de estados.

Tabla 2. Eventos para la fase del centro neumático

Evento	Descripción	Tipo	Evento	Descripción	Tipo
102	Terminar rutina A	Incontrolable	133	Retraer pistón almacén	Controlable
103	Iniciar rutina A	Controlable	140	Desactivar pistón banda	Incontrolable
104	Terminar rutina B	Incontrolable	141	Extender pistón banda	Controlable

105	Iniciar rutina B	Controlable	143	Retraer pistón banda	Controlable
106	Terminar rutina C	Incontrolable	150	Desactivar banda	Incontrolable
107	Iniciar rutina C	Controlable	151	Activar banda	Controlable
108	Terminar rutina D	Incontrolable	161	Sensar pieza en almacén	Controlable
109	Iniciar rutina D	Controlable	163	Sensar pieza en prensa	Controlable
110	Desactivar plato giratorio	Incontrolable	165	Sensar pieza en área de descarga	Controlable
111	Activar plato giratorio	Controlable	167	Sensar plato en área de descarga	Controlable
120	Desactivar prensa	Incontrolable	169	Sensar pieza en área final	Controlable
121	Activar prensa	Controlable	171	Retardar activación de pistón almacén	Controlable
130	Desactivar pistón almacén	Incontrolable	173	Retardar desactivación de prensa	Controlable
131	Extender pistón almacén	Controlable			

Tabla 3. Modelado de los componentes elementales



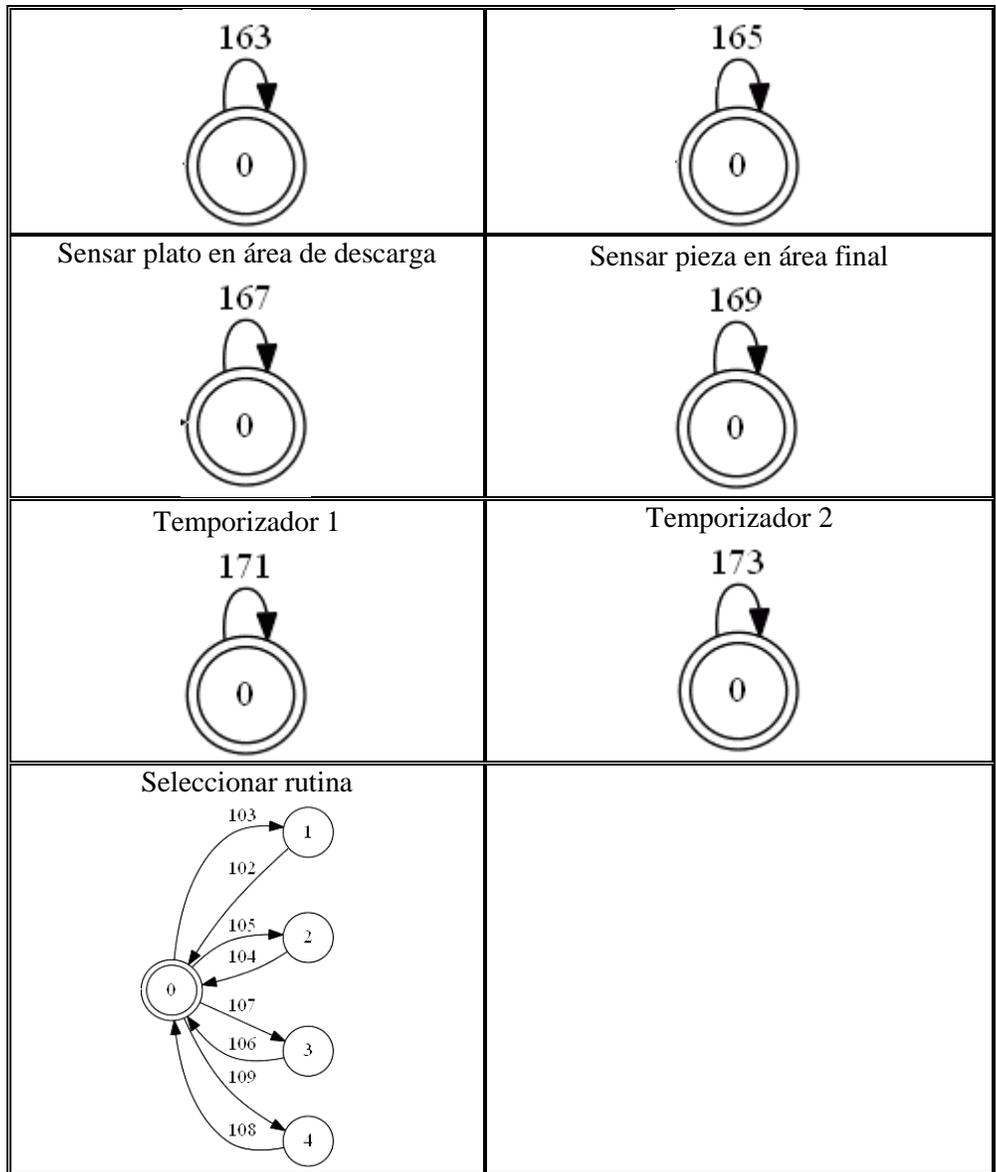
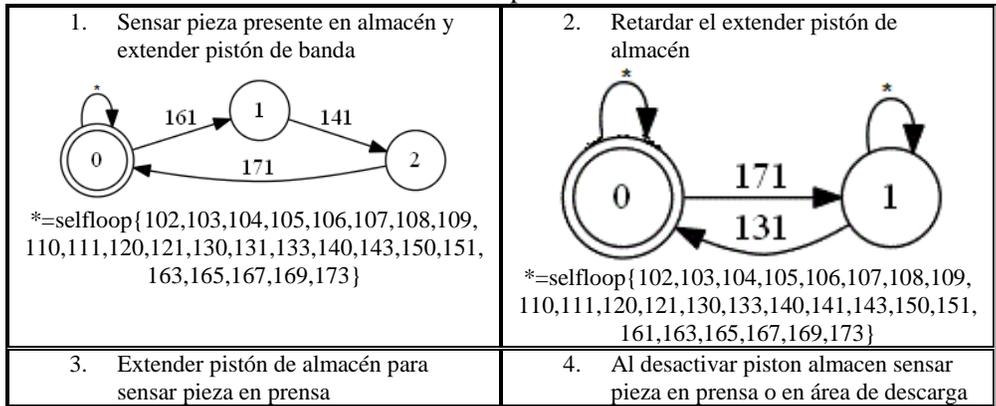
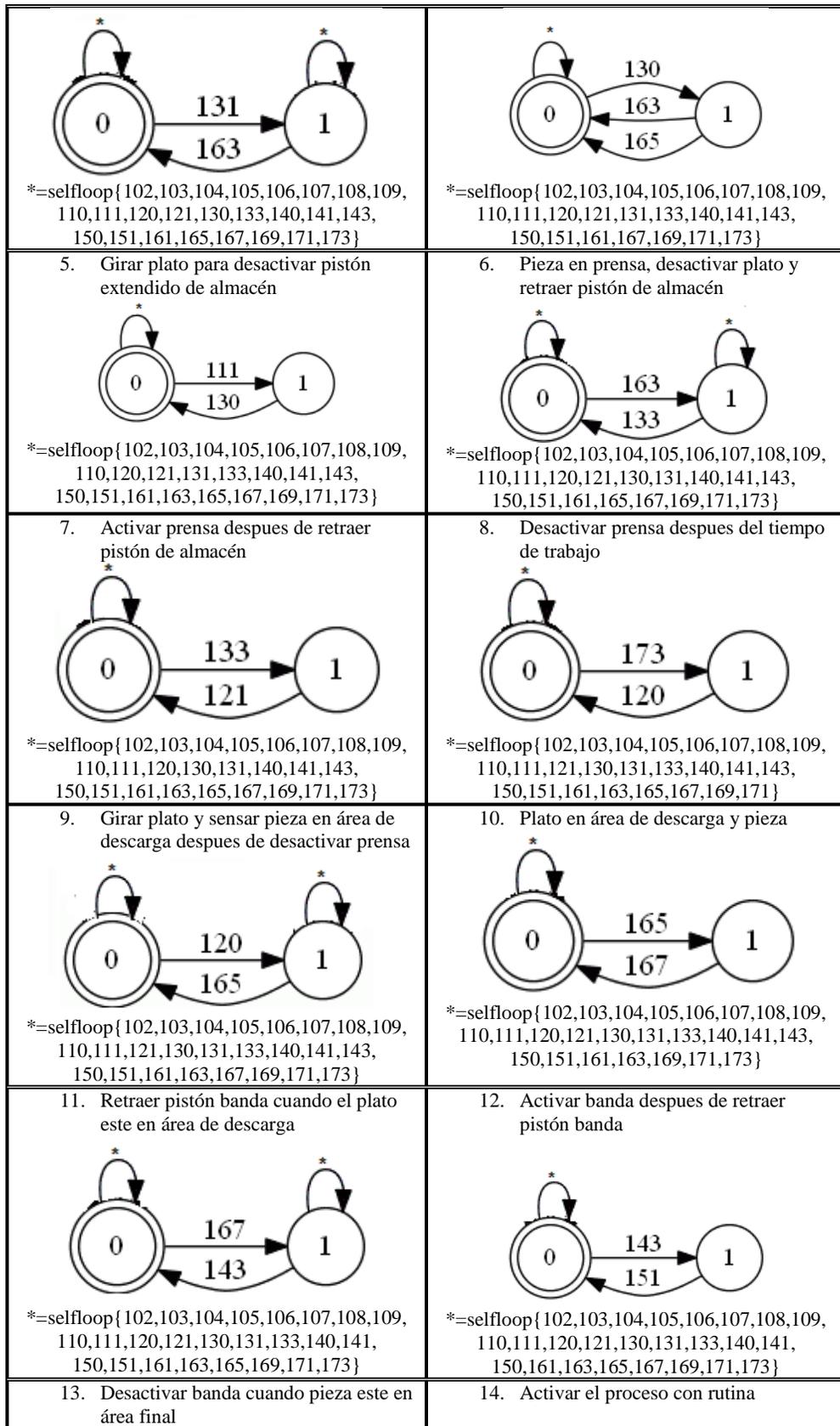
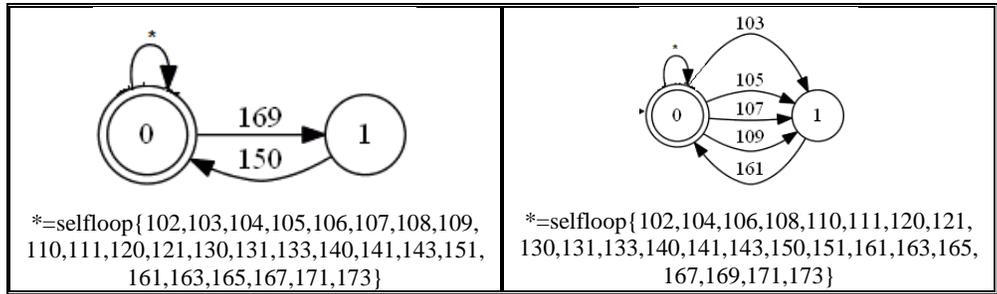


Tabla 4. Modelado de las especificaciones funcionales







Una vez generados los autómatas de los componentes elementales y de las especificaciones funcionales se puede obtener la planta del sistema y la especificación monolítica respectivamente, en este caso se obtuvo una planta con 23040 estados y 208800

transiciones (no se presenta la figura debido a su tamaño) y una especificación monolítica con 18 estados y 32 transiciones. El supervisor sintetizado de la planta y la especificación monolítica tiene 97 estados y 100 transiciones.

Control jerárquico

La jerarquización es una característica del control de sistemas dinámicos que llevan a cabo una serie de tareas complejas. Generalmente es descrito como una división de acción de control y el procesamiento de la información por capas, de acuerdo con el alcance. A grandes rasgos la configuración de un control jerárquico es el siguiente, una jerarquía de dos niveles que consta de una planta de bajo nivel G_{lo} y el control C_{lo} , junto a una planta de alto nivel G_{hi} y el control C_{hi} .

neumático y se propone un supervisor de alto nivel G_{hi} . G_{hi} solo debe de identificar los estados importantes para el gerente o administrador, es decir estados cuya relevancia sea significativa en el proceso e ignorando todos los demás. En este trabajo se propone que G_{hi} solo muestre los estados de inicio y término de rutinas, entonces los estados significativos del supervisor (G_{lo}) son vocalizados para ser observados por G_{hi} , en la tabla 5 se muestra la vocalización de los estados y en la figura 3 se muestra el supervisor jerárquico (G_{hi}).

En este caso G_{lo} será el supervisor sintetizado del módulo del centro

Tabla 5. Vocalización de estados

Estado de salida	Evento	Estado vocalizado
0	103	531
0	105	551

0	107	571
0	109	591
93	102	521
94	104	541
95	106	561
96	108	581

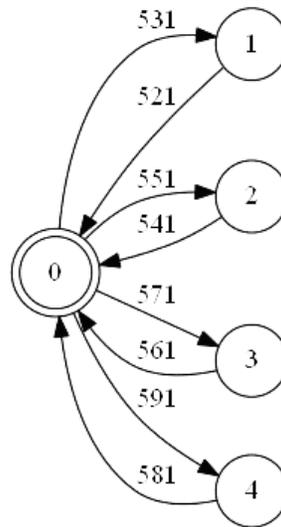


Figura 3. Supervisor jerárquico

El supervisor de alto nivel o jerárquico muestra solo cuando inicia la rutina con los eventos 531, 551, 571, 591 y cuando termina la rutina con los eventos 521,

541, 561, 581, logrando un mayor control en la gerencia ya que G_{lo} se redujo a solo cuatro estados en G_{hi} .

Implementación del supervisor jerárquico en el PLC

Los eventos de G_{lo} y del supervisor jerárquico obtenido se deben de trasladar a lenguaje escalera para poder ser programado en el PLC. Se propone una estructura en diagrama escalera para la

programación como se muestra en la figura 4 donde los eventos de G_{lo} están representados por contactos y los eventos de G_{hi} se representan con bobinas (Latched).

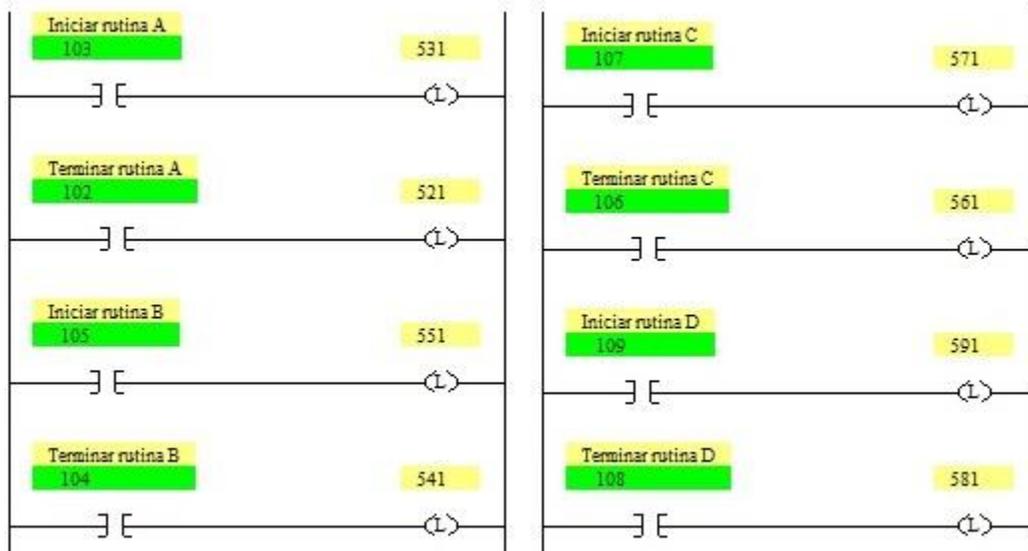


Figura 4. Implementación del supervisor jerárquico en el PLC

Al definir una estructura de programación en PLC para el supervisor jerárquico ayudará a identificar más rápido a una persona ajena que no conozca cómo fue programado el supervisor, solo necesitaría conocer los eventos del supervisor

jerárquico para identificarlo en el diagrama escalera sin necesidad de buscar en toda la secuencia de programación, incluso se podría manejar las señales directamente desde una interfaz gráfica hombre-máquina.

Conclusiones

Este trabajo se enfoca en la obtención de un supervisor jerárquico a través del modelado de autómatas y teoría de control supervisor donde se ilustra la ventaja de utilizar SED, además de mostrar que el diseño de las especificaciones funcionales es la parte más crítica o complicada debido a que deben de ser mínimamente restrictivas

para no afectar la lógica de la secuencia y obtener la especificación monolítica. El obtener un supervisor de alto nivel permite que sea más sencillo para una gerencia controlar o enfocarse en los procesos más críticos. La utilización del PLC con una estructura de programación propuesta para el supervisor jerárquico es parte medular del objetivo de este trabajo.

Bibliografía

Foyo Valdés Sergio, Puga Velázquez Erika, Hernández Martínez Eduardo, 2010, Modelado y Control de una celda automatizada de manufactura flexible basado en redes de Petri, Jalisco, México, Congreso anual de la asociación de México de control automático.

Fischertechnik, Sistema Mecatrónico I Introducción a la automatización 4 módulos funcionales, México, www.fischertechnik.com.mx, febrero 2015.

Wonham W. M., Rogers Edwards, 2010, Supervisory Control of discrete-event systems, Universidad de Toronto, Canada.

Gelen Gökhan, Uzam Murat, 2014, The synthesis and PLC implementation of hybrid modular supervisors for real time control of an experimental manufacturing system, Tokat, Turquía, Journal of Manufacturing Systems, vol. 33, pp. 535-550.

ISA-88, 2010, Batch control systems. Part 1 Models and terminology. Standards, NC, USA, ISA-88.00.01-CDV23.

Sanchez Arturo, Bucio Jorge, 2011, Improving the Teaching of Discrete-event Control Systems Using a LEGO Manufacturing Prototype, Guadalajara, México, IEEE Transactions on education.

Rockwell Automation, 2002, Micrologix 1500 Programmable Controller, Milwaukee, USA, www.ab.com/micrologix.

Yasar Murat, Ray Asok, 2006, Hierarchical control aircraft propulsion systems: Discrete event supervisor approach, Pensilvania, USA, Control engineering practice, vol. 15, pp. 149-162.

Gonzales Miranda Olga, Cerrada Lozada Mariela, 2014, Diagnostico de Sistemas de Eventos Discretos Controlados: Un enfoque basado en crónicas y análisis modular usando modelos de autómatas, Mérida, Venezuela, Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial, vol. 11, pp. 191-201.