APPLICATION OF THE SOFTWARE FLUID - SIM TO SIMULATE THE SYNCHRONIZATION OF PRODUCTIVE SISTEMS SERIALS: THE CASE OF THE TEST OF THE AUTOMATIC CYCLE

Eusebio Jiménez López[1], Francisco Antonio Martínez Chaides[2], Víctor Manuel Martínez Molina[3], Sergio Enrique Pérez Alvarado,[4] Francisco J. Ochoa Estrella,[5] Luis Reyes Ávila[6] y Germán Madrid Amarillas[7]

Abstract — *At the present time, the education of Engineering must be complemented with the software use. For the case of the education of the automatization and the synchronization of productive systems, the package Fluid Sim is a valuable tool. This article presents the computational simulation of the local and global synchronization of serials productive systems. The software used for the simulation is Fluid Sim of FESTO. The local synchronization is made using the method of the vortex and a method of distribution of sensors, whereas the global synchronization is done using the method of CBOR (Code Binary Operational Referential). The elements of the manufacture system are bands, robots and actuators which were simulated in software with pure actuators. The control operational of the system is generated and it proves the automatic cycle, as well as the synchronization of the productive system using equipment of electro pneumatic.*

Index Terms— Education in Engineering, Fluid Sim, Synchronization of productive systems.

INTRODUCCIÓN

La Mecatrónica es un campo de la Ingeniería que se dedica a generar productos de alto valor agregado que requieren de la sinergia de 3 campos del conocimiento, esto es, de la Ingeniería Mecánica, de la Ingeniería Electrónica y de la Computación [1]. La Mecatrónica exige alta capacidad de integración en los proyectos y en las personas, pues los productos Mecatrónicos así lo requieren. Por ello, es necesario que los ingenieros sean formados con la mejor metodología disponible y que además, puedan disponer de un amplio bagaje de conocimientos.

Puesto que la Mecatrónica es un campo moderno de la Ingeniería, su estudio exige una formación metódica, en particular una formación físico-matemático. Aun más, de acuerdo con [2], el Ingeniero de la actual sociedad del conocimiento, debe ser un físico-matemático-aplicado-informatizado. Además, debe ser capaz de dominar la metodología de la Investigación, particularmente el método científico [3].

La formación de un alumno, en especial de Mecatrónica, requiere de que los conocimientos teóricos sean llevados a la práctica, o que los principios de las teorías sean demostrados en los laboratorios. En la educación en Ingeniería, se corre el riesgo de generar alumnos no competentes en la práctica empresarial si la teoría no es enlazada con la práctica. El alumno debe encontrarle sentido a los conocimientos que aprende y domina, de otro modo se desmotiva.

La Mecatrónica es un campo del conocimiento muy atractivo, no solo por sus campos primarios, sino por los campos secundarios que la acompañan. En este sentido, la automatización de sistemas productivos es un campo secundario de la Mecatrónica, el cual debe ser dominado por los alumnos, puesto que la automatización se encuentra en la mayoría de los procesos. La automatización se observa tanto en maquinaria y dispositivos como en los sistemas de manufactura.

Por otro lado, uno de los problemas a los que las empresas se enfrentan día con día, es el de la sincronización. Un sistema productivo no sincronizado implica que los volúmenes de producción no sean satisfechos [4]. Como consecuencia de este hecho, las empresas no pueden satisfacer las demandas en tiempo perdiendo contratos y empleos. Sincronizar un proceso implica organizar y controlar la maquinaria para que se cumplan los volúmenes de producción. Entonces una de las tareas de un Ingeniero en Mecatrónica, consiste en diseñar la sincronización de procesos, la automatización asociada y probar tal diseño en los sistemas productivos reales.

1 Eusebio Jiménez López, Centro de Innovación y Transferencia Tecnológica (CINTRA) de la Universidad Tecnológica del Sur de Sonora, México, Dr. Norman. E. Borlaug Km 14 CP. 85000, (01-644) 414-86-87 Cd. Obregón Sonora, México, ejimenezl@msn.com
2 Francisco Antonio Martínez Chaides, Universidad La Salle Noroeste, México, luke.mch@hotmail.com
3 Víctor Manuel Martínez Molina, Centro de Aplicación y Desarrollo de Tecnología (CADET) de Universidad Tecnológica del Sur de Sonora, México, servihidraulica@hotmail.com
4 Sergio Enrique Pérez Alvarado, Instituto Tecnológico de Cananea, México, climacocananea@hotmail.com
5 Francisco Javier Ochoa Estrella, Centro de Tecnología Avanzada (CETA) del Instituto Tecnológico Superior de Cajeme, México, fochoa@itesca.edu.mx
6 Luis Reyes Ávila, Innovación en Ingeniería de Manufactura y Mantenimiento S de RL MI (IIMM-SPIN-OFF), México, lreyesa@imt.mx
7 Germán Madrid Amarillas, Universidad Tecnológica del Sur de Sonora, México, otrogama@hotmail.com

Sin embargo, tradicionalmente, la sincronización de procesos productivos se ha realizado más a prueba o error (o en forma empírica), que de manera sistemática [4]. Esto ha llevado a que no se tengan respuestas rápidas en la industria cuando se requiere de cambiar los procesos y operaciones ante una modificación de los volúmenes de producción. La falta de métodos y modelos para la sincronización de procesos tiene como consecuencia que las empresas tarden más tiempo en organizar la maquinaria, o bien, que no se tengan estrategias para detectar posibles fallas.

Recientemente, se han propuesto dos técnicas para sincronizar local y globalmente sistemas productivos tipo serial o secuencial. La primera técnica se conoce como método del vórtice y es usada para sincronizar localmente módulos de producción, en tanto que, la segunda técnica es denominada CBOR (Código Binario Operacional Referencial) y se utiliza para la sincronización global [5]. Ambas técnicas están siendo hoy en día probadas tanto en la industria, como en las Universidades. Por ejemplo en [6,7], se han utilizado dichas técnicas para sincronizar una línea de producción real que produce transformadores para la industria de las comunicaciones.

En este artículo se realiza una prueba de laboratorio para demostrar el ciclo automático de un sistema productivo compuesto por dos módulos. La importancia de este trabajo reside en que demuestra una parte de la teoría de sincronización, y ello es importante para las aplicaciones industriales. Además, sienta las bases para demostrar las conexiones entre la teoría y la práctica, en este caso, en temas de sincronización, lo cual es beneficioso para la enseñanza de la Ingeniería.

SINCRONIZACIÓN LOCAL Y GLOBAL

La sincronización de procesos se define como sigue:
"Es un 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 satisfecho en el tiempo acordado". 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 líneas o módulos de producción. Es global cuando la sincronización considera todos los módulos en su diseño y análisis [5].

PROCESO DE LA SINCRONIZACIÓN LOCAL

Para realizar el proceso de la sincronización local de un sistema productivo, se debe primero conocer la distribución de planta y la crónica de proceso. La figura 1 muestra la distribución de planta y la pieza de trabajo.

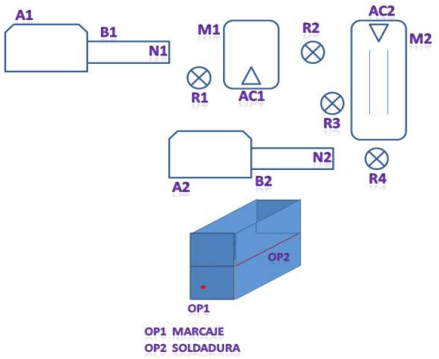

FIGURA. 1
DISTRIBUCIÓN DE PLANTA Y PIEZA DE TRABAJO

La crónica de proceso es la siguiente:

"La pieza de trabajo C es preparada en el almacén A1. Dicha pieza es transportada del interior del almacén al nodo N1 por medio de la banda B1. Posteriormente, el producto C es transportado por el robot R1 del nodo N1 a la mesa M1 sobre la cual, se localiza un sistema de guías que sujeta la pieza. El actuador Ac1, localizado en M1, realiza la operación de marcaje en C, posteriormente C es transportado por el robot R2 a la mesa M2. En dicha mesa se localiza el actuador Ac2, el cual transporta C sobre un sistema de guías a una región de soldadura. El robot R3 realiza la operación de soldadura sobre C añadiendo el cordón S1. Posteriormente, el robot R4 transporta a C de M2 al nodo N2 localizado sobre la banda B2. Finalmente, la banda B2 transporta a C de N2 al interior del almacén A2."

Además los tiempos fijos y el Tiempo de Producción Unitaria (TpU) son: tiempo fijo del marcaje y de la soldadura 5s y TpU=20s/pieza. Por otro lado, para poder sincronizar localmente un proceso, es necesario dividirlo en módulos, y luego distribuir sistemáticamente sensores de posición en lugares estratégicos. En [5] se ha propuesto un método para distribuir sensores una clasificación la cual consiste en: sensores principales (se colocan sobre las máquinas de transporte), los de completud (se usan para completar el sensado de ida, los bandera (se usan para obtener señales intermedias) y los de sincronización. La figura 2 muestra los módulos de producción y el sistema de sensado de ida.

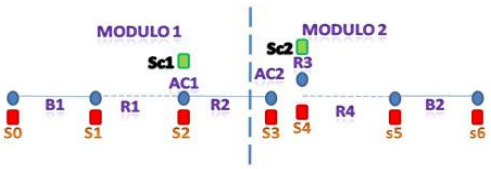

FIGURA. 2
MÓDULOS DE PRODUCCIÓN Y SISTEMA DE SENSADO

Para poder distribuir los tiempos de proceso sobre las rutas de trabajo de la maquinaria se usa el método del vórtice en cada módulo [5]. Dicho método se usa para relacionar las máquinas en grupos y para distribuir los tiempos de ida y vuelta de cada máquina. Las figura 3 muestra la configuración de un vórtice de sincronización y la distribución de tiempos en el módulo 1 y la tabla 1 muestra los resultados del proceso de sincronización.

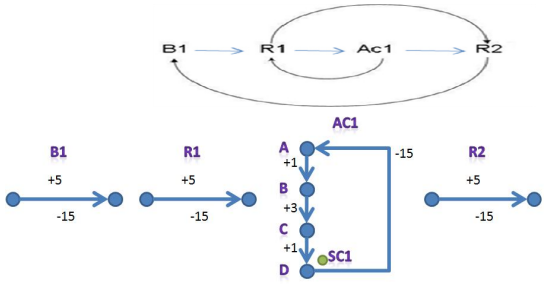

FIGURA. 3
VÓRTICE Y DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS

Máquina	Tiempos	Ciclo
B1	Tida=+5	Ida pura
R1	Tida=+5 Tregreso= -15	Continuo
Ac1	Tida= +5 Tregreso= -15	Continuo
R2	Tida= +5 Tregreso= -15	Continuo

TABLA. 1
RESULTADO DEL PROCESO DE SINCRONIZACIÓN LOCAL

PROCESO DE LA SINCRONIZACION GLOBAL

Una vez realizada el proceso de lo sincronización local, ahora ese procede a diseñar la sincronización global y la automatización del sistema. Para ello se procede a generar un código binario, denominado CBOR (Código Binario Operacional Referencial). Dicho código, se genera al integrar dos matrices: la matriz tiempo-sensado y la matriz tiempo maquinaria. El proceso de llenado del código implica la inserción de líneas de control LC (señalizaciones de eventos de sensado), la representación de los ciclos de operación de la maquinaria (+1 para los tiempos de ida y – 1 para los tiempos de vuelta). Para sincronizar el sistema productivo, las líneas de control del módulo inicial se superponen sobre el módulo sucesor. Este procedimiento de superposición se le llama supermódulo de sincronización (ver tabla 3). Para poder generar las ecuaciones de control, es necesario proponer las condiciones de operación que indican los clientes y algunas consideraciones especiales. Posteriormente se procede a generar el modelo de control, esto es, un conjunto de ecuaciones de estado que gobiernan dos ciclos de operación: el ciclo de arranque (Secuenciación de activaciones máquina a máquina) y el ciclo automático (Ciclo de control que gobierna la sincronización local y global de tal manera que se garantice que la diferencia temporal entre la primera y la segunda pieza de trabajo sea el TpU). La tabla 2 muestra las ecuaciones de estado que gobiernan el control del sistema productivo, particularmente los modelos del ciclo de arranque y ciclo automático. La operación * es la disyunción o la AND (representada en el CBOR por una bola blanca y una cajita negra). La primera columna muestra las condiciones del ciclo de arranque. La última fila muestra las condiciones del ciclo automático.

Sensado	Sensado	Sensado	LC
Y0´=X0			LC0
Y1´=X1			LC1
Y2´=X2			LC2
Y3´=X3			LC3
Y4´=X0*X4	Y0´´=X0*X4		LC4
Y5´=X1*X5	Y1´´=X1*X5		LC5
Y6´=X2*X6	Y2´´=X2*X6		LC6
Y7´=X3*X7	Y3´´=X3*X7		LC7
	Y4´´=X0*X4*X8	Y0´´´= X0*X4*X8	LC8

TABLA. 2
ECUACIONES DE ESTADO QUE GOBIERNAN EL CONTROL

PROCESO DE LA SIMULACIÓN COMPUTACIONAL

Para fines didácticos, la simulación computacional del sistema productivo sincronizado, se realiza en el software CAD de Fluid SIM de FESTO, con las siguientes consideraciones: 1) las máquinas del sistema se idealizarán con actuadores de doble efecto, 2) la regulación de los tiempos de ida y de vuelta se harán con válvulas extranguladoras y 3) los elementos de mando son electroválvulas 5/2. Además, el control se hace con equipo electroneumática. La figura siguiente muestra el diagrama neumático relacionado con los módulos de producción y la figura 5 muestra una porción del diagrama eléctrico.

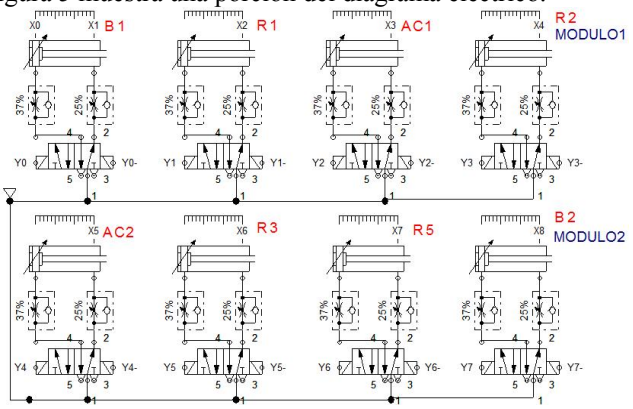

FIGURA. 4
DIAGRAMA NEUMÁTICO

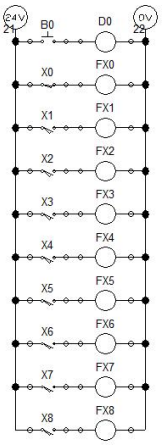

FIGURA. 5
EXTRACTO DEL DIAGRAMA ELÉCTRICO

PROCESO DE LA SIMULACIÓN REAL

Una vez simulado el proceso de la sincronización en el software FLUID SIM, se procedió a la realización de una prueba real usando equipos de neumática y electroneumática. Cabe mencionar que todas las condiciones y el modelado de control punto a punto hechas en el simulador fueron consideradas en la prueba real. La figura 6 muestra la configuración de la prueba real. La prueba del ciclo automático consistió en verificar si el sistema respondía a las ecuaciones de control asociadas con dicho ciclo y sobre todo si el TpU real era aproximado al TpU teórico.

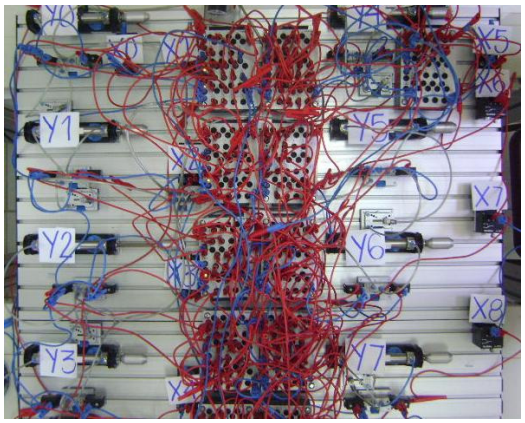

FIGURA. 6
CIRCUITO DE PRUEBA CON EQUIPO FESTO

CONCLUSIONES

En este artículo se aplicó y se probó la metodología de la sincronización global usando dos módulos de producción. Los resultados obtenidos se resumen en los puntos siguientes:

- La prueba del ciclo automático permite mostrar que la teoría de la sincronización desarrollada en [5] es consistente.
- Los métodos de sincronización local y global sí pueden ser usados para modelar sistemas productivos seriales.
- El CBOR fue simulado y probado con equipos reales, por lo que se puede concluir que la teoría tiene aplicaciones prácticas.
- La prueba del ciclo automático y, por consiguiente, la del CBOR, permitirá hacer aplicaciones industriales.

REFERENCIAS

[1] Mecatrónica, sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica, 3ra edición, W. Bolton, Editorial Alfaomega.

[2] Jiménez E, Ferrer A, Soto E., Ochoa F,. Martínez V., Galindo F., "The Profile of the New Engineer: Appied-Physicist-Mathematician-Information Technologist", International Conference on Engineering Education. MD5-6 a MD5-8. July 23 – 28, 2006 San Juan, Puerto Rico.

[3] Ferrer L., Jiménez E. *La necesidad del método científico como herramienta de trabajo para la presente y futura ingeniería.* WCCSETE´2006 World Congress on Computer Science. Engineering and Technology Education, P.p. 1606 – 1608. 2006. Santos, Brasil

[4] Eusebio Jiménez López, Luis Reyes Ávila, Francisco Galindo Gutiérrez, Efrén Rúelas Ruiz, Luis Ignacio Lie López. MÉTODOS PARA LA SINCRONIZACIÓN LOCAL Y GLOBAL DE SISTEMAS PRODUCTIVOS. Global Congress on Manufacturing and Management. GCMM 2006. Brasil.

[5] 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. ISBN 968-5844-00-3.

[6] Mercado M. Sincronización global de la línea MIDCOM usando un CBOR. 2005 . (Tesis de Maestría en Ingeniería Mecánica). UNAM, Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado, Sección Mecánica.

[7] Hito O. Sincronización local usando el método del vórtice, de la línea MIDCOM INC. 2005. (Tesis de Maestría en Ingeniería Mecánica) UNAM, Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado, Sección Mecánica.

[8] Cota A. Modelos de sincronización: Aplicaciones a la línea ACOSA. México. 2005. (Tesis de Maestría en Ingeniería Mecánica). UNAM, Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado, Sección Mecánica. 2005. México.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen a la Universidad La Salle Noroeste, al Instituto Tecnológico Superior de Cajeme, a la Universidad Tecnológica de Sonora, a la empresa Impulsora de Desarrollo Dinámico S.A. de C.V. y a la empresa spin-off, Innovación en Ingeniería de Manufactura y Mantenimiento S de RL MI (Empresas e instituciones que conforman la RED ALFA) por el apoyo prestado para desarrollar la presente investigación.

APÉNDICE A

	Matriz tiempo - sensado												Matriz maquinaria - tiempo								
		X0	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8			Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	
	T/S	S0	S1	S2	SC1	S3	S4	SC2	S5	S6			B1	R1	AC1	R2	AC2	R3	R4	B2	M/T
LC0		1/0											0								
	T1												1								T1
	T2												1								T2
	T3												1								T3
	T4												1								T4
	T5												1								T5
LC1			1/0										0	0							
	T6													1							T6
	T7													1							T7
	T8													1							T8
	T9													1							T9
	T10													1							T10
LC2				1/0										0	0						
	T11													-1	1						T11
	T12													-1	1						T12
	T13													-1	1						T13
	T14													-1	1						T14
	T15													-1	1						T15
LC3					1/0										0	0					
	T16													-1	-1	1					T16
	T17													-1	-1	1					T17
	T18													-1	-1	1					T18
	T19													-1	-1	1					T19
	T20													-1	-1	1					T20
LC4		1/0				1/0							0			0	0				
	T21												1	-1	-1	-1	1				T21
	T22												1	-1	-1	-1	1				T22
	T23												1	-1	-1	-1	1				T23
	T24												1	-1	-1	-1	1				T24
	T25												1	-1	-1	-1	1				T25
LC5			1/0				1/0						0	0			0	0			
	T26													1	-1	-1	-1	1			T26
	T27													1	-1	-1	-1	1			T27
	T28													1	-1	-1	-1	1			T28
	T29													1	-1	-1	-1	1			T29
	T30													1	-1	-1	-1	1			T30
LC6				1/0				1/0						0	0			0	0		
	T31													-1	1	-1	-1	-1	1		T31
	T32													-1	1	-1	-1	-1	1		T32
	T33													-1	1	-1	-1	-1	1		T33
	T34													-1	1	-1	-1	-1	1		T34
	T35													-1	1	-1	-1	-1	1		T35
LC7					1/0				1/0						0	0			0	0	
	T36													-1	-1	1	-1	-1	-1	1	T36
	T37													-1	-1	1	-1	-1	-1	1	T37
	T38													-1	-1	1	-1	-1	-1	1	T38
	T39													-1	-1	1	-1	-1	-1	1	T39
	T40													-1	-1	1	-1	-1	-1	1	T40
LC8		1/0				1/0				1/0			0			0	0			0	
	T41													-1	-1	-1		-1	-1		T41
	T42													-1	-1	-1		-1	-1		T42
	T43													-1	-1	-1		-1	-1		T43
	T44													-1	-1	-1		-1	-1		T44
	T45													-1	-1	-1		-1	-1		T45
	T46														-1	-1			-1		T46
	T47														-1	-1			-1		T47
	T48														-1	-1			-1		T48
	T49														-1	-1			-1		T49
	T50														-1	-1			-1		T50

TABLA 3

EL CÓDIGO BINARIO OPERACIONAL REFERENCIAL