

Aplicaciones didácticas de la sincronización global de líneas de producción seriales en sistemas MPS

Eusebio Jiménez López

Universidad La Salle Noroeste-CINNTRA UTS- IIMM, Cd. Obregón, Sonora, México, ejimenezl@msn.com

Luz María González Gutiérrez

Universidad Estatal de Sonora, S.L.R.C., Sonora, México, malugg2001@hotmail.com

Berenice Cotri Meleces

Universidad Estatal de Sonora, S.L.R.C., Sonora, México, bcotri@yahoo.com

Eduardo Núñez Pérez

Universidad La Salle Noroeste, Cd. Obregón, Sonora, México, enunez@ulsa-noroeste.edu.mx.com

Adolfo Quiroz Martínez

Universidad La Salle Noroeste, Cd. Obregón., Sonora, México, plastick34@hotmail.com

Omar Alejandro Encinas Almuridis

Universidad La Salle Noroeste, Cd. Obregón, Sonora, México, omar_132@hotmail.com

Arturo Urbalejo Contreras

Universidad Tecnológica del Sur de Sonora, Cd. Obregón, Sonora, México, urbalejoa@hotmail.com

Luis Alfonso Reyes Ávila

Instituto Mexicano del Transporte, San Fandila, Querétaro, México, lreyesa@hotmail.mx

ABSTRACT

To enhance the teaching of Mechatronics is necessary to develop methods and procedures in conjunction with other fields of knowledge such as industrial automation, enabling practical applications in teaching equipment. In this article, we show the design and simulation of a local and global synchronization of a production line comprising two modules. Are used the vortex method for distributing primary and secondary time in machinery working paths and a Referential Operational Binary Code (ROBC) for generating the control system of the production line. Were used 3 MPS modules of Festo Didactic to test the synchronization design. Was generated the PLC ladder diagram derivative of the ROBC control lines design.

Keywords: Automation, Process Synchronization, MPS, Engineering Education.

RESUMEN

Para potenciar la enseñanza de la Mecatrónica es necesario desarrollar métodos y procedimientos en conjunto con otros campos del conocimiento como la automatización industrial, que permitan aplicaciones prácticas en equipos didácticos. En este artículo se diseña y simula la sincronización local y global de una línea de producción

compuesta por dos módulos. Son usados el método del vórtice para distribuir tiempos primarios y secundarios en las rutas de trabajo de la maquinaria y un Código Binario Operacional Referencial (CBOR) para generar el sistema de control de la línea de producción. Fueron utilizados tres módulos MPS de FESTO DIDACTIC para probar el diseño de la sincronización. Fue generado el diagrama escalera de un PLC derivado del diseño de las líneas de control del CBOR.

Palabras claves: Automatización, Sincronización de Procesos, MPS, Educación en Ingeniería.

1. INTRODUCCIÓN

Desde la Revolución Industrial, los métodos de fabricación se han caracterizado por *la organización del proceso de trabajo centrado*, en el cual se transfieren los materiales y componentes de máquina a máquina. Sin embargo, los requisitos de fabricación han cambiado enormemente en las últimas décadas y en la actualidad se hace hincapié en lograr una mayor capacidad de respuesta, mejorar la rentabilidad, supervisar la calidad de la producción y acortar los ciclos de vida de los productos. Como resultado de ello, cada vez es más evidente que los métodos "tradicionales" de procesos centrados en la producción y en las estructuras de trabajo han demostrado ser inadecuados para satisfacer las nuevas demandas. En pocas palabras, ahora hay presión para reestructurar la fabricación a lo largo de nuevas líneas. Para hacer frente a esta nueva era de *fabricación ágil*, los sistemas de producción modular (MPS), tratan de establecer un paradigma radical de una nueva fábrica sobre la base de uniformar los "elementos" del sistema de producción y los métodos de diseño de la producción del sistema. En combinación con las herramientas de diseño de gran alcance, la creencia es que será posible configurar rápidamente y completamente toda la producción, integrado componentes y sistemas de montaje para la producción de una amplia gama de bienes de consumo de tecnología. Con el fin de aumentar la flexibilidad de la producción y disminuir los tiempos de producción, se están desarrollando nuevos conceptos de sistemas basados en la modularidad. La tecnología de control y procesos está siendo desplazada del PLC central a la célula de producción, convirtiéndose así en una parte integral del módulo del sistema, Castillo, et al (2007).

Los MPS son tecnologías usadas para la enseñanza y el aprendizaje de diversos temas en campos de la automatización y el control de procesos industriales, e incluso en la educación a distancia (Gurocak, 2001). Los MPS son sistemas que integran actuadores, sensores, dispositivos de transporte y manipulación, válvulas y PLC, entre otros elementos. Estos sistemas se usan en docencia e investigación. Por ejemplo, Slobadan, et al (2011), utilizan un sistema SCADA y Labview para el control y seguimiento de los sistemas mecatrónicos (MPS) que son controlados por PLC y que están conectado a la red de área local (LAN). El sistema permite contar con una interfaz gráfica para el control y la monitorización de los valores físicos de los procesos del sistema y parámetros. He, et al (2012) usan los MPS para probar una herramienta llamada Mark-up Language B2MML basada en ANSI/ISA-95 que permite la integración automática en un sistema de producción. Moller, et al (2007), usa los MPS para probar aplicaciones de software, hardware y simulación para la enseñanza y la investigación en un laboratorio de automatización.

Por otro lado, la enseñanza de la automatización debe integrar una metodología que permita la distribución de tiempos sobre la base del volumen de producción, esto es, se deben incorporar métodos para la sincronización de sistemas productivos. No hay automatización de un sistema productivo si antes no se desarrolla todo un diseño de la sincronización de los elementos de trabajo. Jiménez et al (2003) han desarrollado dos métodos que se utilizan para sincronizar local y globalmente sistemas productivos seriales. Estos métodos son llamados: métodos del vórtice y método del Código Binario Operacional Referencial (CBOR). Los métodos han sido probados en sistemas de enseñanza básicos de automatización FESTO (Jiménez, et al, 2010) y en sistemas productivos industriales (Jiménez, et al, 2004). En este artículo se utilizan sistemas MPS de la Universidad Estatal de Sonora y de la Universidad La Salle Noroeste, ambas localizadas en el estado de Sonora, México, para probar los métodos de sincronización desarrollados por Jiménez et al (2003). Se presenta, además, una metodología didáctica que sirve de guía a los alumnos para la enseñanza de la sincronización de procesos.

2. SINCRONIZACIÓN DE SISTEMAS PRODUCTIVOS

La sincronización de procesos se define como sigue: *es el conjunto de procedimientos sistemáticos orientados a coordinar, planear, manejar, distribuir y controlar las operaciones de la maquinaria de un sistema productivo de tal forma que los volúmenes de producción sean satisfechos en el tiempo acordado* (Jiménez et al, 2010). En este sentido la sincronización debe: 1) ser planeada y diseñada y 2) debe ser probada e implementada. Por otro lado, la sincronización de procesos se clasifica en: 1) sincronización local y 2) sincronización global. Es local, cuando la sincronización se realiza en módulos de producción. Es global cuando la sincronización considera todos los módulos en su diseño y análisis (Jiménez et al, 2003). Un sistema productivo se dice sincronizado si la diferencia temporal entre la primera pieza fabricada y la segunda es el Tiempo de Producción Unitario (TpU). Para facilitar el proceso de sincronización, es necesario particionar sistemáticamente una línea de producción en módulos. El proceso del análisis de la sincronización empieza sincronizando cada uno de los módulos bajo el TpU, esto es, distribuyendo los tiempos de proceso (tiempos primarios y tiempos secundarios) sobre las rutas de operación de cada una de las máquinas o dispositivos relacionados con la línea de producción. Los tiempos primarios no se pueden modificar y están relacionados con las operaciones principales de manufactura, en tanto los tiempos secundarios se asocian con los tiempos usados generalmente para el transporte de piezas o acercamiento y retiro de las herramientas. Los ciclos de operación relacionados con la maquinaria se caracterizan como subciclo de ida (empieza con el movimiento de la herramienta y termina cuando la operación principal ha finalizado) y subciclo de vuelta (inicia al término de la operación principal y termina cuando la máquina regresa al punto de partida).

Por otro lado, el sistema de sensado es fundamental para realizar la sincronización de procesos. Jiménez et al (2003) proponen una clasificación y distribución de sensores, los cuales son localizados en posiciones estratégicas de las líneas de producción. La clasificación es la siguiente: 1) sensores principales (sensan únicamente piezas en las posiciones de inicio y final de un transporte), 2) sensores de completud (sensan máquinas en su regreso y sólo son requeridos si hay máquinas que no están gobernadas por un sensor principal), 3) sensores bandera (pueden sensar piezas o máquinas y se usan para generar señales para algún propósito específico) y 4) sensores de sincronización (pueden ser sensores principales o nuevos sensores y se localizan al inicio y final de cada módulo de producción). La distribución de sensores tiene un orden: primero se colocan los sensores principales, posteriormente los sensores de completud (si se requieren) y finalmente los sensores bandera (si se ocupan) y los de sincronización. Cabe mencionar que la clasificación y distribución de sensores desarrollada por Jiménez et al (2003) es independiente del tipo y el funcionamiento de los sensores.

2.1 MÉTODOS PARA REALIZAR LA SINCRONIZACIÓN DE PROCESOS

Jiménez et al (2003), proponen que para realizar la sincronización de procesos se deben usar dos técnicas: el método del vórtice, utilizado para la sincronización local y el método del CBOR, usado para la sincronización global. Algunas consideraciones importantes relacionadas con dichos métodos se describen a continuación:

- El método del vórtice es una técnica que relaciona máquinas localizadas en un módulo de producción y las agrupa para posteriormente distribuir los tiempos sobre las rutas de operación de cada máquina. Los vórtices inician en una máquina de operación principal y finalizan en la primera o última máquina del módulo de producción. Éstos se clasifican en: perfectos y extendidos. Son perfectos si la finalización del vórtice es sobre una máquina inicial o final y son extendidos si el vórtice termina en una máquina que no es inicial o final. Los vórtices se clasifican en antecesores y sucesores. Son antecesores si la primera conexión del vórtice es entre la máquina principal y una máquina antecesora, y es sucesor si el vórtice relaciona primeramente la máquina sucesora con la principal. Por otro lado, la distribución de tiempos sigue un orden y reglas. En primer lugar se distribuyen los tiempos de la máquina principal (máquina que realiza una transformación visible sobre las materias primas e integra los tiempos fijos o no modificables). La distribución de los tiempos se realiza según el orden siguiente: primero se diseñan las rutas de trabajo de la máquina, posteriormente se distribuye el tiempo no modificable (conocido como tiempo fijo), enseguida se coloca el tiempo de acercamiento (se configura el ciclo de ida), posteriormente se colocan los tiempos de regreso o vuelta (generalmente se dividen en dos: tiempo de retiro primario y tiempo de retiro secundario). La suma de todos los tiempos distribuidos debe ser menor o igual al TpU (si es igual se dice que la máquina opera a ciclo continuo y si es menor se dice que opera a ciclo intermitente). La

distribucion de tiempos debe cumplir con dos reglas: 1) que los tiempos sean considerados dentro de los parámetros admisibles operacionales de la maquinaria y 2) se debe dejar el máximo tiempo posible al ciclo de vuelta de la máquina. De hecho, de esta última regla depende la sincronabilidad del sistema productivo según los métodos desarrollados por Jiménez et al (2003). En segundo lugar, una vez distribuidos los tiempos de la máquina principal, éstos se fijan. Posteriormente, se toma la máquina antecesora o sucesora (depende de las relaciones del vórtice) y se distribuyen los tiempos sobre el ciclo de operación. Los tiempos de esta máquina deben estar regulados por las reglas siguientes: 1) se asigna todo el tiempo de vuelta (tiempo asignado al tiempo de retiro secundario) al tiempo de ida de la máquina sucesora o antecesora, 2) el tiempo de vuelta se calcula al restar el tiempo de ida del TpU y 3) para saber si el grupo de máquinas ha sido sincronizado se debe comprobar que la suma de los tiempos de ida de las dos máquinas dé el TpU. Una vez corroborado que la máquina principal y antecesora o sucesora han sido sincronizadas, se procede a sincronizar la siguiente máquina que indique el vórtice (generalmente la tercera máquina que relaciona el vórtice conforma la terna mínima sincronizable que debe tener todo módulo de producción). La distribución de tiempos relacionada con ésta tercera máquina sigue las mismas reglas de la segunda máquina con la salvedad de que el tiempo de ida asignado corresponde a una porción funcional (tiempo que no viola los parámetros operacionales de las máquinas) del tiempo de ida de la segunda máquina. Una vez asignada la porción del tiempo a la tercera máquina, el tiempo nuevo de ida de la segunda máquina debe ser ajustado, así como el tiempo de vuelta. Se sigue el mismo procedimiento para las máquinas restantes del módulo de producción (cabe mencionar que es posible tomar porciones de todas las máquinas del módulo para repartirlas en los tiempos de ida, salvo los tiempos de la máquina principal). Finalmente, se debe revisar que la suma de los tiempos de ida de todas las máquinas sumen el TpU. Toda la información generada del proceso de sincronización local debe ser vaciadas en tablas pues dicha información se usará para la sincronización global.

Con respecto al CBOR, este es un código que representa los ciclos operacionales (ida y vuelta) de las máquinas y los eventos de sensado. Se compone de dos matrices: tiempo-sensado y maquinaria – tiempo. El número de filas de los tiempos se calcula multiplicando el TpU por el número de módulos. Para llenar el CBOR se usa la información descrita en las tablas de la sincronización local. El CBOR representa los eventos de sensado sobre filas especiales llamadas líneas de control. Para llenar el CBOR se siguen reglas y consideraciones, por medio de las cuales es posible representar sistemáticamente las acciones de trabajo y de sensado de las líneas de producción. Los pasos por seguir para llenar el CBOR son: 1) formar la configuración del CBOR (arreglar los datos que llevan las matrices tiempo-sensado y maquinaria – tiempo), 2) calcular el número de filas iniciales considerando que dicho número se obtiene al multiplicar el TpU por el número de módulos, 3) sobre la matriz tiempo - sensado se insertan filas para indicar las líneas de control iniciales sobre el CBOR, 4) sobre cada línea de control se coloca el símbolo **1/0** para señalar que está activo un sensor, 5) sobre la matriz maquinaria – tiempo se inserta el símbolo **1** ó **+1** por debajo de cada máquina para representar los tiempos de ida, 6) se insertan los tiempos de vuelta usando el símbolo **-1** en la columna de cada máquina (es posible que se requieran más filas pues hay máquinas que no han completado su ciclo completo), 7) se superponen todas las filas (tiempos y líneas de control) del módulo 1 en el módulo 2 (si son dos módulos) o bien, el módulo 1 se superpone con el módulo 2 y luego los módulos 1 y 2 sobre el módulo 3 (si son tres módulos), y así sucesivamente, 8) se genera el primer sistema de ecuaciones de estado sobre las líneas de control, 9) se forma el CBOR completo.

3. METODOLOGÍA DIDÁCTICA PARA LA AUTOMATIZACIÓN Y SINCRONIZACIÓN DE PROCESOS

En esta sección se presenta una metodología didáctica que puede ser usada por los profesores y alumnos para sincronizar procesos productivos. La metodología se compone de siete fases: 1) análisis del sistema productivo por sincronizar, 2) distribución de sensores y modularización, 3) sincronización local o modular, 4) sincronización global, 5) diseño del control y automatización, 6) simulación de la sincronización y automatización y 7) pruebas de la sincronización y automatización.

La fase 1 consiste en analizar el objeto de estudio y conocer la crónica de procesos, la maquinaria, los tiempos fijos y los volúmenes de producción. En la fase 2 se distribuyen los sensores principales y de completud y se particiona el sistema en módulos. La fase 3 consiste en usar el método del vórtice para sincronizar modularmente

la línea de producción. La fase 4 consiste en generar el CBOR. La fase 5 se refiere a diseñar el sistema de control tomando en cuenta las líneas de control y los requerimientos del cliente, así como las consideraciones de automatización que no se pueden ver durante el diseño de la sincronización. La fase 6 consiste en usar software, como el COSIMIR o FLUID SIM para realizar la simulación de la sincronización (pruebas de tiempos) y la automatización. Finalmente, la fase 7 se refiere a la prueba en equipos de automatización o MPS del diseño de los tiempos de la sincronización y la automatización del proceso.

4. CASO DE ESTUDIO

La figura 1 muestra tres MPS integrados para realizar una simulación real de un proceso y la tabla 1 describe los tiempos de proceso. La crónica de proceso es la siguiente (Cotri B, González L, 2012): *Una pieza es transportada por medio de un actuador AC1 sobre un dispositivo alimentador. Posteriormente, el dispositivo D1 toma la pieza transportada y realiza una operación híbrida de transporte y pintura sobre la pieza. Una vez terminada la operación de D1, un robot RC transporta la pieza a una mesa de trabajo (M1) en donde un motor hacer girar la mesa a una posición en donde un actuador AC2 realiza una operación de barrenado sobre la pieza. Terminada la operación de barrenado, la mesa de trabajo transporta la pieza a otra posición en donde otro actuador AC3 realiza una operación de rectificado. Terminada la operación de rectificado el dispositivo transporta la pieza a una posición en donde termina el proceso.*

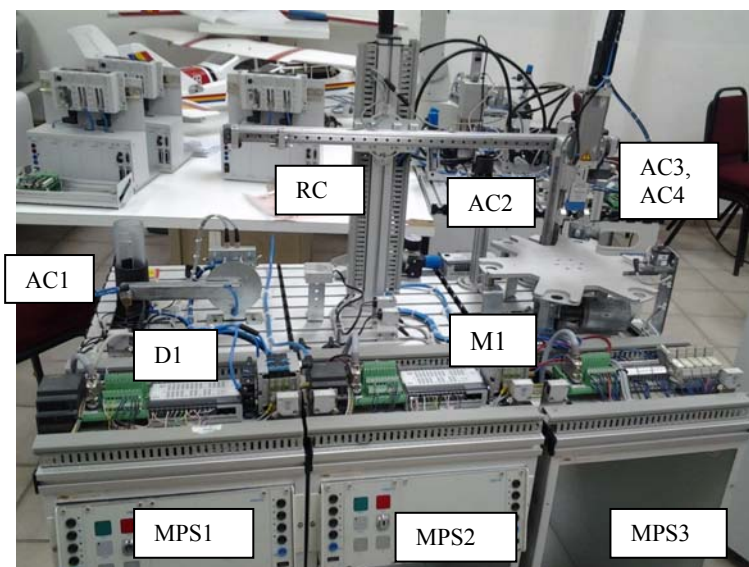


Figura 1: MPS integrados para simular un proceso

Tabla 1: Tiempos de procesos

Tiempos	Operación	Máquina	Valor
TpU	-----	-----	11 s/pieza
TF1	Pintura	D1	2 s
TF2	Barrenado	AC2	1 s
TF3	Rectificado	AC3	1 s

La figura 2 muestra los módulos de producción y la distribución de sensores de ida. La modularización del sistema sigue los pasos siguientes: 1) se localizan las máquinas principales: aquellas que realizan las operaciones de tiempo fijo, 2) se localizan máquinas de transporte que sean sucesoras y antecesoras de las máquinas principales, 3) se forman ternas mínimas que contengan cuando menos una máquina de suministro, otra de

operación principal y una de retiro de pieza y 4) se forman los módulos, esto es, un módulo debe tener cuando menos una terna mínima. Las ternas mínimas sincronizables son: (Ac1, D1, Rc) y (M1, Ac3, M1). Nótese que D1 y Ac3 son las máquinas principales (Ac2 también es máquina principal pero está en el mismo sistema, por lo que se puede tomar Ac2 o Ac3 por tener el mismo tiempo fijo). Por otro lado, los sensores S0.....S6 son principales y se colocan en los inicios y finales de cada transporte, en tanto que Sc1 y Sc2 son sensores de completud los cuales en conjunto con los principales, garantizan el sentido de ida en la línea de producción.

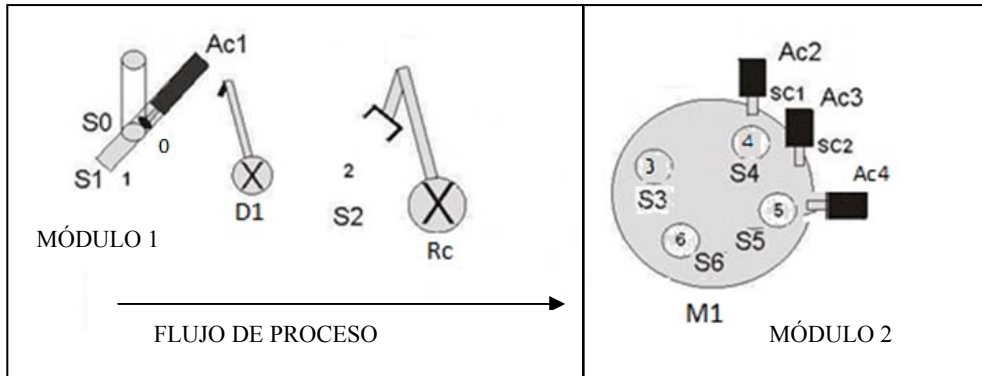


Figura 2: Módulos del sistema productivo

Por otro lado, la figura 3 muestra las configuraciones de los vórtices asociados con cada módulo de producción. El origen de cada vórtice es una máquina de operación principal. Nótese que para el caso del módulo 2 se ha tomado el mismo dispositivo M1 como antecesor y sucesor, esto es debido a que la sincronización puede desarrollarse por máquinas o por operaciones. Los grupos de sincronización para el caso del módulo 1 son: 1) Grupo 0 = { D1 }, 2) Grupo 1 = { AC1, D1 }, 3) Grupo 2 = { Ac1, D1, Rc } y para el módulo 2 se tienen los grupos siguientes: 1) Grupo 0 = {AC3}, 2) Grupo 1 = {M1,AC3}, 3) Grupo 2 = {M1,AC3, M1}, 4) Grupo 3= { AC2, M1,AC3, M1}, 5) Grupo 4= {M1, AC2, M1,AC3, M1}.

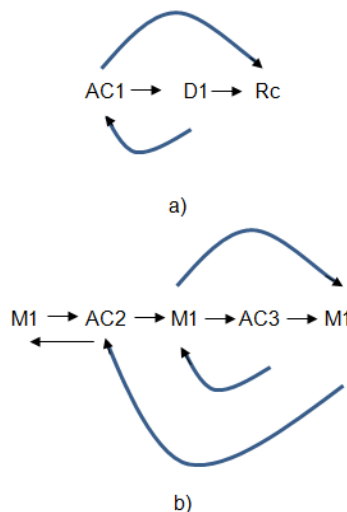


Figura 3: Vórtices de sincronización: a) módulo 1, antecesor perfecto, b) módulo 2, sucesor extendido

Cada grupo es sincronizado localmente a TpU siguiendo las reglas descritas en la sección 2 de este artículo. La figura 4 muestra la distribución de tiempos realizada al módulo 2 y la tabla 2 muestra las tablas de sincronización local de los dos módulos.

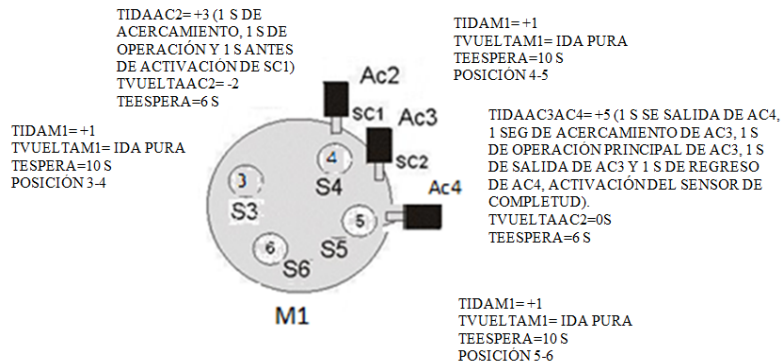


Figura 4: Distribución de tiempos en el módulo 2.

Tabla 2: Tablas de la sincronización local

MÓDULO 1					
Máquinas	Tiempos		Tipo de ciclo	Tiempo espera	de Sensores
	IDA	VUELTA			
AC1	+3	-1	Intermitente	- 7	S ₀ , S ₁
D1	+2	-2	Intermitente	-7	S ₁ , S ₂
R ₁	+6	-2	Intermitente	-3	S ₂ , S ₃
MÓDULO 2					
M1	+1	-----	Intermitente	-10	S ₃ , S ₄
AC2	+3	-2	Intermitente	-6	S ₄ , SC2
M1	+1	-----	Intermitente	-10	SC2, S ₅
SISTEMA AC3,AC4	+5	-----	Intermitente	-6	S ₅ , SC2
M1	+1	-----	Intermitente	-10	SC2, S ₆

Cabe mencionar que existen dos tipos de ciclos de operación en un sistema productivo: el ciclo continuo y el intermitente. El primero se caracteriza por el hecho de que las máquinas no se detienen y el segundo se determina cuando las máquinas se detienen y esperan un determinado tiempo durante su ciclo de operación. Por otro lado, la tabla 3 muestra el CBOR relacionado con el sistema productivo. En dicha tabla se observan las matrices tiempo-sensado y maquinaria – tiempo. Las líneas LC0.....LC12 son líneas de control que representan los eventos de activación de los sensores. El símbolo **R** es igual a **-1**, es decir representa tiempo de regreso. T1.....T23 son los tiempos de proceso y los tiempos secundarios. En llenado del CBOR se realiza siguiendo las reglas descritas en la sección 2 de este artículo.

$Y3 = X7 \bullet 1$
 $Y0 = X8 \bullet X3 \bullet X0$
 $Y3 = X8 \bullet X3 \bullet X0$

LC7
 LC8, LC12
 LC8, LC12

Nótese que cada línea de control tiene asociada una ecuación de estado y cada ecuación de estado está relacionada con una línea del diagrama escalera de un PLC. El modelo de control mínimo para este caso de estudio está conformado por el operador lógico AND o \bullet . La figura 5 muestra una parte del diagrama escalera del módulo 1 el cual está hecho en el software STEP 7.

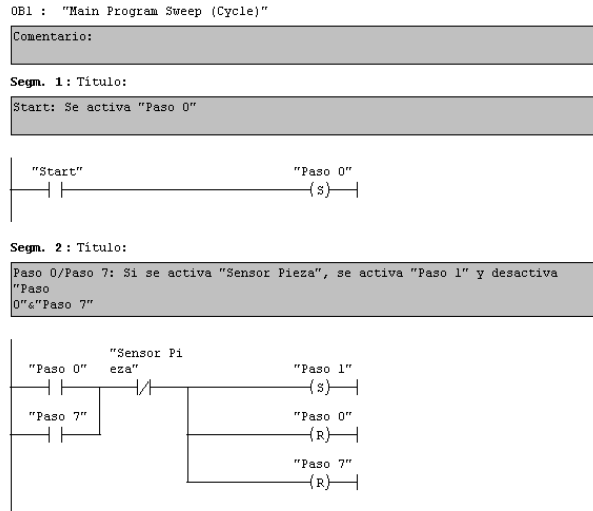


Figura 5: Diagrama escalera en STEP 7

5. CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado una metodología didáctica para sincronizar y automatizar sistemas productivos. La metodología fue probada en equipos MPS. Las conclusiones se describen en los puntos siguientes:

- Los métodos de sincronización local y global descritos en este artículo, permiten analizar, modelar y organizar en forma sistemática las secuencias de operaciones en una línea de producción. Esta sistematización ayuda a los alumnos y profesores a estructurar, diseñar y controlar un sistema productivo siguiendo toda una metodología.
- Los sistemas MPS son útiles para simular la sincronización y automatización de sistemas productivos didácticos e industriales. En este artículo fueron usados tres MPS para mostrar la aplicación de los métodos de sincronización.
- La simulación de la sincronización en los módulos MPS permite mostrar que el modelo teórico, descrito en el CBOR, puede ser implementado en equipos didácticos, lo que permite demostrar la utilidad práctica de los métodos de sincronización.
- La metodología descrita en este artículo exige a los alumnos que primero deben diseñar la sincronización de un sistema productivo y posteriormente diseñar la automatización.
- El método del vórtice ayuda a organizar las máquinas de un módulo de producción y a distribuir sistemáticamente los tiempos en las rutas de trabajo. Esta distribución es importante ya que de ella depende el diseño del CBOR.
- El CBOR es un esquema que permite conocer todo el proceso de una línea de producción, incluyendo los eventos de señalización que gobiernan el control del sistema. Las líneas de control del CBOR son usadas

para generar las ecuaciones de estado que posteriormente son programadas en un PCL. Las relaciones entre las líneas de control y las ecuaciones de estado facilitan el diseño y la implementación del control.

- El CBOR y el método del vórtice usan tiempos completos de tamaño unitario. Es necesario desarrollar nuevas técnicas que permitan considerar fracciones de tiempo.
- Los tiempos de procesos usados en este trabajo fueron ideales. En las líneas de producción reales los tiempos de proceso deben ser re-calculados para tomar en consideración aspectos no vistos en este artículo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen a las Universidades que conforman la RED ALFA, a la Universidad Tecnológica del Sur de Sonora, a la Universidad La Salle Noroeste, a la Universidad Estatal de Sonora (UES) y a la Empresa SPIN-OFF Innovación en Ingeniería de Manufactura y Mantenimiento S. de R. MI (IIMM), por el apoyo brindado a esta investigación

REFERENCIAS

- Castillo A., Vázquez J., Sánchez V. (2007). “Real time TCP/IP Control of Modular Production Systems with FPGAs”. *Journal of Applied Research and Technology*. Vol. 5 No. 1 April 2007. P.p. 22-32. UNAM, México. D.F.
- Cotri B., González L. (2012). “Sincronización local y global de sistemas productivos didácticos: aplicaciones en MPS”. Tesis de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Mecatrónica. Instituto Tecnológico Superior de Cajeme. Sonora, México.
- Gurocak. H. (2001). “e-Lab: Technology-assisted Delivery of a Laboratory Course at a Distance”. *Proceedings of the 2001 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition*. Albuquerque, NM.
- He D., Lobov A., Martínez J. (2012). “An Applications of B2MML in Computer Integrated Manufacturing Systems”. *16TH International Conference on Mechatronics Technology*, October 16-19, TIANJIN, CHINA. Pp. 300-305.
- Jiménez E., Reyes L., Galindo F., García D., González I., Hito O., Mercado I. “Sincronización local y global de sistemas productivos seriales”. *Informe interno de investigación*. (2003). Universidad la Salle Noroeste.
- Jiménez E., Reyes A., González L., Hito O. Mercado F. (2004). “Sincronización Local de una Línea de Producción Industrial”. *SOMIM 2004*, Querétaro. México.
- Jiménez E., Martínez F., Martínez V., Pérez S., Ochoa J., Reyes L., Madrid A. (2010). “Application of the Software Fluid - Sim to Simulate the Synchronization of Productive Systems Serials: The Case of the Test of the Automatic Cycle”. *ICECE 2010*. Brasil.
- Slobodan Aleksandrov, Zoran Jovanović, Saša Nikolić, Stanimir Čajetinac (2011). “Mechatronic Systems Control Based on SCADA System, OPC Server and Labview”. *FACTA UNIVERSITATIS Series: Automatic Control and Robotics*. Vol. 10, No 2, pp. 189 – 198.
- Möller, T., Müür M., Pettai E. (2007). “Using Factory Automation Simulation System in Study Process”. *Doctoral school of energy- and geo-technology*. January 15–20. Kuressaare, Estonia.

Authorization and Disclaimer

Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.