

01173



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

METODO DE SIMULACIÓN DE SISTEMAS
PRODUCTIVOS: APLICACIÓN A UN PROCESO DE
ACOSA.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA
(ÁREA MECÁNICA)
P R E S E N T A :
ING. ARMANDO COTA DANZOS.



ASESOR: M. EN I. EUSEBIO JIMÉNEZ LÓPEZ

MÉXICO, D. F. CIUDAD UNIVERSITARIA

2005

m304707



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE

AUTORES PRÓLOGO

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

I.1 El motivo de la investigación.

I.2 Generalidades de la sincronización.

I.3 La sincronización local y global

I.4 Ejemplos didácticos.

I.5 Otras investigaciones sobre control y sincronización.

I.6 Breve resumen del capítulo de la tesis.

PARTE 1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Definición del problema y restricciones.

1.2 Hipótesis.

1.3 La línea de producción ACOSA.

PARTE 2 EL MÉTODO DEL VÓRTICE

2.1 Algunas consideraciones sobre el método del vortice

2.2 El método del vórtice

PARTE 3 LA SINCRONIZACIÓN GLOBAL: EL CBOR

3.1 El código binario operacional referencial (CBOR)

3.2 Procedimiento de llenado del CBOR

3.3 El CBOR del supermódulo

3.3.1 El CBOR completo

3.3.2 Condicionamientos de control, el sistema de control y CBOR funcional

3.3.3 Interpretación del CBOR funcional, diagrama escalera y algunas consideraciones sobre los dominios proposicional y operacional

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: ARMANDO COTA DANCO

FECHA: 11/AGOSTO/2005

FIRMA: Armando Cota D. p.a. [Firma]

III
VII

X

1

1

2

3

4

10

10

12

12

13

14

18

18

20

23

23

26

29

30

30

32



PARTE 4	SINCRONIZACIÓN LOCAL DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN COMPUESTA POR DOS MÓDULOS	40
4.1	Definición del problema y restricciones	40
4.2	Descripción de los datos conocidos	42
4.3	Sincronización del módulo de acercamiento	50
4.4	Sincronización local del módulo de soldadura	55
4.5	Sincronización local del modulo de quemado	62
4.6	Datos finales para la sincronización global	70
PARTE 5	SINCRONIZACIÓN GLOBAL DE 2 MÓDULOS DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA ACOSA	72
5.1	Filas y columnas de referencia de la matriz tiempo – sensado	72
5.2	Filas y columnas de referencia de la matriz maquinaria – tiempo	73
5.3	Filas y columnas de referencia del CBOR	73
5.4	Llenado de la columna de tiempos de proceso	74
5.5	Inclusión de los cT_{ki} de ida en el CBOR	76
5.6	Llenado de las matrices M_{T-S} y M_{M-T} para líneas de control de ida y tiempos de ida	78
5.7	Acoplamiento de las submatrices del CBOR para el recorrido de ida	81
5.8	Llenado de los tiempos de vuelta y extensión del CBOR, inserción de las líneas de control de sensado bandera y tiempos especiales	84
5.9	Representación y caracterización del supermódulo de sincronización global	88
5.10	Caracterización del supermódulo	92
5.11	CBOR completo	93
5.12	Condicionamientos de control y CBOR funcional del proceso de ACOSA	96
5.12.1	Diseño del sistema de control operacional del proceso de ACOSA	99
5.12.2	El CBOR funcional del sistema productivo sincronizado	103
	CONCLUSIONES	106
	REFERENCIAS	108

PRÓLOGO

Esta tesis tiene el propósito de generar conocimiento escrito para los ingenieros interesados en los procedimientos de la sincronización local y global de sistemas productivos.

El problema de la sincronización de procesos consiste, en términos generales, en distribuir los tiempos de proceso sobre las rutas de operación de la maquinaria de trabajo. Dicha distribución debe ser controlada bajo un sistema de señalización y sobre la base del tiempo de producción unitaria.

La sincronización es llamada “local” si se realiza en módulos de producción. Es global si dicho proceso se lleva a cabo en la totalidad de los módulos que componen una línea de producción. Tanto la sincronización local o modular como la global están gobernadas por el tiempo de producción unitaria.

El hecho de que un sistema productivo no opere sincronizadamente, implica que:

- 1) No es posible que el sistema pueda satisfacer los volúmenes de producción requeridos.
- 2) Las líneas de producción tiene paros constantemente lo que implica pérdidas económicas para las empresas.
- 3) Algunas máquinas que componen los módulos de producción operan en los límites permisibles de funcionalidad lo que implica mayor costo de mantenimiento.

Recientemente, se ha desarrollado una técnica para sincronizar localmente módulos de producción. Dicha técnica es llamada “vórtice de sincronización modular”. Por otro lado, para realizar el proceso de sincronización global ha sido desarrollado un esquema operacional llamado “Código Binario Operacional Referencial” (CBOR). En dicho esquema, se muestran los ciclos de operación de cada máquina y cada módulo de producción en código binario, así como el sistema de control.

En este trabajo de tesis se analiza, modela y sincroniza un sistema productivo serial-simultáneo usando el método del vórtice y el CBOR. El sistema productivo analizado pertenece a la empresa ACOSA localizada en Cd. Obregón Sonora.

El trabajo de tesis fue realizado tomando asesoría de profesores investigadores de la Universidad La Salle Noroeste (ULSA) y se enmarca dentro del convenio de maestría firmado por el Instituto Tecnológico Superior de Cajeme (ITESCA) y la Universidad Nacional Autónoma de México. En particular deseo agradecer a los integrantes de la RED ALFA y sus instituciones (ULSA Noroeste, ITESCA, UTS (Universidad Tecnológica del Sur de Sonora e IDDSA (Impulsora de Desarrollo Dinámico S.A. de C.V.)) por sus valiosos consejos y profesional asesoría para concluir este trabajo

RESUMEN

En este trabajo de tesis se aplican dos métodos para sincronizar local y globalmente una línea de producción de la empresa ACOSA. El primer método es llamado “vórtice” y es usado para sincronizar localmente 3 módulos de producción de la línea de ACOSA. El segundo método es llamado Código Binario Operacional Referencial (CBRO) y se utiliza para sincronizar globalmente 2 módulos de producción de la línea ACOSA. El objetivo es aplicar los métodos de sincronización mencionados anteriormente para mostrar su consistencia en la modelación y el análisis de sistemas productivos reales. Los resultados obtenidos indican que los métodos de sincronización usados en la línea ACOSA fueron funcionales y útiles lo que realmente muestra la contundencia de dichos métodos.

Palabras clave: Sincronización, CBOR, el vórtice, control de procesos.

Introducción

A través de este trabajo de tesis se intentará cumplir con los siguientes objetivos:

- Aplicar el Método del Código Binario Operacional Referencial para sincronizar globalmente dos módulos de producción de la Empresa ACOSA.
- Aplicar el Método del Vórtice para sincronizar localmente tres módulos de producción de la empresa ACOSA.

I.1 El motivo de la investigación

Lo que motiva a realizar este trabajo de tesis se sintetiza de la manera siguiente:

En la mayor parte de los sistemas productivos se tienen problemas de sincronización en las líneas de producción, lo que genera pérdidas económicas debido a que no se cumplen los volúmenes de producción demandados por los mercados. Los problemas de la sincronización se generan por diversos factores entre los que se incluyen la flexibilidad de la maquinaria, las variaciones de la producción, la falta de un correcto suministro de los insumos, etc.

A la fecha no se ha desarrollado un método general que auxilie los procedimientos de la sincronización, pues como ya se menciono anteriormente los factores que se relacionan con tal problemática, son diversos y complejos. Sin embargo, sí han sido propuestos métodos que ayudan a solucionar parcialmente los problemas de sincronización.

Recientemente se han propuesto dos métodos que sirven la construir modelos que permiten, teóricamente, plantear y solucionar problemas de sincronización en sistemas productivos. Dichos métodos o técnicas son llamados Vórtice [1] y Código Binario Operacional Referencias (CBOR) [2]. De hecho, tales métodos han sido aplicados para modelar casos industriales reales [3,4,5] como el caso de la línea de producción de la Empresa Midcom Inc. y un caso relacionado con un sistema productivo de la Empresa

ABB [6]. Los métodos mencionados anteriormente, también han sido aplicados para modelar casos de estudios didácticos [7,8].

Lo que motiva a la investigación en este trabajo de tesis es aplicar el Método de vórtice y el CBOR para sincronizar una línea de producción de la Empresa ACOSA localizada en el parque industrial de CD. Obregón Sonora y con ello verificar la potencia de dichas técnicas para caso industriales. De hecho, la configuración de la línea de producción de ACOSA es diferente a la configuración de la línea de Midcom Inc. Por ello, se quiere verificar si los métodos son funcionales en otros tipos de configuraciones de sistemas productivos.

I.2 Generalidades de la sincronización

De acuerdo con [9], una de las etapas fundamentales de la planeación operacional de sistemas de manufactura es el diseño de control de operaciones. Controlar, coordinar y sincronizar los elementos de trabajo que componen una línea o varias líneas de producción de tal forma que los volúmenes de producción sean satisfechos son quizás los objetivos más importantes de la planeación operacional.

En términos generales, el sistema de control de operaciones de un sistema productivo está compuesto por: 1) elementos de señalización (sensores), 2) sistemas de procesamiento de señales (PLC,s) y 3) elementos de mando, los cuales gobiernan las formas operativas de la maquinaria. Las señales emitidas por los sensores son recibidas y procesadas por los PLC,s y, posteriormente enviadas a los elementos de mando. El control de operaciones de un sistema productivo debe garantizar el correcto funcionamiento, coordinación y sincronización de la maquinaria de trabajo a través de la emisión y procesamiento de señales. El objetivo de la sincronización de operaciones (derivada del control de procesos) es el cumplimiento de los volúmenes de producción requeridos. Para el diseño del sistema de control de operaciones de líneas de producción se deben realizar diversas actividades tales como: 1) distribuir estratégicamente elementos de señalización [10], 2) modularizar las líneas de producción, 3) determinar los ciclos operativos de la

maquinaria, 4) sincronizar local y globalmente los módulos de producción, 5) balancear líneas de flujo de materiales, 6) diseñar los diagramas escalera de los PLC,s para el control y procesamiento de señales [9,10].

El proceso de sincronización modular o local de sistemas productivos se caracteriza por una distribución de tiempos de proceso y sensores sobre los ciclos de operación de la maquinaria de trabajo [11]. Dicha distribución está restringida por el tiempo de producción unitaria (TpU) derivado del volumen de producción. Así, cada elemento de trabajo requiere ser sincronizado individualmente o en grupos bajo restricción del TpU. La sincronización local es la base para construir esquemas operacionales de control globales. El Código Binario Operacional Referencial (CBOR) se usa para la sincronización global de sistemas productivos y es generado con los resultados de la sincronización local [1].

Un método geométrico usado para relacionar y distribuir los tiempos de proceso sobre las máquinas que integran los módulos de producción, es llamado “vórtice” [1]. En el método del vórtice la máquina de máxima jerarquía (la más lenta) se conecta con las últimas máquinas del módulo formando grupos de sincronización. Dichos grupos son sincronizados bajo la restricción del TpU. Los tiempos de proceso son distribuidos sobre los lugares geométricos que componen los ciclos de operación. En otras palabras sobre las trayectorias que describen las herramientas.

I.3 La sincronización local y global

De acuerdo con [1,4] La sincronización de operaciones y procesos en líneas de producción, es un procedimiento de distribución de tiempos controlado por el volumen de producción. Dicha distribución se realiza sobre las rutas de trabajo de la maquinaria. La sincronización puede estudiarse de dos formas:

- 1) Local
- 2) Global

La sincronización local es la encargada de sincronizar módulos de producción uno a uno o, dicho de otra forma, de manera independiente. Este tipo de sincronización se realiza usando la técnica del vórtice [1]. Por otro lado, la sincronización global se encarga de que los tiempos de proceso sean distribuidos y controlados en forma global, es decir, considerando a la vez todos los módulos que componen una línea de producción bajo la restricción del tiempo de producción unitaria derivado del volumen de producción y de las jornadas de trabajo.

Este tipo de sincronización se puede realizar usando el Código Binario Operacional Referencial [1,4]. La sincronización global no solo enmarca una distribución de tiempo totales en un sistema productivo, sino que además, está relacionada con el sistema de control operativo de las máquinas, módulos y líneas de producción. El hecho es, pues, que al relacionarse la sincronización global con el sistema de control, se requiere de controlar en tiempo y por señales, máquinas, piezas y módulos, por tanto, el CBOR es una técnica que facilita las complejas tareas de sincronización y control.

I.4 Ejemplos didácticos e industriales de sincronización

En esta sección se presentan de manera general algunos ejemplos de aplicación del método del Vórtice y el CBOR a casos didácticos e industriales. En el trabajo desarrollado en [7] se modeló la sincronización local usando el método del vórtice. La configuración de la línea de producción modelada en dicho trabajo se muestra en la figura I.1. El sistema productivo está formado de 3 módulos que integran máquinas, actuadores y sensores. La sincronización realizada a dicho sistema fue hecha módulo a módulo y para lo cual se propusieron tres vórtices. Se aplicó un método para distribuir sensores en el análisis del sistema de manufactura. Dicha distribución, según [10], es sistemática y funcional para realizar el proceso de sincronización local y global. La configuración de uno de los vórtices de sincronización se muestra en la figura I.2.

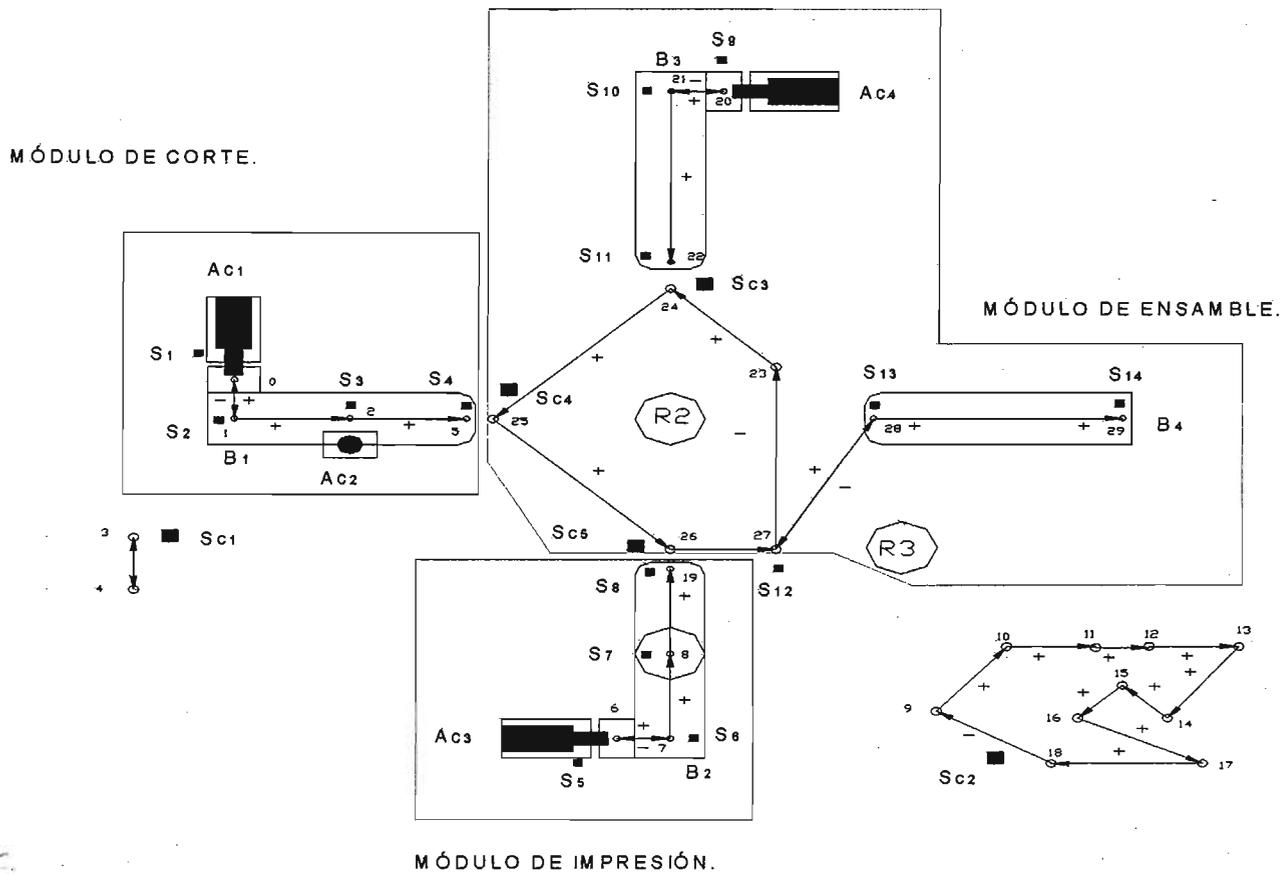


Figura I.1 Módulos de la línea de producción didáctica

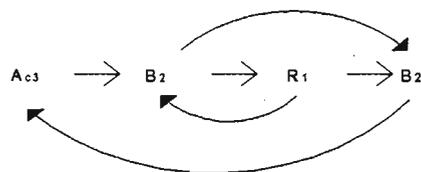


Figura I.2 Vórtice antecesor en el módulo de impresión

El vórtice mostrado en la figura I.2, es, según [1], perfecto y del tipo antecesor. Por otro lado, la pieza asociada con el sistema productivo es un montaje de una pieza didáctica la cual solo se usa para tales fines, es decir, didácticos.

Por otro lado, en los trabajos desarrollados en [3,4] se aplicaron los métodos del vórtice y el CBOR para analizar y modelar una línea de producción de la empresa MIDCOM Inc localizada en Cd. Obregón Sonora. Los módulos de producción se muestran en la figura I.3.

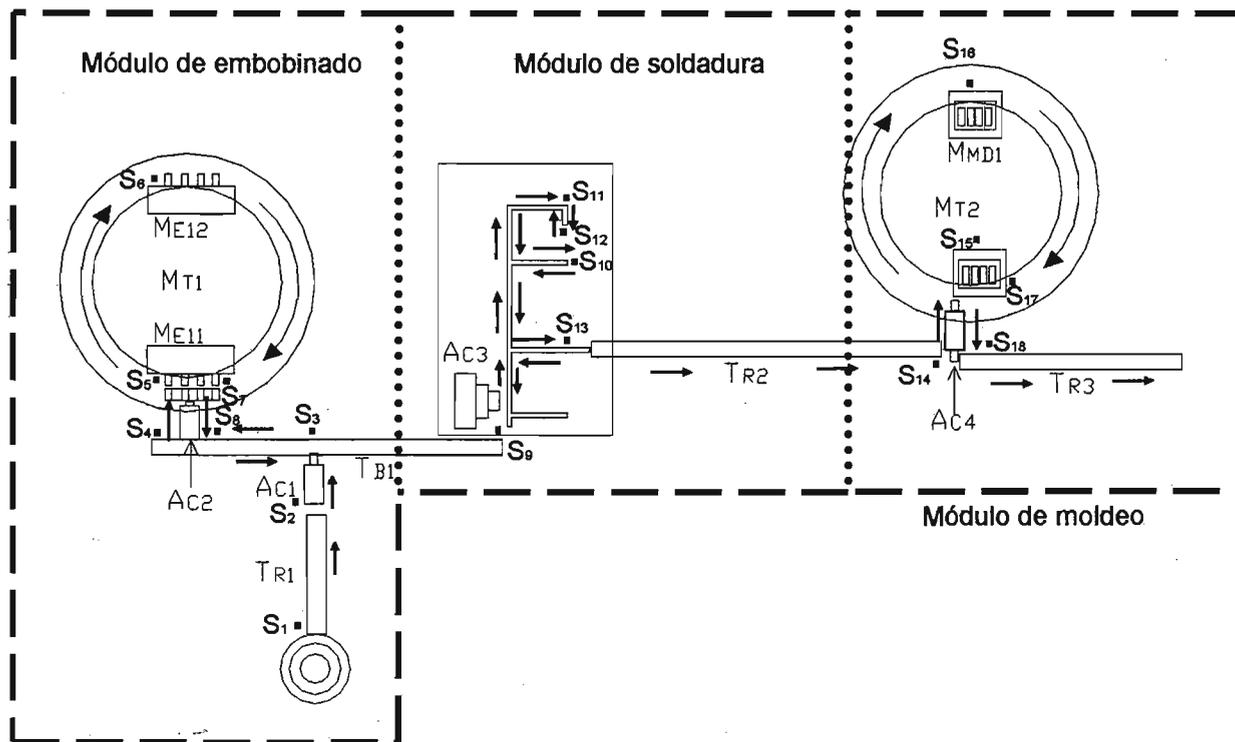


Figura I.3 Módulos de la línea MIDCOM INC.

La línea MIDCOM produce transformadores electrónicos para la industria de las telecomunicaciones. Esta sistema productivo es serial y las operaciones que se realizan en dicho sistema son complejas, pues los componentes son muy pequeños. Por otro lado, para modelar la sincronización local se utilizó el método del vórtice [1]. La configuración del vórtice utilizado para sincronizar el módulo de embobinado se muestra en la figura I.4.

Cabe señalar que, los tiempos derivados del proceso de sincronización fueron probados en la línea y los resultados fueron satisfactorios [5]. La tabla I.1 muestra los resultados de la sincronización realizada al módulo de embobinado.

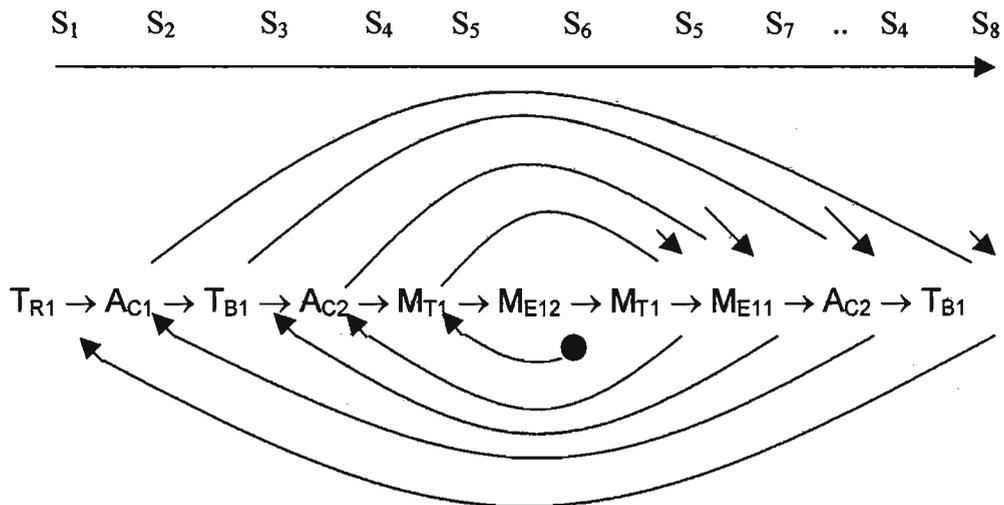


Figura I.4 Vórtice del módulo de embobinado

MÓDULO DE EMBOBINADO						
Maquinas	Tiempos		Tipo de Ciclo	Tiempo de Espera		Sensores
	Ida	Vuelta		Ida	Vuelta	
TR ₁	T _{2,1} : + 2	0	Ida Pura	+ 56	0	S ₁ - S ₂
AC ₁	T _{3,2} : + 1	T _{2,3} : -1	Intermitente	0	+ 56	S ₂ - S ₃
TB ₁	T _{4,3; 8,7} : + 3	T _{3,8} : -2	Intermitente	+ 53	0	(S ₃ - S ₄) - (S ₈ - S ₉)
AC ₂	T _{4',4; 4,4'; 6,4; 7,6; 6,7} : + 4	T _{4,7} : - 4	Intermitente	+ 50	0	(S ₄ - S ₅) - (S ₇ - S ₈)
MT ₁	T _{5,4'} : + 3	0	Ida Pura	+ 55	0	(S ₅ - S ₆) - (S ₈ - S ₇)
ME ₁₂	T _{5,5'} : + 40	0	Ida Pura	+ 18	0	S ₆
ME ₁₁	T _{6,6'} : + 14	0	Ida Pura	+ 44	0	S ₇

Tabla I.1 Resultados de la sincronización local del módulo de mbobinado

Por otro lado, en el trabajo desarrollado en [4] se utilizó el método del CBOR para sincronizar globalmente el sistema productivo de la empresa MIDCOM INC. La estructura general de dicho código se muestra en la tabla I.2. El CBOR es un esquema operacional en donde se muestra los ciclos de operación de la maquinaria y las líneas de control de los elementos de sensado. Con dicho código es posible construir, de manera sistemática, el sistema de control de sistemas productivos.

		Matriz de Código Binario Operacional Referencial																									
		Matriz Tiempo - Sensado												Matriz Tiempo - Maquinaria													
		Sensores												Maquinaria													
		Sincronización (-)												Bandera													
Sensado de ida		X ₁	...	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	...	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉	X ₂₀	X ₂₁	...	X ₂₄	Recorrido de ida		Y ₁	Y ₂	Y ₃	...	Y ₆			
T / M	S ₁	...	S ₆	S _{C1}	S ₇	S _{C2}	S ₈	...	S _{C4}	S ₁₂	S _{C5}	S ₁₃	S ₁₄	·S _{B1}	...	·S _{B4}	TR ₁	AC ₁	TB ₁	AC ₂	TR ₂	T / M					
cT100																								cT100			
l ₀																									l ₀		
cT101																									cT101		
l ₁																									l ₁		
cT102																									cT102		
l ₂																									l ₂		
cT103																									cT103		
l ₃																									l ₃		
cT104																									cT104		
l ₄																									l ₄		
cT105																									cT105		
l ₅																									l ₅		
cT106																									cT106		
l ₆																									l ₆		
cT107																									cT107		
l ₇																									l ₇		
cT108																									cT108		
l ₈																									l ₈		
cT109																									cT109		
l ₉																									l ₉		
cT110																									cT110		
l ₁₀																									l ₁₀		
cT111																									cT111		
l ₁₁																									l ₁₁		
cT112																									cT112		
l ₁₂																									l ₁₂		
cT113																									cT113		
l ₁₃																									l ₁₃		
cT114																									cT114		
l ₁₄																									l ₁₄		
cT115																									cT115		
l ₁₅																									l ₁₅		
cT116																									cT116		
l ₁₆																									l ₁₆		
cT117																									cT117		
l ₁₇																									l ₁₇		
cT118																									cT118		
l ₁₈																									l ₁₈		
cT119																									cT119		
l ₁₉																									l ₁₉		
cT120																									cT120		
l ₂₀																									l ₂₀		
cT121																									cT121		
l ₂₁																									l ₂₁		
cT122																									cT122		
l ₂₂																									l ₂₂		
cT123																									cT123		
l ₂₃																									l ₂₃		
cT124																									cT124		
l ₂₄																									l ₂₄		
cT125																									cT125		
l ₂₅																									l ₂₅		
cT126																									cT126		
l ₂₆																									l ₂₆		
cT127																									cT127		
l ₂₇																									l ₂₇		
cT128																									cT128		
l ₂₈																									l ₂₈		
cT129																									cT129		
l ₂₉																									l ₂₉		
cT130																									cT130		
l ₃₀																									l ₃₀		
cT131																									cT131		
l ₃₁																									l ₃₁		
cT132																									cT132		
l ₃₂																									l ₃₂		
cT133																									cT133		
l ₃₃																									l ₃₃		
cT134																									cT134		
l ₃₄																									l ₃₄		
cT135																									cT135		
l ₃₅																									l ₃₅		
cT136																									cT136		
l ₃₆																									l ₃₆		
cT137																									cT137		
l ₃₇																									l ₃₇		
cT138																									cT138		
l ₃₈																									l ₃₈		
cT139																									cT139		
l ₃₉																									l ₃₉		
cT140																									cT140		
l ₄₀																									l ₄₀		
cT141																									cT141		
l ₄₁																									l ₄₁		
cT142																									cT142		
l ₄₂																									l ₄₂		
T / M	X ₁	X ₂	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉	X ₂₀	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₄	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₆			T / M			
	S ₁	S ₂	S ₆	S _{C1}	S ₇	S _{C2}	S ₈	S ₉	S _{C4}	S ₁₂	S _{C5}	S ₁₃	S ₁₄	·S _{B1}	·S _{B2}	·S _{B4}	TR ₁	AC ₁	TB ₁	AC ₂	TR ₂			T / M			

Tabla I.2 CBOR de la línea MIDCOM INC

Cabe señalar que el código mostrado en la tabla I.2 solo representa la sincronización de dos módulos de producción. Por otro lado, en el trabajo presentado por [6] se desarrolló una simulación de un proceso de producción de la empresa ABB. Para lograr tal propósito, se construyó un CBOR. El proceso modelado fue la aplicación de una película de silicón a un conjunto de planchas domésticas por medio de un robot IRB 2400 ABB. La figura siguiente muestran una salida gráfica del proceso y la tabla I.3 muestra una porción de CBOR relacionado con dicho proceso.

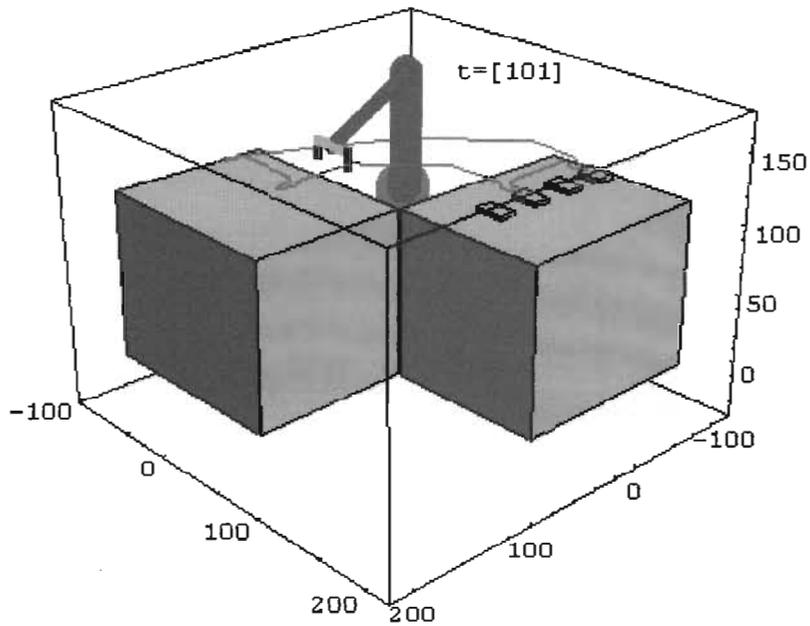


Figura I.5 Salida gráfica de la simulación del proceso de silicón

T	R1	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	B1	B2	SA	B11	B12	SPE ₁	SPE ₂
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0

Tabla I.3 CBOR de la línea ABB

I.5 Otras investigaciones sobre control y sincronización

En esta sección se discuten en forma breve algunas investigaciones que se están desarrollando relacionadas con el tema de este trabajo de tesis.

En el trabajo presentado en [11] es desarrollado un método de diseño para generar automáticamente un diagrama escalera para PLC. El método está soportado por un control basado en Reglas de Petri. Por otro lado, en un trabajo presentado en [12] se propone un método para calibrar óptimamente el control. Básicamente el método está orientado a sistemas CIMS y fue aplicado en China para la optimización de procesos.

El estudio de la sincronización de operaciones está tradicionalmente asociado con los PLC (Programmable Logic Controller). Así, en [13] se utilizan redes neuronales para diseñar un sistema de control modular para líneas de producción. En [14,15] se utilizan métodos de diagnóstico para monitorear PLCs. En [16] se presenta un método para implementar y controlar la producción robotizada usando una técnica de señales sincronizadas

I.6 Breve resumen del capitulado de la tesis

En este trabajo de tesis se usará el método del vórtice para sincronizar localmente 3 módulos de producción y globalmente dos módulos de la línea de producción de la empresa ACOSA. La tesis se divide en 5 capítulos los cuales se resumen a continuación:

En el capítulo 1 se define y formula el problema, sus restricciones, así como una hipótesis.

En el capítulo 2 se presenta los pasos del método del vórtice [1].

En el capítulo 3 se dan los pasos para construir el CBOR [1].

En el capítulo 4 se aplica el método del vórtice para sincronizar localmente tres módulos de producción de la líneas ACOSA [17].

En el capítulo 5 se aplica el CBOR para sincronizar globalmente dos módulos de producción de la línea de producción de ACOSA.

Finalmente se presentan las conclusiones derivadas de este trabajo de tesis.

Capítulo 1

Definición del problema

Introducción. Para poder iniciar una investigación formal es necesario definir un problema, y para que un problema pueda ser analizado, éste debe ser especificado o restringido. Posteriormente, quien define el problema debe dar sugerencias de cómo alcanzar su solución. Tales sugerencias, escritas en términos de proposiciones, se les llaman hipótesis. En este capítulo se define el problema por solucionar en esta tesis, sus restricciones así como una hipótesis. El objetivo es utilizar los pasos del Método Científico para enmarcar el problema [18] y, definir el procedimiento de sistematización del modelo. Dicha sistematización será realizada usando la metodología paso a paso desarrollada en [1].

1.1 Definición del problema y restricciones

Un problema bien planteado, debe ser escrito en esencia y lo más sintéticamente posible. El problema que se estudiará en este trabajo de tesis se plantea de la manera siguiente:

“Se requiere sincronizar local y globalmente una línea de producción de la Empresa ACOSA”

Las restricciones del problema son las siguientes:

- 1) La distribución de planta (DP) es fija y conocida (R_1).
- 2) El sistema de módulos (M^o) de la línea de producción es fijo y conocido (R_2).
- 3) Solo se sincronizan, localmente, tres módulos de producción y globalmente dos módulos (R_3).
- 4) El tiempo de producción unitaria (T_{pU}) es fijo y conocido (R_4).
- 5) Los tiempos fijos (T_F) de las operaciones son fijos y conocidos (R_5).

- 6) Los lugares geométricos (τ_T) relacionados con las rutas de trabajo son fijos y conocidos (R_6).

El problema definido anteriormente y sus restricciones se sintetizan y simbolizan de la manera siguiente:

“ Conocidos D^P , T_F , TpU , M^o , τ_T , aplique el método del vórtice en tres módulos y el CBOR en dos módulos de la línea ACOSA, tal que:

$$1) R_1 = \hat{R}_1$$

$$2) R_2 = \hat{R}_2$$

$$3) R_3 = \hat{R}_3$$

$$4) R_4 = \hat{R}_4$$

$$5) R_5 = \hat{R}_5$$

$$6) R_6 = \hat{R}_6$$

sean satisfechas. ”

1.2 Hipótesis

La hipótesis es un guía que da o propone un orden en los hechos [18]. Para el caso de un problema, la hipótesis funge como un enlace entre el problema planteado y su posible solución. Para el caso de este trabajo de tesis se propone la siguiente hipótesis:

“ En toda línea de producción serial compuesta por F – módulos existe un conjunto de tiempos de proceso distribuidos sobre las rutas de trabajo de la maquinaria. La distribución de los tiempos de proceso y el procedimiento de la sincronización

local en cada máquina o en su conjunto depende del tiempo de producción unitaria.”

Las proposiciones de referencia son:

- 1) El T_{pU} es perfecto y representable por un número entero.
- 2) El procedimiento de la sincronización local satisface la relación:

$$T_{pU} = \sum_{i=1}^k T_{IDAi}$$

Aquí, k es el número de máquinas que integran un módulo de producción y T_{IDAi} es el i -ésimo tiempo de ida de cada máquina que compone un módulo.

1.3 La línea de producción ACOSA

La línea de producción de la empresa ACOSA está compuesta por 5 módulos:

- 1) Dos módulos de quemado de camisa por pistola de calor,
- 2) Un módulo de transporte de piezas
- 3) Un módulo de soldadura eléctrica.
- 4) Un módulo de quemado de camisa por horno.

La distribución de planta de la línea se muestra en la figura 1.1. En la figura 1.2 se muestra el componente manufacturado, que en este caso, es un cable del subensamble utilizado para los arneses eléctricos de la industria automotriz [17].

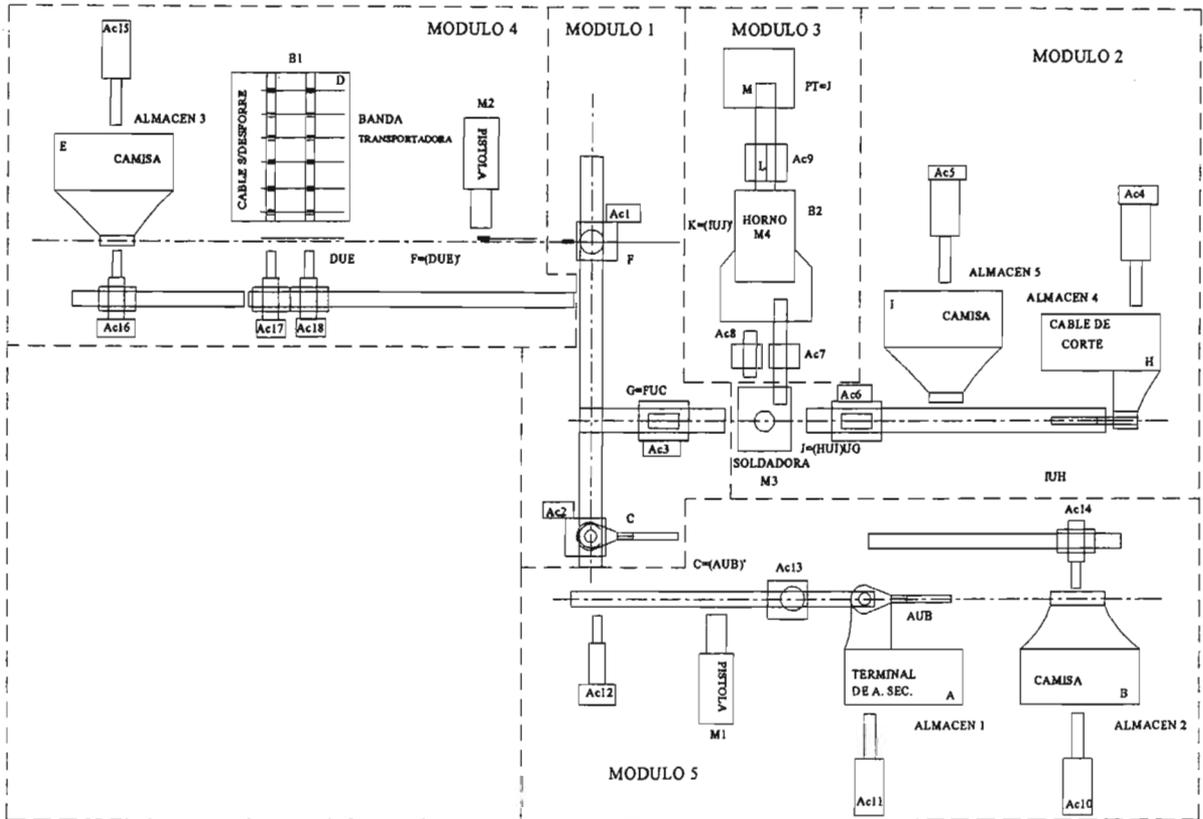


Figura 1.1 Distribución de planta de ACOSA.

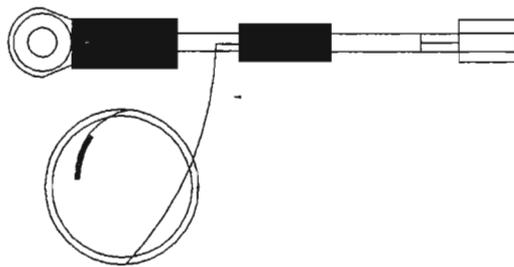


Figura 1.2 Componente manufacturado

La tabla 1.1 describe las operaciones de manufactura realizadas sobre la pieza [17].

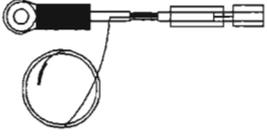
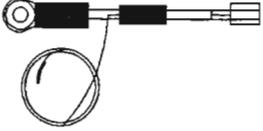
Operación	Elemento geométrico de B_{MAE}	Nomenclatura
<p>O_1 (Quemado de camisa sobre el cable desnudo)</p>		<p>B_1</p>
<p>O_2 (Quemado de camisa sobre terminal de A. Sec.)</p>		<p>C_1</p>
<p>O_3 (Montaje de camisa de encog sobre cable de Corte)</p>		<p>D_1</p>
<p>O_4 (Soldadura eléctrica de los 3 cables)</p>		<p>S_1</p>
<p>O_5 (Quemado de camisa sobre la unión soldada en un horno)</p>		<p>F_1</p>

Tabla 1.1 Operaciones de manufactura

Asimismo, la descripción de la maquinaria y su nomenclatura se presenta en la tabla 1.2.

Nomenclatura	Descripción
Ac ₁	Actuador de sujeción y transporte cable desnudo
Ac ₂	Actuador de sujeción y transporte de terminal Area Secundarea.
Ac ₃	Actuador de sujeción y transporte de terminal y cable
Ac ₄	Actuador transportador de camisa de encoge
Ac ₅	Actuador transportador de terminal de corte
Ac ₆	Actuador de sujeción y transporte de cable con camisa
M ₃	Máquina de soldadura eléctrica
Ac ₇	Actuador de sujeción y transporte de cable soldado
Ac ₈	Actuador transportador de centrado de camisa
M ₄	Máquina quemadora de horno con banda transportadora
Ac ₉	Actuador de transporte de producto terminado
Ac ₁₀	Actuador de transporte de camisa de encoge
Ac ₁₁	Actuador de transporte de terminal de Area Secundaria
Ac ₁₂	Actuador de transporte de terminal a módulo 1
Ac ₁₃	Actuador de transporte de terminal con camisa
Ac ₁₄	Actuador de transporte de camisa hacia terminal
M ₁	Pistola de calor encoge camisa en terminal de Area Secundaria.
Ac ₁₅	Actuador de transporte de camisa
B ₁	Banda transportadora de cable desnudo
Ac ₁₆	Actuador de transporte de camisa hacia cable
Ac ₁₇ , Ac ₁₈	Actuadores de transporte de camisa con cable
M ₂	Pistola de calor que encoge camisa en cable desnudo

Tabla 1.2 Descripción de la maquinaria.

El método del vórtice

Introducción. Para poder solucionar problema, es necesario desarrollar teorías o, en su caso, hacer uso de técnicas o métodos ya establecidos. El método del vórtice es una técnica desarrollada en [1] y se utiliza para realizar el proceso de sincronización local de líneas de producción. En este capítulo se describen algunas consideraciones sobre el método del vórtice y los pasos asociados con dicho método.

2.1 Algunas consideraciones sobre el método del vórtice

El método del vórtice es una técnica de distribución de tiempos sobre las rutas de trabajo que componen un módulo de producción [1]. Dicha distribución es gobernada por el tiempo de producción unitaria y por una distribución de sensores. Existen tres tipos de vórtices: 1) Vórtice perfecto sucesor, 2) vórtice perfecto antecesor y 3) vórtices extendidos sucesores y antecesores. La figura 2.1 muestra algunos ejemplos de vórtices:

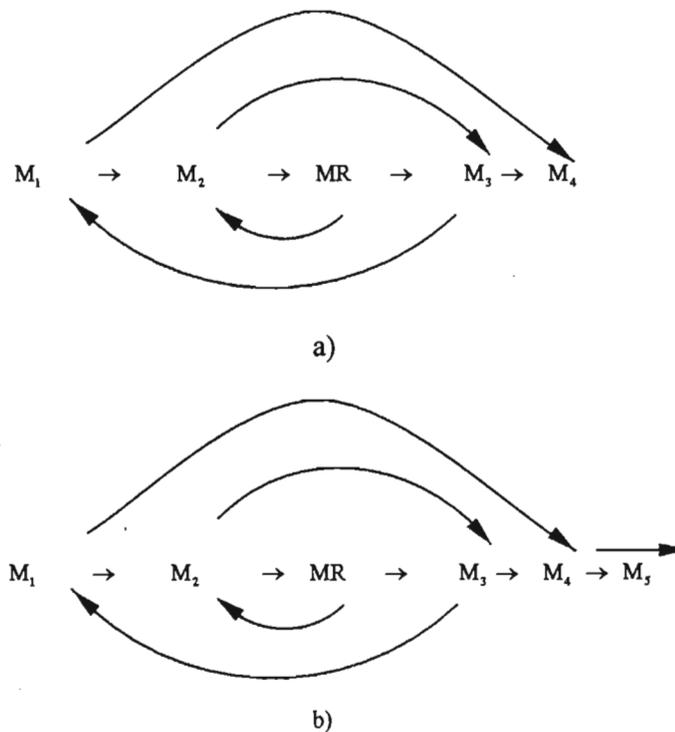


Figura 2.2 Representaciones de vórtices. a) perfecto, b) extendido

El origen de los vórtices (M_R) es una máquina de máxima jerarquía (la más lenta del módulo). Posteriormente, el vórtice conecta la máquina sucesora (M_1) con M_p y luego la antecesora (M_2) y así sucesivamente hasta completar todas las máquinas que componen el módulo. Cada conexión genera un grupo de máquinas las cuales se sincronizan bajo el tiempo de producción unitaria. Para poder controlar y coordinar las máquinas y sus tiempos, se asocian sobre las rutas de trabajo sensores los cuales son llamados de ida.

La distribución de tiempos se realiza primeramente sobre la máquina de máxima jerarquía, de acuerdo con su funcionamiento, y se sincroniza a T_{pU} . Luego el primer grupo hasta completar el último grupo. Las rutas de trabajo y los tiempos asociados de cada máquina se clasifican: 1) rutas de ida y 2) rutas de vuelta. Las de ida se componen de: a) ruta de acercamiento, b) de operación principal. Las vuelta en: A) ruta de retiro primario y B) rutas de retiro secundario. Así, los tiempos asociados con las rutas de ida son sumados en cada caso. En algunos casos, el tiempo asociado con la ruta de retiro primario es sumado con los tiempos de ida, esto es debido a que no es posible activar una máquina sucesora en el preciso instante en que se termina una operación principal de manufactura. El T_{DIS} es la diferencia temporal entre el T_{pU} y la sumatoria de tiempos de ida de la máquina de máxima jerarquía. Una vez completado la distribución de tiempos sobre la máquina más lenta (máxima jerarquía), dicha distribución se fija.

El tiempo T_{DIS} es repartido sobre las rutas de ida de las máquinas sucesoras y antecesoras, de tal forma que, al final, los tiempos de ida de las máquinas (excepto la de máxima jerarquía) deben sumar el T_{DIS} . Las particiones temporales del T_{DIS} pueden realizarse según se necesite tiempo para completar una ruta de ida de alguna máquina. Todos los tiempos de ida de las máquinas sucesoras y antecesoras (excepto los tiempos fijos de las operaciones) pueden ser modificados. Es claro que esta repartición de tiempos debe ser tal que las velocidades operacionales de las máquinas deben estar en los rangos permisibles.

Las máquinas pueden operar a ciclo continuo; es decir, sin detenerse, o a ciclo intermitente (se detienen en cada ciclo). Por otro lado, existen máquinas que operan en

ida pura, como las bandas. Aquí, el tiempo de ida es el tiempo fijo de operación si la máquina es de operación principal (no es de transporte).

El método del vórtice es, por tanto, una técnica de distribución de tiempos y sensores y su límite de aplicación está precisamente en el intervalo T_{DIS} ; es decir, un T_{DIS} mínimo implicará operaciones con tiempos muy cortos lo que implicará a su vez que las máquinas operen a altas velocidades. Por ello, es necesario que en la máquina de máxima jerarquía se distribuyan los tiempos bajo el T_{pU} dejando el máximo T_{DIS} , puesto que no tendría utilidad la técnica del vórtice si dicho intervalo es corto. La técnica del vórtice es aplicable con un T_{DIS} funcional hasta un mínimo de tres máquinas; es decir, el grupo 2 y un máximo de “n” máquinas circunscritas a un módulo. De hecho, el grupo 2 se le llama la terna mínima sincronizable.

2.2 El método del vórtice

En un trabajo desarrollado en [1], se ha propuesto una serie de pasos para aplicar, sistemáticamente, la técnica del vórtice. Antes de describir los pasos de dicha técnica, es necesario hacer notar que los problemas deben ser definidos y restringidos y, posteriormente, usar él o los métodos. Los pasos del método del vórtice son los siguientes: [1].

- 1) Determinar T_{DIS} para el cual el T_{pU} y el T_F o la $\sum T_F$ son datos conocidos.
- 2) Distribuir los tiempos de procesos sobre las rutas de trabajo de la máquina referencial (de máxima jerarquía) tal que la suma de dichos tiempos sea menor o igual al T_{pU} .
- 3) El T_{DIS} debe ser particionado y distribuido sobre:
 - a) La ruta de acercamiento.
 - b) La ruta de retiro primario.
 - c) La ruta de retiro secundario de la máquina referencial.
- 4) En la distribución de las particiones de T_{DIS} sobre las rutas de la máquina referencial, se debe tomar en cuenta los rangos permisibles operacionales de la máquina.
- 5) La distribución del T_{DIS} no es única.

- 6) Una vez distribuidos los tiempos en las rutas de la máquina referencial, dicha distribución debe ser fijada y la suma de los tiempos de ida de la máquina se controlan por dos sensores; uno localizado al inicio de la ruta y otro localizado en la intersección de las rutas de retiro primario y secundario (si se da el caso que la máquina sucesora a la referencial requiera de un sensor).
- 7) La máquina referencial se dice “sincronizada individualmente” si los pasos anteriores han sido cumplidos. Por otro lado, si la suma de los tiempos de ciclo es igual al TpU , entonces dicha máquina “opera a ciclo continuo”; es decir, sin detenerse. Si la suma de los tiempos es menor al TpU , entonces la máquina opera a ciclo intermitente; es decir, se detiene en cada ciclo en su punto de partida.
- 8) Seleccionar el grupo 1 y sincronizarlo usando los pasos siguientes:
 - a) Asignar el tiempo de vuelta secundario (tomando en cuenta si el ciclo es intermitente, el tiempo en el que se detiene la máquina) de la máquina referencial a la ruta de ida de la máquina antecesora o sucesora del grupo.
 - b) La suma de los tiempos de ida de la máquina referencial y la sucesora o antecesora debe ser igual al TpU .
 - c) El tiempo de vuelta de la máquina antecesora o sucesora debe ser menor o igual a la diferencia entre el TpU y el tiempo de ida de cualesquier de las dos máquinas.

Cabe señalar que si los pasos del inciso 8) han sido satisfechos, entonces el grupo 1 ha sido sincronizado a TpU y dicha sincronización se controla por sensores; es decir, con los asociados a la máquina referencial y otro localizado al inicio del ciclo de operación de la máquina antecesora o al final de la ruta de ida de la sucesora.

- 9) Seleccionar el grupo 2 y sincronizarlo usando los pasos siguientes:

Descomponer el tiempo de ida de la máquina antecesora o sucesora del grupo 1 en dos proporciones.

 - a) Una proporción es asignada a la ruta de ida de la máquina antecesora o sucesora del grupo 1, la otra es reasignada a las rutas de ida de la máquina antecesora o sucesora del grupo 1.

- b) La suma de los tiempos de ida de las máquinas del grupo 2 debe ser igual al T_{pU} .
- c) Los tiempos de vuelta de las máquinas antecesora o sucesora del grupo 1 y del grupo 2 se determinan según el paso 8-c)

Si los pasos del inciso 9) son satisfechos, entonces la terna mínima ha sido sincronizada a T_{pU} .

- 10) Seleccionar el grupo 3 y sincronizarlo usando los pasos siguientes:
 - a) Descomponer el tiempo de ida de la máquina antecesora o sucesora del grupo 2 o sumar los tiempos de ida de ambas máquinas y generar tres nuevas proporciones.
 - b) Usar los pasos 9-a), 9-b), y 9-d) para distribuir los tiempos.
 - c) La suma de los tiempos de ida del grupo 3 debe ser igual al T_{pU} .
- 11) Tomar el grupo “n” y usar el paso 10) las veces que sean necesarias generando proporciones de tiempos a partir de la suma de los tiempos de ida de las máquinas antecesoras y sucesoras de todos los grupos anteriores. Además, la siguiente restricción debe ser satisfecha: $T_{pU} = \sum_{i=1}^k T_{IDA}$; para el grupo “n”.

Cabe señalar que si “n” es el último grupo de máquinas, entonces se dirá que el módulo ha sido sincronizado localmente a T_{pU} . Dicha sincronización es gobernada por el sistema de sensado de ida. Además, en cada proceso de sincronización grupal se deben verificar si las asignaciones de los tiempos de ida a las máquinas antecesoras o sucesoras no implican que los rangos de operación de dichas máquinas sobrepasen los parámetros permisibles.

La sincronización global: El CBOR

Introducción. La sincronización global consiste en organizar y controlar todos los módulos que componen un sistema productivo de tal forma que se satisfaga el tiempo de producción unitaria. Para lograr la sincronización global se utiliza un Código Binario Operacional Referencial (CBOR). Dicho esquema representa, en código binario, las formas operativas y de control de un sistema productivo serial. Se presenta en este capítulo los pasos importantes del CBOR [1].

3.1 El Código Binario Operacional Referencial (CBOR)

El CBOR es un esquema operacional que se utiliza para representar el sistema de control externo de un sistema productivo, los tiempos de proceso discretizados, la maquinaria de trabajo, los ciclos operacionales de los módulos de producción y el supermódulo de sincronización global. Dicho esquema, muestra las formas operativas de todos los elementos que componen un sistema productivo. EL CBOR está compuesto por dos matrices [1,4]:

- 1) Tiempo – sensado.
- 2) Maquinaria - tiempo.

De acuerdo con [1], el CBOR es una “representación por eventos de las formas operacionales de un sistema productivo”. Los pasos que se usan para generar la matriz tiempo-sensado son:

- 1) En la primera fila de representación se colocan los sensores en el orden siguiente:
 - 1.1) Sensores de ida; es decir, sensores principales y de completud.
 - 1.2) Sensores bandera.

- 1.3) Sensores de sincronización (si los sensores de este tipo son principales, estos se marcan en el proceso de la sincronización global).
- 2) Sobre la fila de los sensores se colocan variables $X_{1...n}$, una por cada sensor.
- 3) En la primera columna se colocan los tiempos discretizados unitariamente de la siguiente forma:
 - 3.1) El primer tiempo es T_0 .
 - 3.2) El número de filas (N_{FILAS}) de los tiempos de proceso se calcula usando la relación siguiente: $N_{FILAS} = F \cdot TpU$ y F es el número de módulos.
 - 3.3) Colocar casillas intercaladas en la columna de los tiempos de proceso las cuales representarán los estados de activación de los sensores. Dichas casillas se deben colocar siguiendo el recorrido de ida. Además, las casillas de los sensores bandera se colocan hasta el final.
 - 3.4) Colocar, si es necesario, casillas que representan eventos de operación de la maquinaria no señalizados en la columna de los tiempos de proceso.

La tabla 3.1 muestra un ejemplo de la matriz tiempo – sentido:

Matriz Tiempo - Sensado								
	Sensores							
	Sincronización (*)							
	Sensado de ida				→	Bandera		
	X_1	$*X_2$	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
	S_1	S_2	S_{c1}	S_3	S_{c2}	S_4	S_{B1}	S_{B2}
T_0								
T_1								
T_2								
cTk_1								
T_3								
$T_{3,4}$								
T_4								
cTk_2								

Tabla 3.1 Ejemplo de una matriz tiempo –sensado

Los tiempos T_1 , T_2 , T_3 y T_4 son tiempos de proceso, cTk_1 y cTk_2 son casillas que representan estados de activación de sensores o líneas de control y $T_{3,4}$ es un tiempo instantáneo asociado

con el paro de una máquina no señalizado. Por otro lado, una matriz tiempo – maquinaria se construye de la manera siguiente:

- 1) La primera fila está integrada por la maquinaria de trabajo colocada de acuerdo con el recorrido de ida.
- 2) Sobre las filas de las máquinas se colocan variables $Y_{1...n}$, una por cada máquina.
- 3) La columna de tiempo es exactamente igual a la asociada con la matriz tiempo – sentido.

La tabla 3.2 muestra una representación de la matriz maquinaria – tiempo:

Matriz Maquinaria - Tiempo					
Maquinaria					
Recorrido de ida →					
Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	
M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	
					T_0
					T_1
					T_2
					cTk_1
					T_3
					$T_{3,4}$
					T_4
					cTk_2

Tabla 3.2 Ejemplo de una matriz maquinaria – tiempo

El esquema completo de referencia del CBOR se muestra en la tabla 3.3

Matriz de Código Binario Operacional Referencial														
Matriz Tiempo - Sentado								Matriz Maquinaria - Tiempo						
Sensores								Maquinaria						
Sincronización (*)								Recorrido de ida →						
Sentado de ida				Bandera				Recorrido de ida						
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	
	S_1	S_2	S_{c1}	S_3	S_{c2}	S_4	S_{B1}	S_{B2}	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	
T_0														T_0
T_1														T_1
T_2														T_2
cTk_1														cTk_1
T_3														T_3
$T_{3,4}$														$T_{3,4}$
T_4														T_4
cTk_2														cTk_2

Tabla 3.3 El CBOR, representación de referencia

3.2 Procedimiento de llenado del CBOR

Los pasos que se siguen para llenar el CBOR pasos son siguientes[1,4]:

- 1) Generar las filas y columnas de referencia de la matriz tiempo – sentido. Anexar a dicha matriz el sistema de sentido bandera.
- 2) Generar las filas y columnas de referencia de la matriz maquinaria - tiempo.

Nota: La información básica usada para los pasos descritos anteriormente son: el sentido de ida y la maquinaria.

- 3) Acoplar las matrices descritas en los pasos anteriores para generar las filas y columnas referenciales del CBOR.
- 4) Llenar la columna de los tiempos de proceso asociada con el CBOR usando la relación : $N_{CTP} = F \cdot T_{pU}$; donde F es el número de módulos.
- 5) Una vez llenada la columna de los tiempos de proceso se debe insertar, sobre dicha columna, los cT_{ki} o líneas de control de ida. El número de dichas líneas es igual al número de sensores de ida. La inserción de los cT_{ki} se realiza de la manera siguiente:

- 5.1) En T_0 colocar cT_{k0} .
- 5.2) Por cada tiempo de finalización del recorrido de ida de cada máquina colocar un cT_{ki} ; es decir, una línea de control por debajo de la línea de trabajo de dicho tiempo.
- 5.3) El último cT_{ki} se coloca al final de la casilla del último tiempo del recorrido de ida total.
- 5.4) Identificar, por medio de un código de colores, los cT_{ki} principales y de completud.

- 6) Llenar la matriz tiempo – sentido de la manera siguiente:

- 6.1) Aislar del CBOR la matriz tiempo – sentido.

- 6.2) Asociar el símbolo “1/0” en la intersección entre la fila del cT_{ki} y la columna del sensor i -ésimo. Nótese que si $i = 4$, entonces la pareja $(cT_{k4}, S_4) \rightarrow “1/0”$.
- 6.3) Asociar símbolos operacionales a las casillas de la matriz tiempo – sentido; esto es:
- En las casillas (cT_{ki}, S_j) con $i \neq j$ de las líneas de control se debe asociar el símbolo “0”.
 - El símbolo “0” se asocia también a las casillas (T_i, S_j) si los sensores operan normalmente abiertos o, en su caso, no están activos o relacionados con (T_i, S_j) . Aquí, T_i son los tiempos de proceso.
 - El símbolo “1” se relaciona con casillas del tipo (T_i, S_j) . Dicho símbolo representará activaciones de sensores que operan “normalmente cerrados”.
 - Las filas y columnas de la matriz tiempo – sentido deben ser indicadas por al menos uno de los siguientes símbolos: “1/0”, “0” y “1”.

7) Llenar la matriz maquinaria – tiempo con el siguiente procedimiento:

- 7.1) Las columnas de cada máquina deben llenarse con el símbolo “+1” el cual denota “ida”. El número de casillas señalizadas con “+1” se obtiene, para cada máquina, según el tiempo de ida discretizado. La distribución de los tiempos de ida está ordenada, para cada máquina, por las extensiones de las líneas de control en la matriz maquinaria – tiempo.
- 7.2) Sobre la fila de las líneas de control se coloca el símbolo “0”.
- 7.3) En las casillas no relacionadas con el símbolo “+1” se debe asociar el símbolo “0” el cual denotará que, en ese tiempo, una o varias máquinas no están operando.

- 8) Acoplar las matrices tiempo – sensado y maquinaria – tiempo para generar el CBOR de ida. Además, se debe señalar la máquina activada por el sensor asociado. Esto se realiza marcando la casilla (T_i, M_k) localizada por debajo de la línea de control.
- 9) Asociar los tiempos de vuelta a la matriz del CBOR generado en el paso anterior. Dichos tiempos completan los ciclos operacionales de cada máquina. Las casillas relacionadas con estos tiempos se deben llenar con el símbolo “-1” el cual representa un tiempo de regreso secundario. Este proceso de llenado implicará que el CBOR se extienda hasta que todos los ciclos operacionales de la maquinaria sean representados.
- 10) Insertar las líneas de control de sensado bandera y los tiempos especiales usando los puntos siguientes:
- Si el sensado bandera existe y está asociado con los regresos de algunas máquinas, entonces al final del último tiempo de vuelta de la máquina sensada se debe insertar la línea de control del sensado bandera.
 - Si la línea de control bandera coincide con otra línea, entonces solo se asocia el símbolo “1/0” a la casilla correspondiente.
 - Las características generales de las líneas de sensado bandera son iguales a las líneas del recorrido de ida.
 - Los tiempos especiales se insertan en el CBOR una vez caracterizadas las líneas de control completas. Dichos tiempos representan paros casi instantáneos de máquinas no señalizados. Los tiempos especiales, si existen, se colocan de acuerdo a su ubicación en el recorrido de ida de las máquinas. En toda la fila de estos tiempos $(T_{i, i+1})$ se coloca el símbolo “0”.

3.3 El CBOR del supermódulo

Un supermódulo de sincronización global es un esquema operacional en donde se superponen todas las líneas de control de los módulos que componen un sistema productivo. Dicho supermódulo tiene asociado un CBOR y los pasos para generar dicho CBOR son [1,4]:

11) Identificar los módulos del sistema productivo; es decir, el inicial, el último y los intermedios si existen y, posteriormente, aislarlos del CBOR.

11.1) Seleccionar el último módulo y eliminar el sensado bandera, los tiempos de vuelta y los tiempos especiales.

11.2) Superponer las líneas de control (con el símbolo 1/0) del sensado de ida del módulo antecesor sobre el CBOR del último módulo. Dicha superposición debe realizarse con el mismo procedimiento de llenado de las líneas de control de ida.

11.3) Si una línea de control del módulo antecesor coincide con una línea de control del último módulo, solo se indica la casilla con el símbolo "1/0" de la línea correspondiente y su código de color.

11.4) Distribuir los tiempos de ida del módulo antecesor sobre el CBOR del último módulo.

- 11.5) Usar los pasos anteriores las veces que sean necesarios para el caso en que existan F – módulos.

12) Caracterizar el supermódulo usando los pasos siguientes:

12.1) Las primeras y últimas líneas de control del módulo final y su antecesor deben coincidir.

12.2) Caracterizar los ciclos de ida modular y automático interpretando la primera y última línea de control del supermódulo.

3.3.1 El CBOR completo

En esta sección se dan los pasos para generar el CBOR completo [1,4].

13) Acoplar los CBOR de los módulos antecesores con el supermódulo y su extensión.

13.1) Agregar las líneas de control del sensado bandera tanto en el CBOR del módulo antecesor como en el supermódulo.

13.2) Asociar los tiempos especiales y los tiempos de vuelta.

Cabe señalar que el CBOR completo representa:

- 1) Todas las líneas de control del sistema productivo.
- 2) Todos los ciclos operativos completos de la maquinaria.
- 3) Los ciclos de ida o modular y automático del sistema productivo.
- 4) Todos los tiempos especiales.
- 5) Todas las formas de activación de los sensores.
- 6) El dominio “proposicional” de control.
- 7) El dominio “operacional” de control.

3.3.2 Condicionamientos de control, el sistema de control y CBOR funcional

En esta sección se discuten los condicionamientos de control o, más bien dicho, los requerimientos de control usados para el diseño del sistema de control. Se deben considerar dos aspectos fundamentales:

- 1) Los requerimientos de restricción del sistema productivo; es decir, aquellas restricciones requeridas por el cliente.

- 2) Los requerimientos necesarios para construir funcionalmente el sistema de control.

En otras palabras el sistema de control debe satisfacer los requerimientos del cliente y los asociados con su propia funcionalidad. Se debe formar el problema de control de la siguiente manera [1]:

“ Conocidas cT_{ki} , T_{pU} , X , Y , encuentre:

$$S_C = S_C(cT_{ki}, T_{pU}, X, Y)$$

tal que:

- 1) $T_{pU} = \hat{T}_{pU}$

- 2) $R_E = \hat{R}_E$

sean satisfechas. ”

Aquí, S_C es el sistema de control funcional y R_E son los requerimientos del cliente.

La hipótesis asociada con el problema de control debe relacionar el supermódulo de sincronización; es decir, con los ciclos modulares y automáticos caracterizados sobre las líneas de control. Por otro lado, la premisa básica de la cual se deduce el problema de control se formula considerando que una pieza de trabajo ha recorrido todos los módulos y es sensada por el último sensor de ida. De la solución del problema de control se obtienen las líneas de control relacionadas con los ciclos modulares y automáticos tanto de los propios módulos como de toda la línea de producción. Dichas relaciones son representadas en términos de ecuaciones de estado

Una vez encontradas las líneas de control de los ciclos modular y automático se asocian los requerimientos del cliente y se reconstruyen las ecuaciones de estado formando el sistema de control funcional de la línea de producción.

Cabe señalar que, los requerimientos del sensado de ida pueden ser proporcionados por el cliente o, simplemente, el mismo sistema de control los tomará como restricción de funcionalidad. Las relaciones del sistema de control se representan en el CBOR generando el CBOR funcional; es decir, la representación completa de los módulos operacionales de la maquinaria y su sistema de control sincronizados local y globalmente a TpU.

Las consideraciones relativas al sistema de control y el CBOR funcional se resumen en los pasos siguientes:

- 14) Definir los requerimientos de control del cliente y relacionarlos por medio del dominio operacional; es decir, por ecuaciones de estado.
 - 14.1) Definir el problema de control.
 - 14.2) Solucionar el problema de control en términos de sus relaciones con los ciclos de ida y automáticos.
 - 14.3) Asociar los requerimientos del paso 13) y reconstruir las ecuaciones de estado.
 - 14.4) Representar en el CBOR, las relaciones del paso anterior y generar el CBOR funcional.

3.3.3 Interpretación del CBOR funcional, diagrama escalera y algunas consideraciones sobre los dominios proposicional y operacional

El CBOR funcional está representado por dos dominios: 1) el proposicional y 2) el operacional. Ambos dominios, en términos de control, son equivalentes. Los símbolos “1/0” relacionan dichos dominios en términos de los tiempos de ida y de las activaciones sensor – máquina. Nótese que el hecho de considerar un TpU perfecto y discretizable unitariamente, permite relacionar los dominios en términos de los tiempos de ida [1,4].

El dominio proposicional caracteriza las relaciones entre máquinas y sensores en términos de proposiciones, y puesto que su dominio es $D_{\text{pro}} = \{V, F\}$, es decir, “V” representa el significado verdadero si tales condiciones se cumplen y “F” representa el valor de falsedad en los significados de las proposiciones, entonces:

$$D_{\text{pro}} \approx A^1 \quad ; \quad \text{si y solo si } V \Leftrightarrow 1 \text{ y } F \Leftrightarrow 0$$

Nótese que la fórmula:

$$p_1 \Leftrightarrow (\Gamma_1 \vee \Gamma_2) \wedge \Gamma_3 \vee (\neg \Gamma_4) \vee \Gamma_5$$

es equivalente a:

$$y_1 = (x_1 \oplus x_2) \bullet x_3 \oplus (\neg x_4) \oplus x_5$$

siendo, p_1 y $\Gamma_1 \dots \Gamma_5$ proposiciones asociadas con una máquina y con sensores, respectivamente. Además, \neg, \vee, \wedge y $|=$ son conectivos que relacionan proposiciones.

Por tanto, siempre que las máquinas y sensores del CBOR se representen por proposiciones; es decir, por ejemplo, “ p_1 : la máquina M_1 está activada y Γ_1 : el sensor S_1 está activado”, entonces el CBOR es un modelo global proposicional. Nótese que el solo hecho de que un sensor esté asociado con una casilla de la matriz tiempo – sentido, implica el siguiente sujeto y verbo: “el sensor está” y el símbolo “1/0” representa activado “1” y no activado “0”. Por tanto, una relación $(S_1, 1/0)$ representa la proposición: “El sensor S_1 está activado” o, en su caso, “el sensor S_1 está no activado”. Es decir; $1/0 \Leftrightarrow F/V$.

El dominio proposicional es, de hecho, el primer lenguaje abstracto con que se relacionan diversos eventos en términos de proposiciones. Es decir, es el lenguaje natural usado para representar los objetos y sus relaciones, en este caso, máquinas y sensores.

Por otro lado, el dominio operacional se usa, por decirlo así, como un lenguaje más abstracto. Se puede afirmar que el control proposicional se usa para programar las líneas de control en un software de alto nivel, en tanto el control operacional se utiliza para construir las líneas de control en un PLC. Así, una representación proposicional es:

$$M_1 \text{ IF ONLY IF } S_1$$

y su equivalencia en términos del dominio operacional es el siguiente:

$$y_1 = x_1$$

y, puesto que toda ecuación de estado se puede representar por un diagrama de contactos, entonces:

“ El sistema de control relacionado con un CBOR funcional tiene asociado un diagrama escalera construido con las líneas de control y sus relaciones operacionales. ”

Cabe señalar que los símbolos “0” y “1” (sin considerar los símbolos “+” y “-”) asociados con una columna de la matriz maquinaria – tiempo, representan estados de activación de la maquinaria. Así, las secuencias de columna:

- 1) 0, 1
- 2) 1, 0

representan los eventos activación / desactivación o recíprocamente de una máquina.

Por otro lado, los símbolos +1 y -1 denotan el espectro unitario de los ciclos operacionales de la maquinaria. Dichos símbolos se usan, en forma unitaria, puesto que el TpU es perfecto y representable por un número entero.

Las secuencias de columna:

1) +1, -1

2) -1, +1

denotan un seguimiento del recorrido de ida continuo o un paro instantáneo y el cambio en la dirección del movimiento de las máquinas o, más bien dicho de las herramientas. Además, el hecho de que exista una secuencia +1, 0, +1 y siempre que el símbolo “0” sea un tiempo de paro instantáneo no sensado o una línea de control, no implica que la máquina se detenga.

El CBOR funcional y su diagrama escalera asociado permiten representar y programar los modos o formas operacionales de la maquinaria en términos de las líneas de control y sus relaciones. Asimismo, por el hecho de que el TpU es perfecto y representable por un número entero, entonces:

“ Todo diagrama escalera asociado con un CBOR funcional está gobernado por el TpU. ”

Cabe señalar que, en la realidad el diagrama escalera es atemporal y el TpU no es perfecto lo que implica que las máquinas no sean perfectas. Por tanto, el CBOR funcional y su diagrama escalera asociado solo son esquemas referenciales basados en un volumen de producción perfecto con TpU perfecto y representable por un número entero y, por tanto, la maquinaria opera en términos “perfectos”.

Finalmente, el siguiente paso termina el proceso de interpretación del CBOR.

15) Una vez generado el CBOR funcional diseñar el diagrama escalera de control.

3.3.4 Ciclo de arranque y ciclo automático

Para que un sistema productivo opere en términos de su funcionalidad y sobre la base de un volumen de producción fijo, es necesario diseñar un sistema de control capaz de garantizar dos aspectos fundamentales [1,4]:

- 1) Que el recorrido de ida de al menos una pieza de trabajo sea satisfecho.
- 2) Que la diferencia temporal entre la primera pieza de trabajo y la segunda sea precisamente el tiempo de producción unitaria.

El diseño del sistema de control tiene como elementos primitivos las líneas de control del CBOR completo y sus relaciones. Estas últimas deben generarse o, dicho de otra manera, deben determinarse, en términos de:

“Para que el recorrido de ida de una pieza de trabajo sobre la línea de producción sea satisfecho, es necesario que al menos todo el sensado de ida se halla activado lo que implica que toda la maquinaria también se halla activado. En otras palabras, que las líneas de control hallan funcionado, es decir, que hallan cambiado de estado cuando menos una sola vez.”

A la secuencia de activaciones del ciclo de ida de la maquinaria se le llama “ciclo de arranque”.

Así, si una pieza de trabajo se localiza sobre la región de trabajo; es decir, sobre las rutas de trabajo de la última máquina de la línea de producción y esta máquina ha sido activada, entonces se dice que ha finalizado el ciclo de arranque global del sistema productivo. En otras palabras, en el preciso momento en que el antepenúltimo sensor de ida se halla activado y dicha activación implique que la última máquina se active, entonces ha finalizado el ciclo global de arranque

Por tanto, el inicio y término del ciclo global de arranque están gobernados por el primer sensor del sistema y el antepenúltimo, ambos sensores de ida, o en otras palabras por la primer línea de control de ida y antepenúltima del CBOR completo.

Sin embargo, el hecho de que dichas líneas se activen, implica que todas las líneas intermedias de ida han sido activadas. Por tanto,

“El ciclo de arranque global satisface los requerimientos de funcionalidad del sistema en cuando menos el primer proceso de manufactura de la primer pieza de trabajo”.

El ciclo de arranque se divide en:

- 1) Modular.
- 2) Global.

Así, el ciclo de arranque modular está asociado con el sistema de sensado de ida de un módulo en particular. Por tanto, si todas las máquinas finales de cada módulo que componen una línea de producción han sido activadas, entonces los ciclos modulares y el ciclo de arranque global han sido satisfechos.

Cabe hacer notar que, el hecho de que el ciclo de arranque global halla sido satisfecho, no implica que el sistema productivo opere en términos de TpU; es decir, que dicho sistema este globalmente sincronizado.

Observe, por otro lado, que para que el TpU sea satisfecho, es necesario que la diferencia temporal entre la primera pieza de trabajo y la segunda sea precisamente el TpU. Sin embargo, dicha diferencia debe trasladarse de la primer pieza a los subproductos. Por tanto, si la diferencia temporal entre la primer pieza y la subparte antecesora; es decir, el subproducto

que requiere de la última operación de manufactura u operaciones de manufactura si se trata de un módulo compuesto por más de una máquina de operación principal, es el TpU, implicará que la diferencia entre la primera y segunda pieza terminada sea el TpU y, por tanto, el sistema está sincronizado globalmente.

Las líneas de control que señalizan, en términos del TpU y, por tanto, en términos de los tiempos de proceso, las localizaciones de la primer pieza de trabajo y las subpartes antecesoras, son llamadas líneas de control para “ciclo automático”.

El ciclo automático es, por tanto, una secuencia de activaciones de los sensores sobre las líneas de control que inicializan y finalizan las operaciones de los módulos que componen una línea de producción serial. De tal forma que, tenga como objetivo principal garantizar la funcionalidad del sistema de manufactura en términos de TpU.

El ciclo automático se divide en:

- 1) Ciclo modular.
- 2) Ciclo Global.

Un módulo de producción es gobernado por el ciclo automático si la activación del primer sensor de ida del módulo sucesor condiciona el segundo, tercero, cuarto, etc. ciclo de arranque del módulo antecesor. Dicha condición es, por tanto, lo que garantiza la sincronización local y global del sistema productivo.

Nótese que el hecho de que la primera pieza de trabajo se localice sobre un lugar asociado con la finalización de la ruta de ida de la última máquina de tal forma que el último sensor de ida se active, implica:

- 1) Si el último sensor de ida condiciona el arranque de todos los módulos antecesores al supermódulo, es decir, el final, entonces se dice que el sistema productivo es gobernado por el ciclo automático global y por consiguiente, todos los sensores de ida

relacionados con el condicionamiento son, al mismo tiempo, sensores de sincronización local y global.

- 2) Si el último sensor de ida se activó, implica que el penúltimo sensor de ida también se activó lo que a su vez implica que el ciclo de arranque global ha sido satisfecho.

Por tanto,

“El diseño funcional de un sistema de control que sea capaz de sincronizar local y globalmente a T_{pU} una línea de producción serial depende de los ciclos de arranque y automático globales.”

Para finalizar esta sección, es necesario hacer notar que el sistema de control completo debe integrar los requerimientos de control de cliente.

CAPÍTULO 4

SINCRONIZACIÓN LOCAL DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE “ACOSA” COMPUESTA POR TRES MÓDULOS

Introducción. En este capítulo se sincronizan tres módulos de producción de la empresa ACOSA. Dichos módulos son: 1) acercamiento y 2) soldadura y 3) quemado [17]. Se utiliza el método del vórtice [1] para lograr la sincronización de los módulos estudiados en esta tesis. Los datos conocidos son: 1) la distribución de maquinaria, 2) el sistema de sensado de ida, 3) los lugares geométricos de los ciclos operacionales de la maquinaria, 4) los tiempos fijos y el 6) T_{pU} . Los resultados obtenidos son usados en el capítulo 5 de esta tesis para sincronizar globalmente el sistema productivo estudiado.

4.1 Definición del problema y restricciones

En esta sección se define el problema por solucionar en este trabajo de tesis, así como sus restricciones fundamentales. El problema se formula de la manera siguiente:

“Dados; D_p , M^o , T_F , T_{pU} , S_{IDA} y L_T , encuentre:

$$SL = SL (M^o, T_F, T_{pU}, S_{IDA}, L_T)$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

tal que:

$$1) R_1 = \hat{R}_1$$

$$2) R_2 = \hat{R}_2$$

$$3) R_4 = \hat{R}_4$$

$$4) R_5 = \hat{R}_5$$

$$5) R_6 = \hat{R}_6$$

sean satisfechas. ”

Para lograr la solución del problema formulado anteriormente se requiere plantear una hipótesis. Dicha hipótesis es la siguiente [1,17]:

“En toda línea de producción serial compuesta por F – módulos existe un conjunto de tiempos de proceso distribuidos sobre las rutas de trabajo de la maquinaria. La distribución de los tiempos de proceso y la sincronización de operaciones en cada máquina o en un conjunto de máquinas (módulo) dependen del tiempo de producción unitaria y del sistema de sentido de ida”.

Los axiomas de donde se partirá la investigación son los siguientes:

- 1) El TpU es perfecto y representable por un número entero.
- 2) El proceso de sincronización local satisface:

$$TpU = \sum_{i=1}^K T_{IDAi}$$

Aquí, K es el número de máquinas que integran un módulo de producción y T_{IDA} es el tiempo de ida de cada máquina.

4.2 Descripción de los datos conocidos

El sistema productivo que será estudiado en esta tesis, pertenece a la empresa ACOSA. La distribución de planta (D_p) relacionada con el sistema productivo se muestra en la figura 4.1.

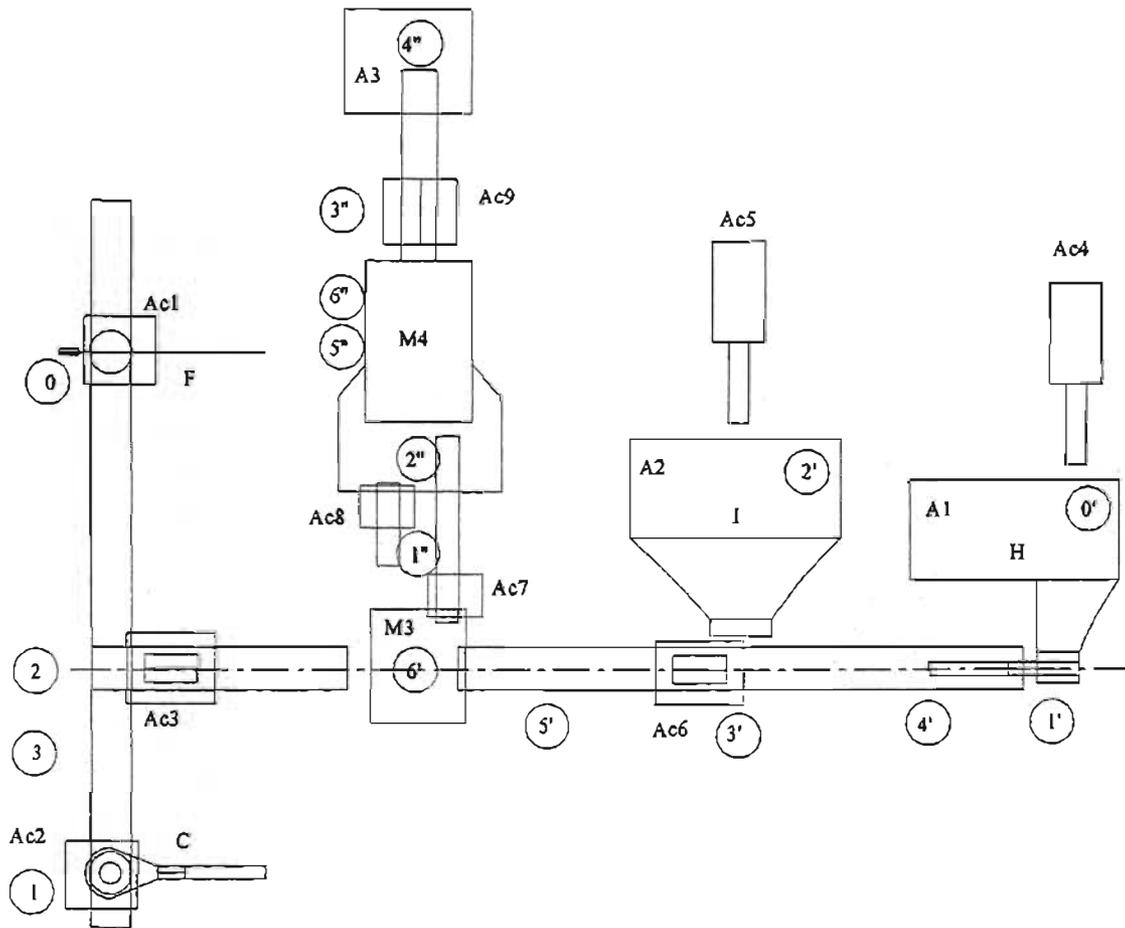


Figura 4.1 distribución de planta

En la tabla 4.1 se describe cada uno de los elementos y dispositivos de trabajo que componen la distribución de planta mostrada en la figura 4.1 [17]:

Nomenclatura	Descripción
Ac ₁	Actuador de sujeción y transporte
Ac ₂	Actuador de sujeción y transporte
Ac ₃	Actuador de sujeción y transporte
Ac ₄	Actuador transportador
Ac ₅	Actuador transportador
Ac ₆	Actuador de sujeción y transporte
M ₃	Máquina soldadora
Ac ₇	Actuador de sujeción y transporte
Ac ₈	Actuador transportador
M ₄	Máquina quemadora con banda transportadora
Ac ₉	Actuador de transporte

Tabla 4.1 Descripción de los elementos de trabajo

Para poder realizar el proceso de sincronización local de cualquier sistema productivo, es necesario realizar una crónica de procesos y operaciones. Para el caso del sistema productivo motivo de estudio en esta tesis, dicha crónica es la siguiente:

Crónica:

“La pieza C se alimenta del nodo 1 por el actuador Ac₂ de una parte anterior a este proceso, al igual que la pieza F del actuador Ac₂ de el nodo 0, ambas llegan al nodo 2 y son sujetas por el actuador Ac. Dicho actuador las lleva al nodo 6’ para ser unidos por la soldadura de resistencia M₃ junto con el circuito H. La terminal es alimentada por el actuador Ac₄ almacenado en A₁ que primero lo coloca en el nodo 1’, y luego el actuador Ac₅ alimenta la camisa de encoge I y la coloca en el nodo 3’. El actuador Ac₆ que esta ya en la posición 3’, toma la camisa y la presenta en el circuito H en el nodo 4’ la alimenta hasta la terminal en el mismo circuito en el nodo 1’ y se lleva todo el circuito con la camisa hasta el nodo 5’ donde espera un tiempo determinando en el nodo 6 y luego la coloca en la máquina soldadora M₃ en el nodo 6’. Una vez soldados, los 3 circuitos (J) son llevados por el actuador Ac₇ hasta el nodo 1” donde espera a que el actuador Ac₈ tome la camisa del circuito y la centre en la

unión soldada en el nodo 1". Una vez hecho esto el actuador A_{c7} sigue su trayectoria del nodo 1" al nodo 2" depositando el circuito J en la máquina $M4$ que es un horno por temperatura alimentado por una banda B_1 que encoge la camisa I entre los nodos 5" y 6" sobre la unión soldada haciendo el aislamiento eléctrico correspondiente. Una vez hecho esto (J') la banda del horno lleva el circuito completo hasta el nodo 3" y lo coloca en un depósito, donde a través del actuador A_{c9} es llevado J' (PT) hasta el almacén A_3 en el nodo 4".

Las piezas descritas en la crónica anterior se muestran en la figura 1.1 del capítulo 1. Una vez descrita la crónica de procesos, es necesario, para proceder a sincronizar los módulos de producción. La modularización (M^0) asociada con el sistema motivo de estudio se muestra en la figura 4.2.

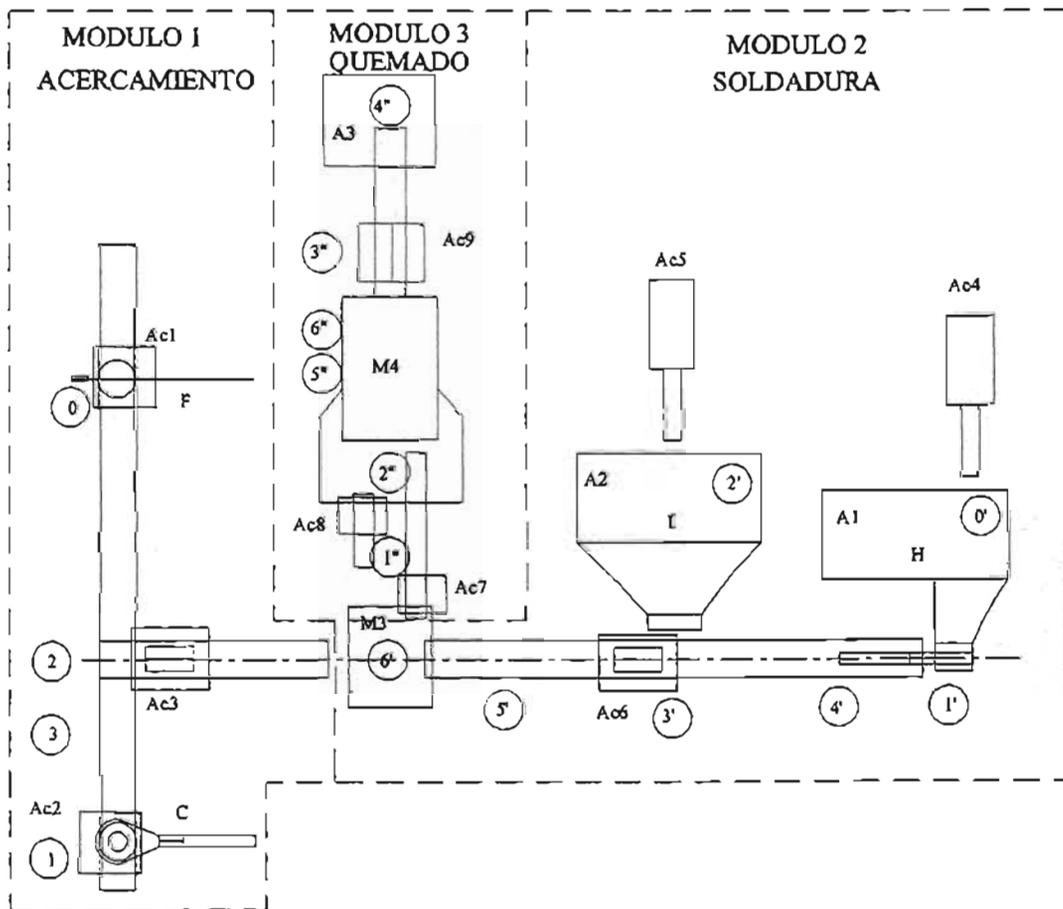


Figura 4.2 Módulos del sistema productivo

Nótese en la figura 4.2 que, el módulo de acercamiento está integrado por 3 máquinas, el de soldadura por 4 y el de quemado por 5. La figura 4.3 muestra la distribución del sensado de ida relacionado con el sistema productivo de ACOSA:

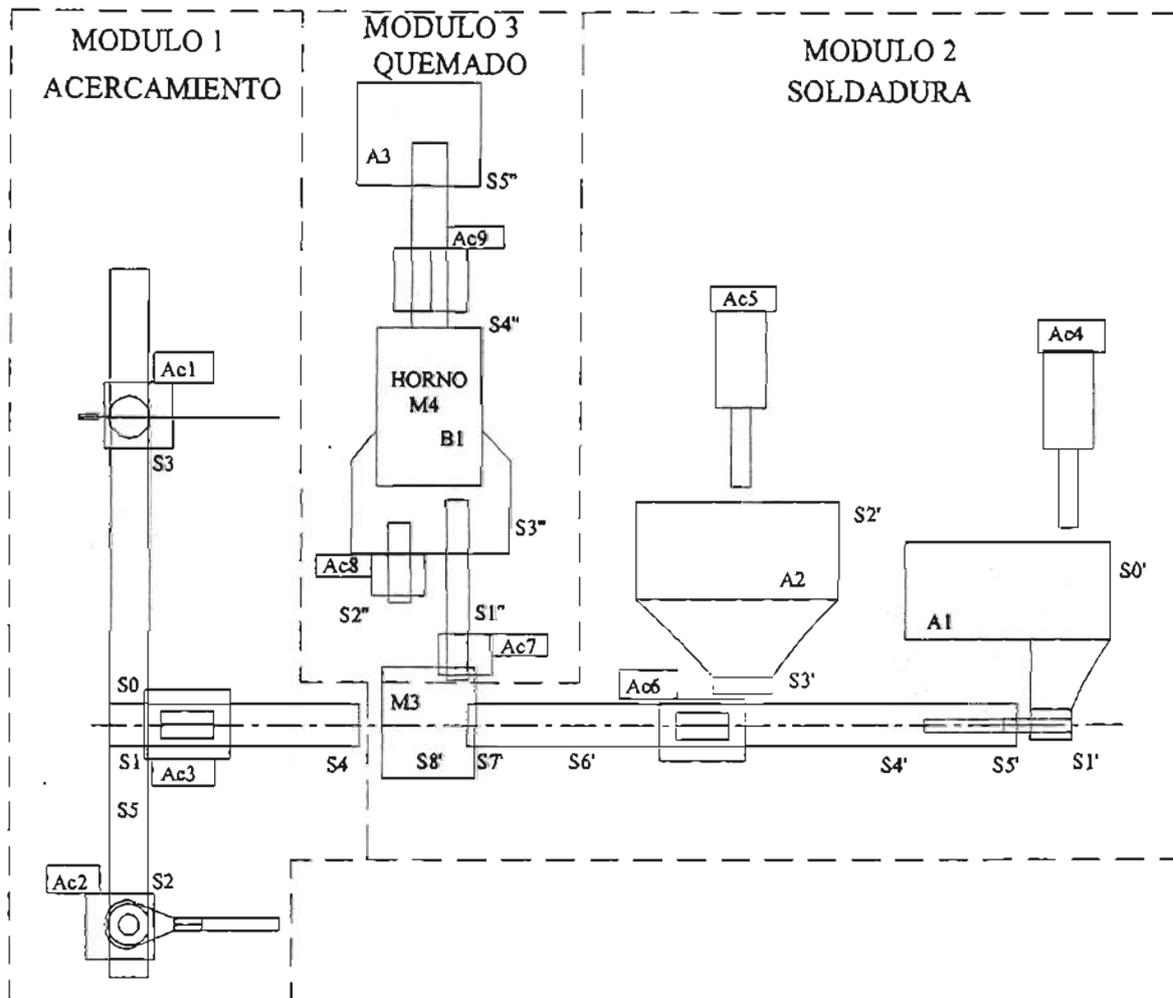


Figura 4.3 Distribución del sensado de ida

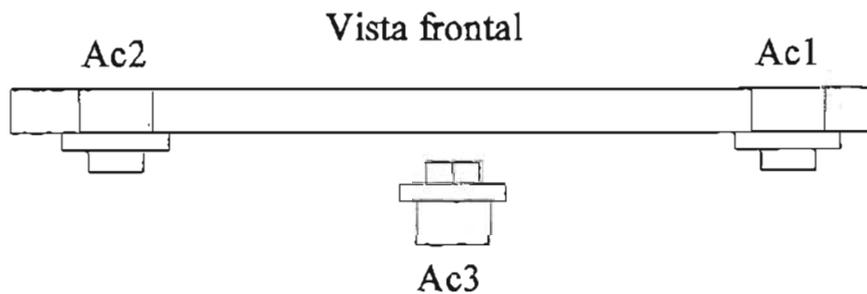
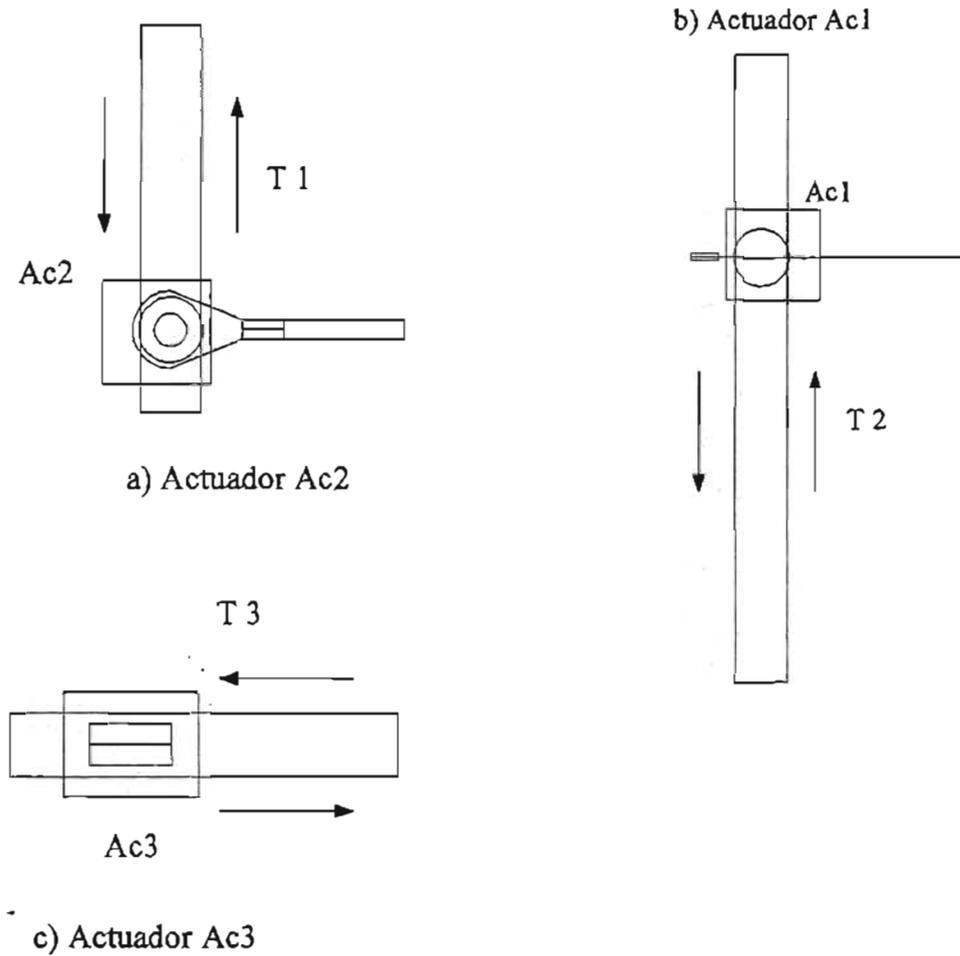
En la tabla 4.2 se describen los tipos de sensores de ida y sus relaciones de activación relacionadas con la maquinaria.

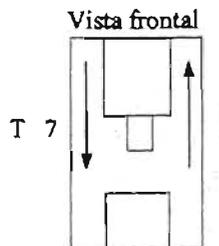
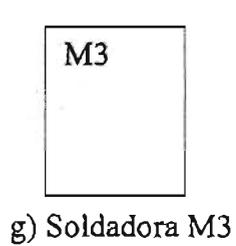
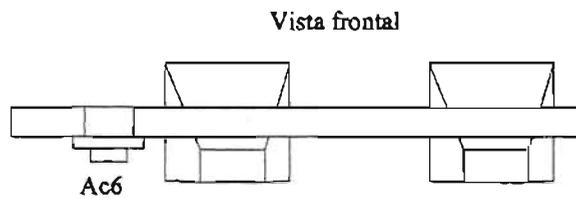
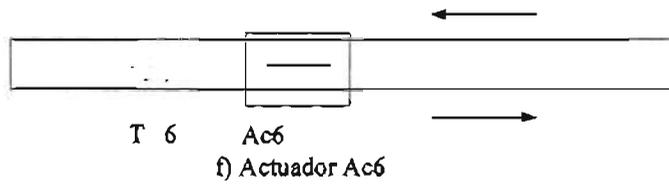
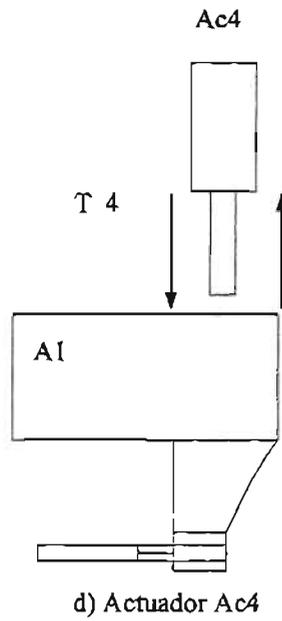
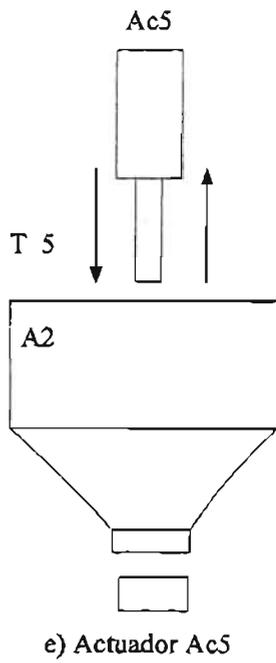
Nomenclatura	Máquina de relación	Descripción
S ₀	Ac ₁ , Ac ₃	S ₀ detecta el cable en el nodo 2
S ₁	Ac ₂ , Ac ₃	S ₁ detecta la terminal en el nodo 2
S ₂	Ac ₂	S ₂ detecta el cable en el nodo 1
S ₃	Ac ₁	S ₂ detecta el cable en el nodo 0
S ₀ y S ₁	Ac ₃	S ₀ y S ₁ activan a Ac ₃
S ₄	Ac ₃	S ₄ frena a Ac ₃
S ₅	Ac ₂	S ₅ frena a Ac ₃ en el nodo 3
S _{0'}	Ac ₄	S _{0'} detecta la terminal en A1
S _{1'}	Ac ₄ , Ac ₅	S _{1'} detecta la terminal en el nodo 1'
S _{2'}	Ac ₅	S _{2'} detecta la camisa en A2
S _{3'}	Ac ₆	S _{3'} detecta la camisa en el nodo 3'
S _{4'}	Ac ₆	S _{4'} detecta la camisa en el nodo 4'
S _{5'}	Ac ₆	S _{5'} detecta la camisa en el nodo 1'
S _{6'}	Ac ₆	S _{6'} detecta a Ac ₆ en el nodo 5'
S _{7'}	Ac ₆	S _{7'} detecta la camisa en el nodo 6'
S _{8'}	M ₃ , Ac ₇	S _{8'} detecta el fin de ciclo de soldadura y activa Ac ₇
S _{1''}	Ac ₇ , Ac ₈	S _{1''} detecta el cable en el nodo 1'' Ac ₇
S _{2''}	Ac ₈ , Ac ₇	S _{2''} detecta la camisa en 1'' de Ac ₈
S _{3''}	Ac ₇	S _{3''} detecta el cable con camisa en 2''
S _{4''}	Ac ₉	S _{4''} detecta el cable con camisa quemada en el nodo 3''
S _{5''}	Ac ₉	S _{4''} detecta el cable con camisa quemada en el nodo 4''

S_i : sensor principal; S_c : sensor de completud.

Tabla 4.2 Descripción del sensado de ida

Cabe señalar que, el tiempo fijo asociado con la operación de soldadura (T_{Fmax}) es de 2s y el tiempo fijo de quemado de 10s. Dichos tiempos están integrados a T_F . Asimismo, el $T_{pU} = 48s/pza$. La figura 4.4 muestra los lugares geométricos (T_r) asociados con cada una de las máquinas que componen el sistema productivo motivo de estudio en este trabajo de tesis.





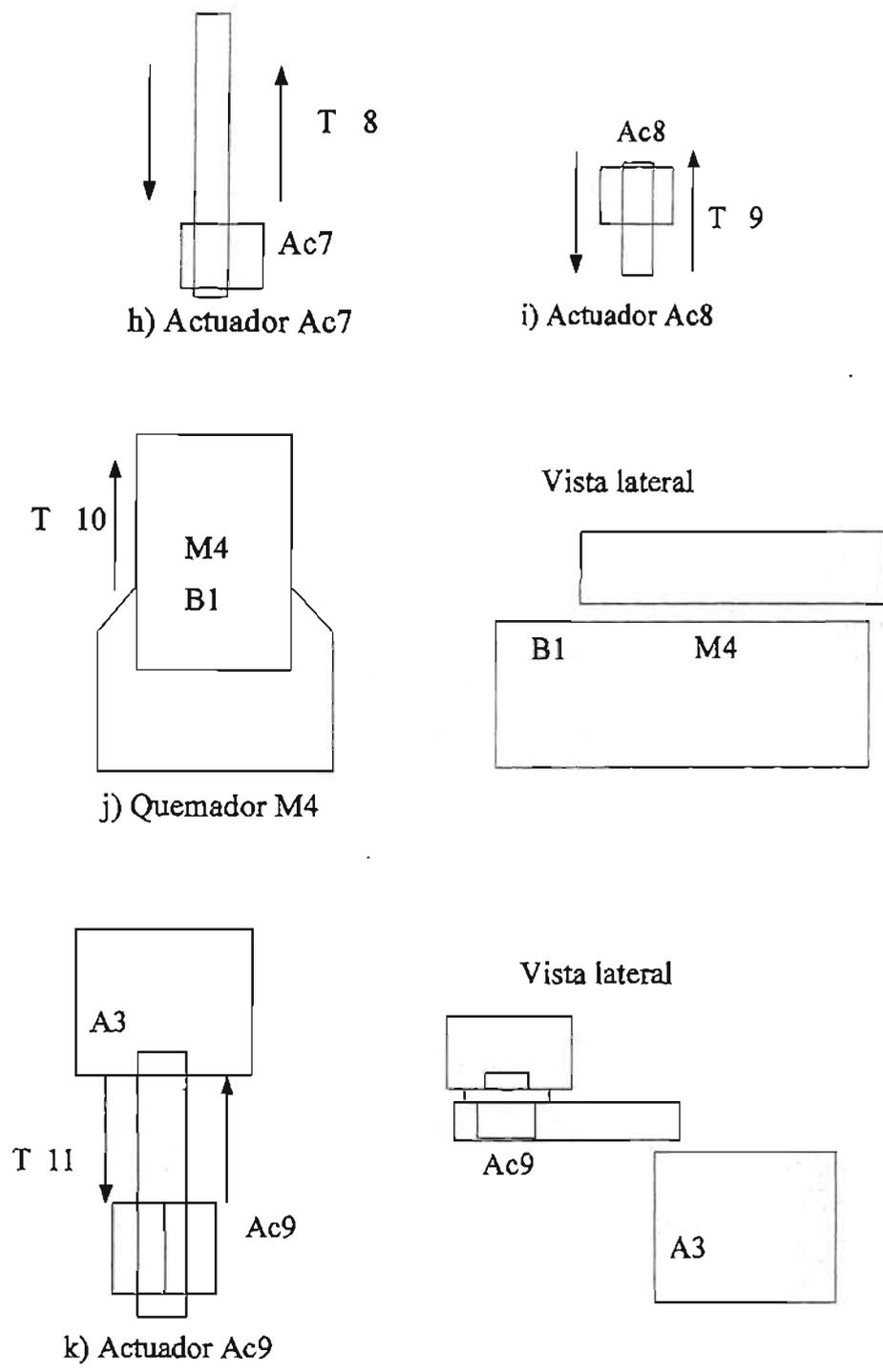


Figura 4.4 Lugares geométricos de los ciclos operacionales de las máquinas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.3 Sincronización del módulo 1 de acercamiento

En esta sección se sincroniza el módulo de acercamiento mostrado en la figura 4.3. Para lograr tal propósito, se hará uso del método del vórtice [1] descrito en el capítulo 2 de esta tesis. De acuerdo con la figura 4.3, el módulo de acercamiento está integrado por: 1) el actuador A_{C1} , 2) el actuador A_{C2} , y 3) el actuador A_{C3} . La colocación de la maquinaria en términos del recorrido y sentido de ida se muestra en la figura 4.5:



Figura 4.5 La maquinaria del módulo de acercamiento colocada en términos del recorrido y sentido de ida

La máquina de máxima jerarquía o también llamada referencial (MR) es A_{C2} . Por otro lado, como las 3 máquinas son actuadores de recorrido puro y los actuadores A_{C1} y A_{C2} pueden moverse independientemente, entonces se seleccionó uno de estos dos para poder tener una máquina sucesora. La figura 4.6 muestra el vórtice de sincronización local relacionado con la maquinaria del módulo de acercamiento:

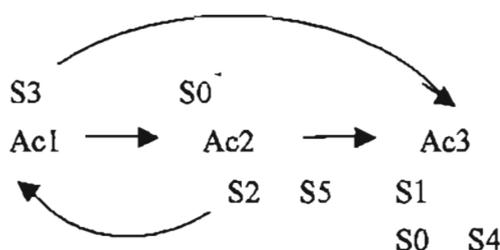


Figura 4.6 Vórtice de sincronización sucesor del módulo de acercamiento y sistema de sentido

Ahora es necesario generar los grupos de máquinas para poder realizar la sincronización. Para poder determinar el número de grupos de sincronización se usa la relación $N_{GS} = k - 1$. Puesto que $k = 3$, entonces $N_{GS} = 2$. Tales grupos son:

- 1) $G_1 = \{A_{C1}, A_{C2}\} S_A$
- 2) $G_2 = \{G1, A_{C3}\} S_B = (A_{C1}, A_{C2}, A_{C2}) S_B$

Nótese que, cada grupo está controlado por el sistema de sensado S_A, S_B ; es decir:

- i) $S_A = \{S_3, S_0, S_2, S_5, S_1\}$
- ii) $S_B = \{S_A, S_0, S_1, S_4\}$

Para poder distribuir los tiempos de proceso sobre los lugares geométricos o rutas de trabajo, se utilizarán los pasos descritos en la sección 2.3 del capítulo 2; esto es:

- 1) El $T_{pU} = 48s/pieza$, $T_F(A_{C2}) = 0s$ y $T_{DIS} = 48s$
- 2) La distribución de los tiempos de proceso sobre las rutas de trabajo de la máquina referencial A_{C2} se muestra en la figura 4.7:

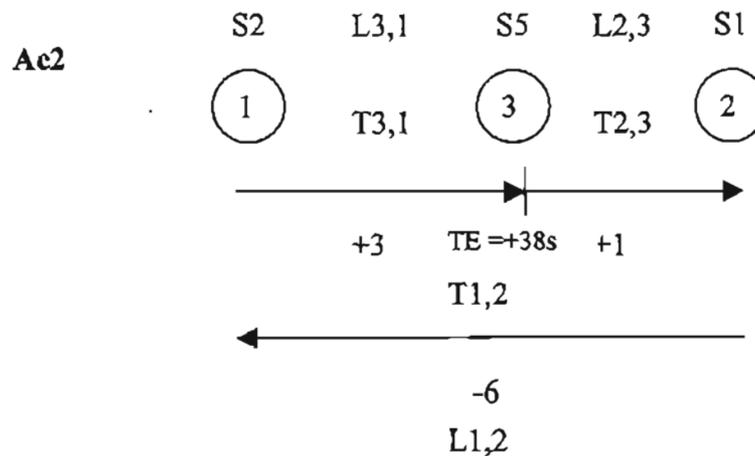


Figura 4.7 Distribución de tiempos sobre las rutas de la máquina referencial

Note en la figura anterior que:

- a) $T_{3,1} + T_{2,3} = T_{IDA}(A_{C2})$
- b) $T_{1,2} = T_{VUELTA}(A_{C2})$
- c) $T_{3,1}$ es un tiempo de acercamiento al punto de espera

- d) $T_{2,3}$ es un tiempo de entrega.
- e) $T_{1,2}$ es un tiempo de retiro.
- f) El recorrido de ida junto con los tiempos de ida está controlado por los sensores S_2 (primario), S_5 (primario) y S_1 (primario)
- g) h) $T_{DIS} = T_{3,1} + T_{2,3} + T_{1,2}$

3) Se considera que los rangos permisibles de las máquinas ($R_A(M)$) se satisfacen; es decir:

$$R_A(M) = \hat{R}_A(M)$$

4) Otra distribución de tiempos sobre las rutas de la máquina referencial se muestra en la figura 4.8.

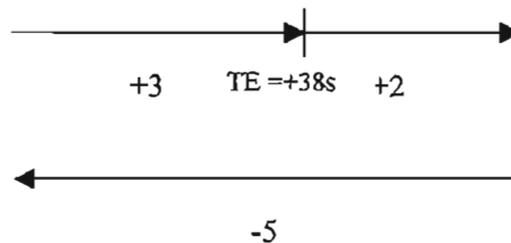


Figura 4.8 Otra distribución de tiempos

Cabe señalar que toda distribución de tiempos debe satisfacer:

- 1) $T_{DIS} = T_{DIS}' = T_{DIS}'' \dots T_{DIS}^L$
- 2) $R_A(M) = R_A'(M) = R_A''(M) \dots R_A^L$

Aquí, L es el número de distribuciones. Por otro lado, es claro que una distribución T_{DIS} funcional es aquella donde el tiempo de vuelta secundario sea el máximo posible. Además, es conveniente aclarar que la posición del sensor S_5 no es fija; es decir, se puede recorrer sobre la ruta $L_{3,1}$ o $L_{2,3}$. Sin embargo, las activaciones de los sensores S_2 y S_5 deben gobernar el T_{IDA} (A_{C2}), cualesquiera que sea la distribución de T_{DIS} .

- 5) La distribución de tiempos sobre las rutas de A_{C2} es la asociada con el paso 2 y es controlada por S_2 , S_5 y S_1 .
- 6) La máquina A_{C2} ha sido sincronizada individualmente a T_{pU} . Además,

6.1) Si $T_{CICLO}(A_{C2}) < T_{pU}$, entonces A_{C2} opera a ciclo intermitente.

6.2) Si $T_{CICLO}(A_{C2}) = T_{pU}$, entonces A_{C2} opera a ciclo continuo.

Aquí, $T_{CICLO}(A_{C2})$ es el tiempo de ciclo del actuador A_{C2} . Se tomará en cuenta $T_{CICLO}(A_{C2}) = T_{pU}$ pero con un tiempo de espera en el T_{IDA} y, por tanto, A_{C2} permanecerá en la posición entre los nodos 1 y 2 antes de colocarse en el actuador A_{C3} (antes de terminar el ciclo completo) $T_E = 38s$ siendo T_E un tiempo de espera tal que:

$$T_{pU} = T_{IDA}(A_{C2}) + T_{1,2} + T_{ESP}$$

7) El grupo 1 es:

$$G_1 = \{A_{C1}, A_{C2}\} S_A$$

La figura 4.9 muestra la distribución de tiempos sobre las rutas de trabajo de las máquinas del grupo 1.

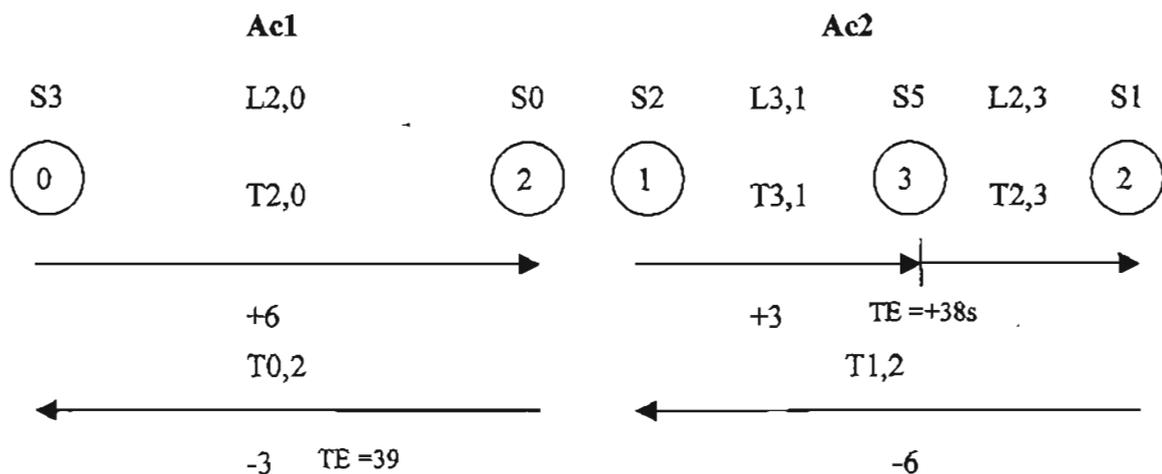


Figura 4.9 Distribución de tiempos sobre las rutas del grupo 1

Note en la figura 4.9 que:

- 1) $T_{IDA}(A_{C1}) = T_{VUELTA}(A_{C2}) = T_{1,2} = T_{2,0} = 6s$
- 2) $T_{pU} = T_{IDA}(A_{C2}) + T_{IDA}(A_{C1})$.
- 3) $T_{2,0}$ es el tiempo de ida de A_{C1}
- 4) $T_{0,2}$ es el tiempo de vuelta de A_{C1} .
- 5) $T_{0,2} = -3$, con $TE = 39s$; es decir, $T_{0,2} \leq T_{pU} - T_{2,0} - TE$

De acuerdo con el desarrollo anterior, el grupo 1 ha sido sincronizado a T_{pU} y el sentido de control es S_A .

8) El grupo 2 está compuesto por:

$$G_2 = \{ G1, A_{C3} \} S_B = (A_{C1}, A_{C2}, A_{C2}) S_B$$

La figura 4.10 muestra la distribución de tiempos sobre las rutas de trabajo de las máquinas del grupo 2:

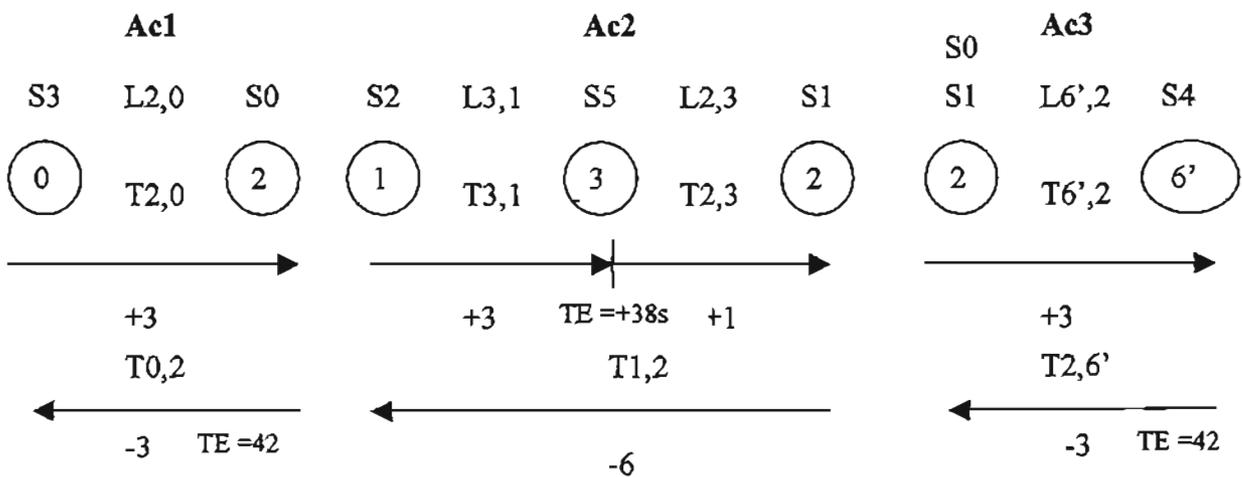


Figura 4.10 Distribución de tiempos sobre las rutas del grupo 2

Note en la figura 4.10 anterior que:

$$1) T_{pU} = T_{2,0} + T_{IDA}(A_{C2}) + T_{6',2}$$

o, equivalentemente:

$$T_{pU} = T_{IDA}(A_{C1}) + T_{IDA}(A_{C2}) + T_{IDA}(A_{C3})$$

$$2) T_{IDA}(A_{C1}) + T_{IDA}(A_{C3}) = 6s$$

3) Las proporciones de $T_{VUELTA}(A_{C2})$ usadas para los tiempos de ida de la sucesora (A_{C3}) y antecesora (A_{C1}) fueron:

$$P_1 = 3s \text{ para } T_{IDA}(A_{C1}) ; P_2 = 3s \text{ para } T_{IDA}(A_{C3})$$

$$4) T_{0,2}' = -3, \text{ con } TE = 42 ; \text{ pues } T_{0,2}' \leq T_{pU} - T_{2,0}$$

$$5) T_{2,6'}' = -3, \text{ con } TE = 42 ; \text{ ya que } T_{2,6'}' \leq T_{pU} - T_{6',2}$$

Cabe señalar que el símbolo “/” se usa para indicar los tiempos redistribuidos. Por otro lado, la terna mínima sincronizable es (A_{C1}, A_{C2}, A_{C3}) la cual es sensada por S_B .

4.4 Sincronización local del módulo de soldadura

En esta sección se sincroniza el módulo de soldadura descrito en la sección 4.2. Dicho módulo está compuesto por las máquinas: 1) A_{C4} , 2) A_{C5} , 3) A_{C6} y 4) M_3 . La figura 4.11 muestra la colocación de la maquinaria de acuerdo con el recorrido y sentido de ida.

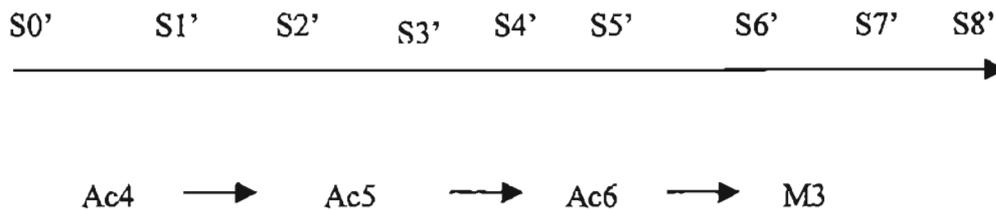


Figura 4.11 La maquinaria del módulo de soldadura colocada en el recorrido de ida

La máquina de máxima jerarquía o referencial es, A_{C1} . La figura 4.12 muestra el vórtice de sincronización relacionado con las máquinas del módulo de soldadura:

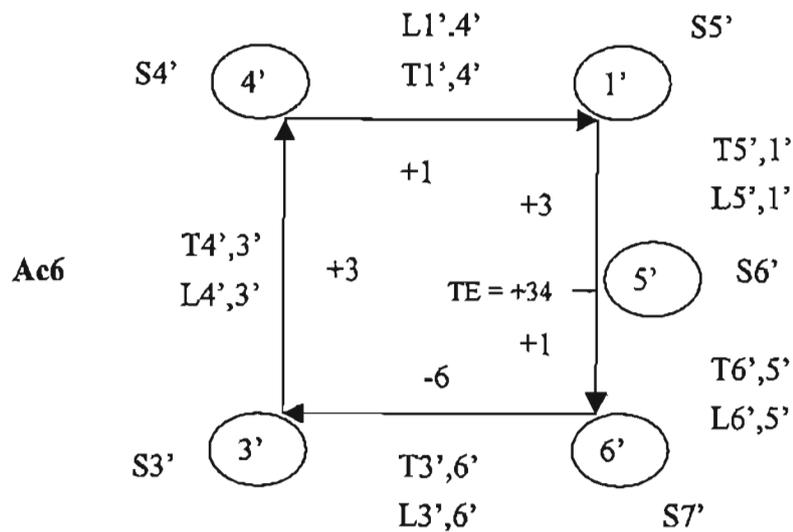


Figura 4.13 Rutas de trabajo y distribución de tiempos en la máquina referencial del módulo de soldadura.

La tabla 4.3 describe los valores de las variables mostradas en la figura anterior:

Rutas		Tiempos		Descripción
Ida	Vuelta	Ida	Vuelta	
L _{4',3'}	–	T _{4',3'} = 3	–	Recoger camisa de encoge
L _{1',4'}	–	T _{1',4'} = 1	–	Colocar camisa en cable
L _{5',1'}	–	T _{5',1'} = 3	–	Levar cable a punto de espera
L _{6',5'}	L _{5',6'}	T _{6',5'} = 1	T _{5',6'}	Colocar cable en máquina de soldar

Tabla 4.3 Descripción de los tiempos y rutas de la máquina referencial A_{C6}

Nótese en la figura 4.13 que, el recorrido de ida está sensado por S_{3'}, S_{4'}, S_{5'}, S_{6'}, S_{7'} (sensores principales). Además,

$$T_{DIS} = T_{3',6'} = 6s \text{ si y solo si } T_{ESP} = 34s$$

3) Se considerará en esta tesis que:

$$R_A(M) = \hat{R}_A(M)$$

- 4) Otra distribución de tiempos relacionado con la máquina referencial A_{C1} se muestra en la figura 4.14.

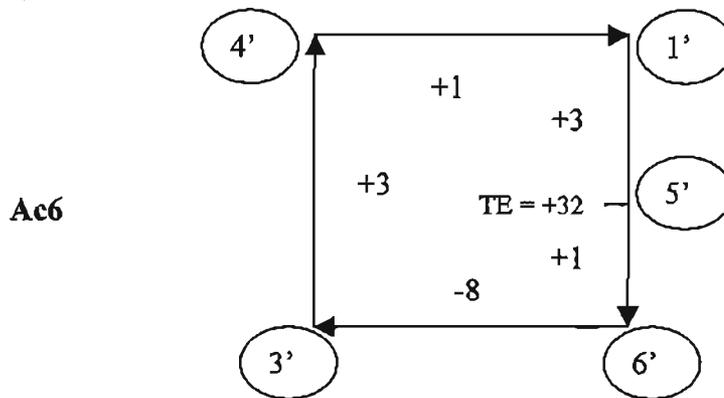


Figura 4.14 Otra distribución de tiempos sobre las rutas de A_{C1}

- 5) La distribución de tiempos que será considerada en este trabajo es la relacionada con el paso 2 y es controlada por S_3, S_4, S_5, S_6, S_7 .

- 6) La máquina A_{C6} ha sido sincronizada individualmente a T_{pU} y:

- 6.1) Si $T_{CICLO}(A_{C6}) < T_{pU}$, entonces A_{C6} opera a ciclo intermitente.
 6.2) Si $T_{CICLO}(A_{C6}) = T_{pU}$, entonces A_{C6} opera a ciclo continuo.

Aquí, $T_{CICLO}(A_{C6})$ es el tiempo de ciclo del actuador A_{C6} . Se tomará en cuenta $T_{CICLO}(A_{C6}) = T_{pU}$ pero con un tiempo de espera en el T_{IDA} y, por tanto, A_{C6} permanecerá en la posición del nodo 5' antes de colocarse en la máquina de soldar (antes de terminar el ciclo completo) $T_E = 34s$ siendo T_E un tiempo de espera tal que:

$$T_{pU} = T_{IDA}(A_{C6}) + T_{3',0'} + T_{ESP}$$

- 7) El grupo G_1' está formado por las siguiente máquinas:

$$G_1' = \{R_1, A_{C1}\}_{SA}$$

La figura 4.15 muestra la distribución de tiempos de proceso sobre las rutas de trabajo de las máquinas del grupo 1:

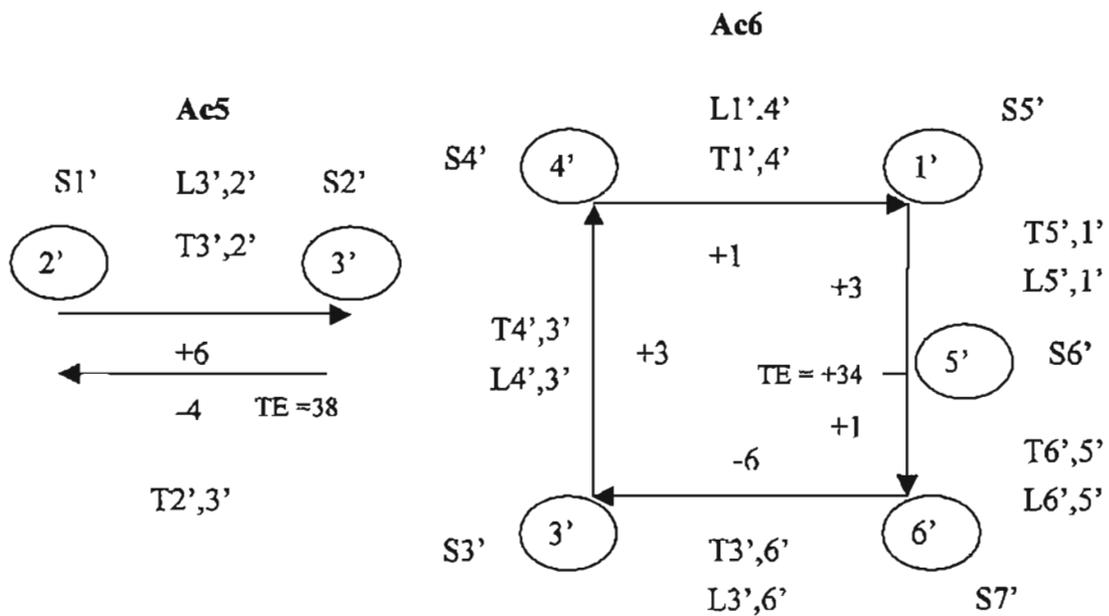


Figura 4.15 Distribución de tiempos en las rutas de trabajo de las máquinas del grupo 1

Según la figura 4.15, se tiene que:

- 1) $T_{3',2'}$ es el tiempo de ida del Ac5.
- 2) $T_{2',3'}$ es el tiempo de vuelta del Ac5..
- 3) $T_{pU} = T_{IDA}(Ac6) + T_{3',2'}$
- 4) $T_{2',3'} \leq T_{pU} - T_{3',2'}$

8) El grupo G_2' del módulo de soldadura está integrado por las máquinas siguientes:

$$G_2' = \{G_1', M_3\} = \{Ac_5, Ac_6, M_3\}_{SB'}$$

La figura 4.16 muestra la distribución de tiempos sobre las rutas de trabajo de las máquinas del grupo G_2' .

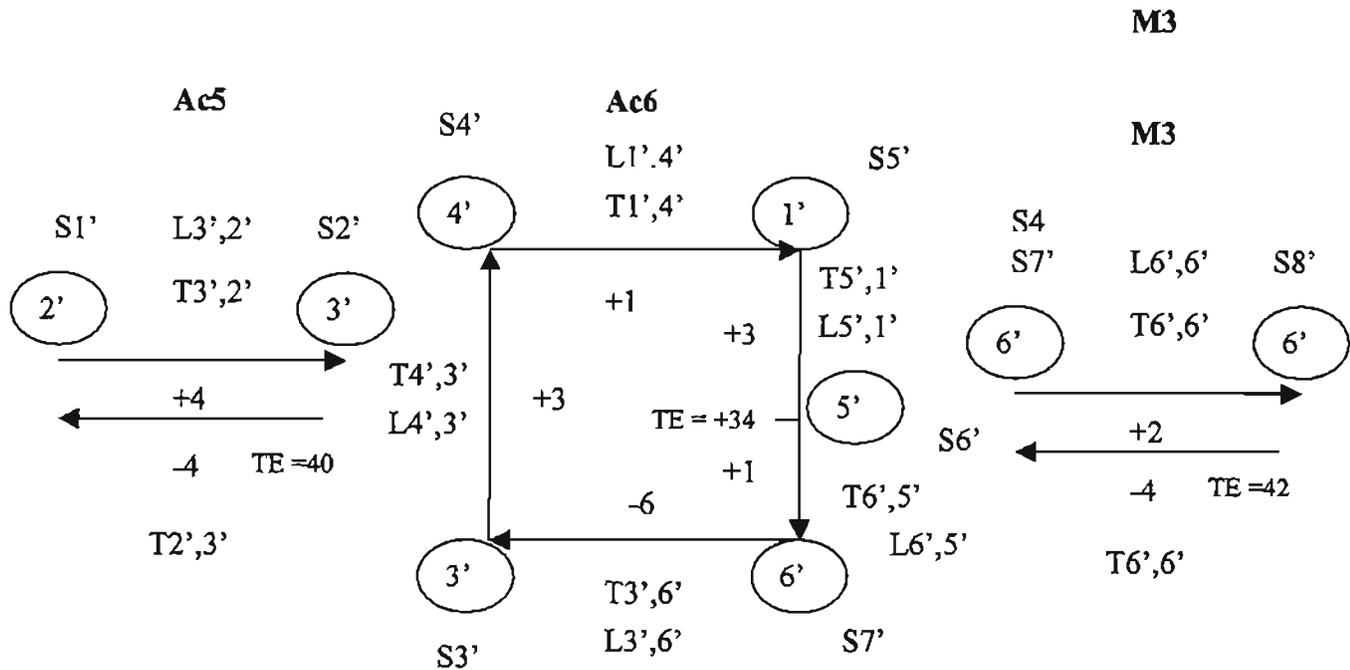


Figura 4.16 Distribución de los tiempos de proceso sobre las rutas de trabajo del grupo G_2'

Note en la figura 4.16 que:

- 1) $T_{6',6'}$ es el tiempo de ida de M_3 .
- 2) $T_{6',6'}$ es el tiempo de vuelta de M_3 .
- 3) $T_{pU} = T_{IDA}'(AC_5) + T_{IDA}(AC_6) + T_{IDA}(T_{FUO})(M_3)$
- 4) Como $T_{IDA}(T_{FUO})(M_3) = 2s$ es fijo, el nuevo tiempo de $T_{IDA}'(AC_5) = T_{VUELTA}(R_6) - 2s$.
- 5) Ahora $T_{2',3'} \leq 44$
- 6) y $T_{6',6'} \leq 44$

Las particiones del tiempo de vuelta de AC_6 fueron: $P_1 = 4s$ para $T_{IDA}'(AC_5)$; $P_2 = 2s$ para $T_{IDA}(M_3)$.

9) El grupo G_3' ; es decir, el final, está formado por las siguientes máquinas:

$$G_3' = \{ G_2', AC_4 \} = \{ G_1', M_3, AC_4 \} = \{ AC_4, AC_5, AC_6, M_3 \} sc'$$

La figura 4.17 muestra la distribución de tiempos de procesos sobre las rutas de las máquinas del grupo G_3' :

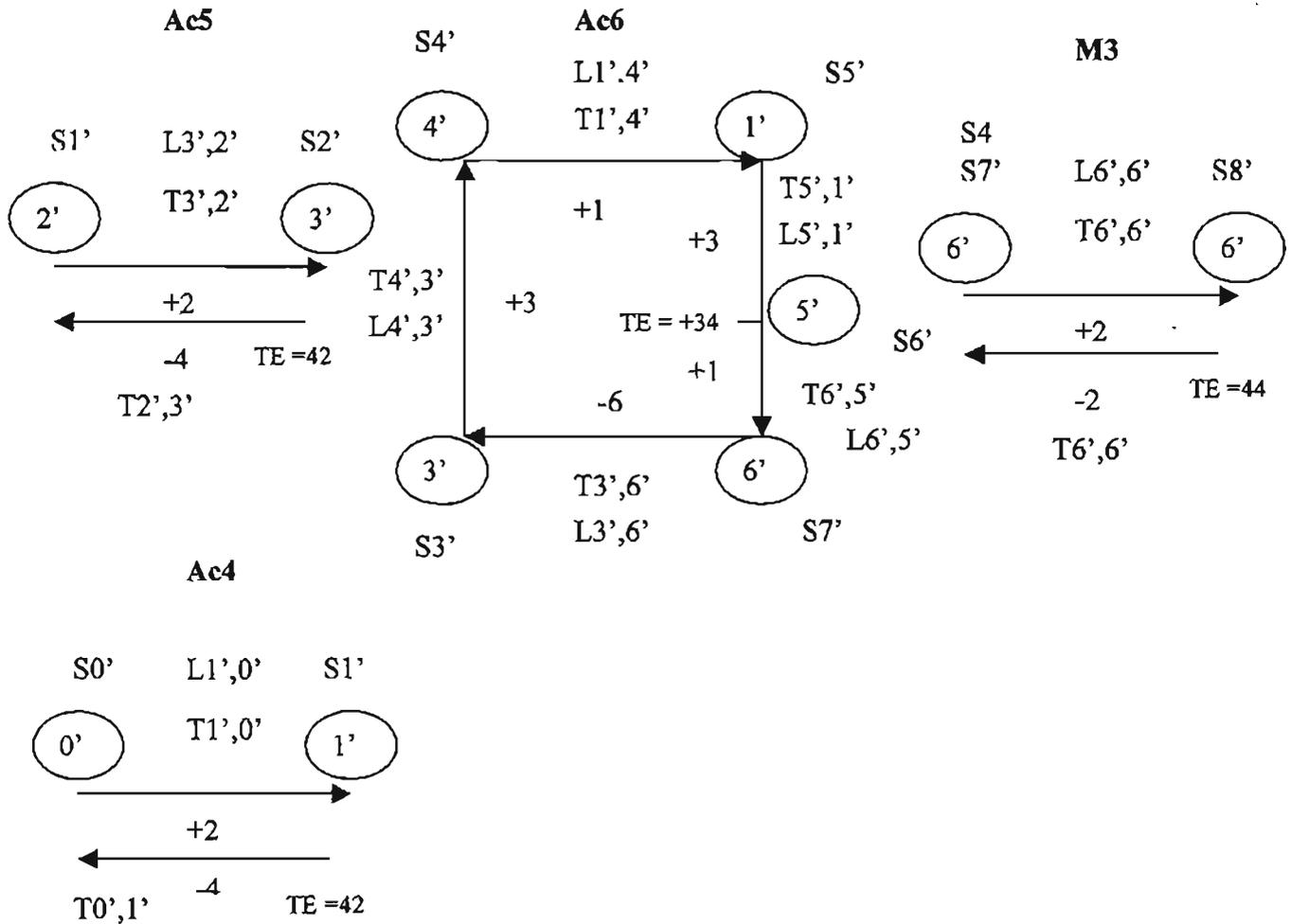


Figura 4.17 Distribución de tiempos de proceso sobre las rutas del grupo G_3'

De acuerdo con la figura anterior, se tiene que:

- 1) $T_{1',0'}$ es el tiempo de ida del actuador Ac_4 .
- 2) $T_{pU} = T_{IDA'}(Ac_4) + T_{IDA'}(Ac_5) + T_{IDA}(Ac_6) + T_{IDA}(M_3)$
- 4) $T_{IDA}(Ac_4) + T_{IDA'}(Ac_5) = T_{VUELTA}(Ac_6) - T_{IDA}(M_3)$
- 6) $T_{IDA''}(Ac_5) = T_{3',2'} - 2$

- 7) Por lo tanto $T_{IDA}''(A_{C4}) = 2$
- 6) $T_{VUELTA}''(A_{C5}) = T_{2,3}'' \leq T_{pU} - T_{3,2}'' : T_{2,3}'' \leq 46$
- 7) $T_{VUELTA}(A_{C4}) = T_{0,1}' \leq T_{pU} - T_{1,0}' : T_{0,1}' \leq 46$
- 8) Las particiones del tiempo fueron: $P_1 = 2s$ para $T_{IDA}(A_{C4})$; $P_2 = 2s$ para $T_{IDA}''(A_{C5})$ y $P_3 = 2s$ para $T_{IDA}(M_3)$

4.5 Sincronización local del módulo de quemado

En esta sección se sincroniza el módulo de quemado descrito en la sección 4.2 usando el método del vórtice [1,4,17]. Dicho módulo está compuesto por las máquinas: 1) A_{C7} , 2) A_{C8} , 3) M_4 y 4) A_{C9} . La figura 4.18 muestra la colocación de la maquinaria de acuerdo con el recorrido y sentido de ida.

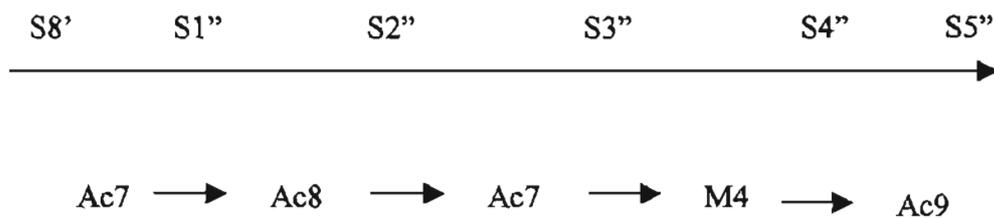


Figura 4.18 La maquinaria del módulo de quemado colocada en el recorrido de ida

La máquina referencial es, M_4 , puesto que dicha máquina es de operación principal y tiene el mayor tiempo fijo. La figura 4.19 muestra el vórtice de sincronización relacionado con las máquinas del módulo de quemado:

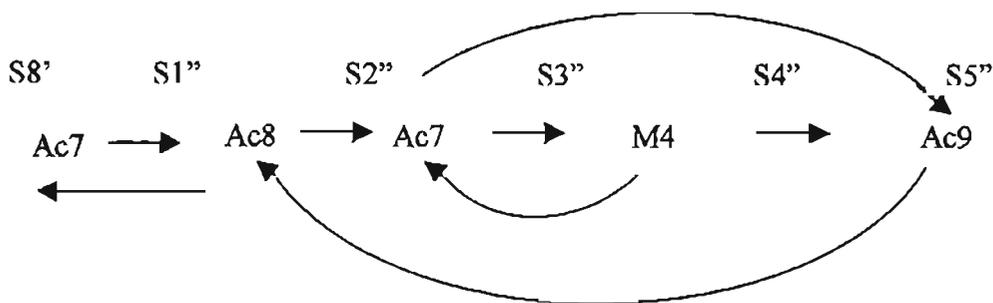


Figura 4.19 Vórtice antecesor del módulo de soldadura

Obsérvese en la figura 4.19 que $k = 5$ y, por tanto, $N_{GS} = 4$. Dichos grupos de sincronización son:

- 1) $G_1'' = \{Ac_7, M_4\}_{SA''}$
- 2) $G_2'' = \{G_1'', Ac_9\} = \{Ac_7, M_4, Ac_9\}_{SB''}$
- 3) $G_3'' = \{G_2'', Ac_8\} = \{G_1'', Ac_9, Ac_8\} = \{Ac_7, M_4, Ac_9, Ac_8\}_{SC''}$
- 4) $G_4'' = \{G_3'', Ac_7\} = \{G_2'', Ac_8, Ac_7\} = \{G_1'', Ac_9, Ac_8, Ac_7\} = \{Ac_7, M_4, Ac_9, Ac_8, Ac_7\}_{SD''}$.

Aquí:

- i) $S_A'' = \{S_2'', S_3'', S_4''\}$
- ii) $S_B'' = \{S_A'', S_5''\} = \{S_2'', S_3'', S_4'', S_5''\}$
- iii) $S_C'' = \{S_B'', S_1''\} = \{S_A'', S_5''\} = \{S_2'', S_3'', S_4'', S_5'', S_1''\}$
- iiii) $S_D'' = \{S_C'', S_8''\} = \{S_B'', S_1'', S_8''\} = \{S_A'', S_5'', S_1'', S_8''\} = \{S_2'', S_3'', S_4'', S_5'', S_1'', S_8''\}$

Al igual que en la sección anterior, se usarán los pasos de la sección 2.3 del capítulo 2, para sincronizar el módulo de soldadura. Esto es:

- 1) El $T_{pU} = 48s/pieza$, $T_F(M_4) = 10s$ y $T_{DIS} = 38s$.
- 2) La distribución de tiempo de proceso sobre las rutas de trabajo de la máquina referencial (M_4) con la banda B1 se muestra en la figura 4.20:

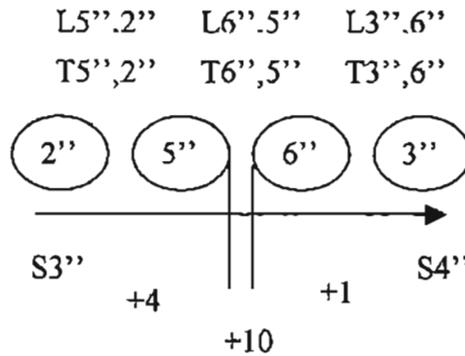


Figura 4.20 Rutas de trabajo y distribución de tiempos en la máquina referencial del módulo de quemado

La tabla 4.4 describe los valores de las variables mostradas en la figura anterior:

Rutas		Tiempos		Descripción
Ida	Vuelta	Ida	Vuelta	
$L_{5'',2''}$	–	$T_{5'',2''} = 4$	–	La banda acerca el cable al quemado
$L_{6'',5''}$	–	$T_{6'',5''} = 10$	–	El cable con la camisa pasa por el horno
$L_{3'',6''}$	–	$T_{3'',6''} = 1$	–	La banda saca el cable del horno

Tabla 4.4 Descripción de los tiempos y rutas de la máquina referencial M_4

Nótese en la figura 4.14 que, el recorrido de ida está sensado por S_2'' , S_3'' , S_4'' , S_5'' , S_1'' , S_8'' (sensores principales). Además,

$$T_{DIS} = T_{pU} - T_{5'',2''} - T_{6'',5''} - T_{3'',6''} = 33s$$

- 3) Se considerará en esta tesis que:

$$R_A(M) = \hat{R}_A(M)$$

- 4) Otra distribución de tiempos relacionada con la máquina referencial Ac_1 se muestra en la figura 4.21.

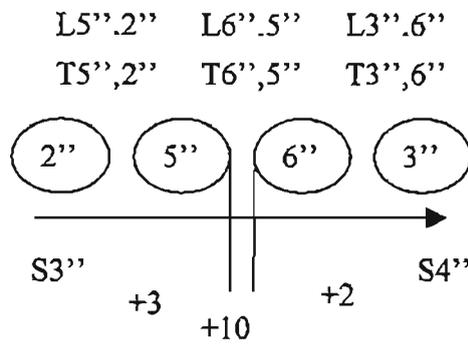


Figura 4.21 Otra distribución de tiempos sobre las rutas de A_{C1}

- 5) La distribución de tiempos que será considerada en este trabajo es la relacionada con el paso 2 y es controlada por S_3 , S_4
- 6) La máquina M_4 ha sido sincronizada individualmente a T_{pU} y:
 - 6.3) Si $T_{CICLO}(M_4) < T_{pU}$, entonces M_4 opera a ciclo intermitente.
 - 6.4) Si $T_{CICLO}(M_4) = T_{pU}$, entonces M_4 opera a ciclo continuo.

Aquí, $T_{CICLO}(M_4)$ es el tiempo de ciclo del horno quemador M_4 . Se tomará en cuenta $T_{CICLO}(M_4) < T_{pU}$ ya que horno para quemar una camisa solo requiere de 15 s y como se trata de una banda transportadora esta en flujo continuo aunque el tiempo de espera es $T_E = 33s$ siendo T_E un tiempo de espera tal que:

$$T_{pU} = T_{IDA}(M_4) + T_{ESP}$$

- 7) El grupo G_1'' está formado por las siguiente máquinas:

$$G_1'' = \{A_{C7}, M_4\}_{SA''}$$

La figura 4.22 muestra la distribución de tiempos de proceso sobre las rutas de trabajo de las máquinas del grupo 1:

M_4

$L3'',.6''$

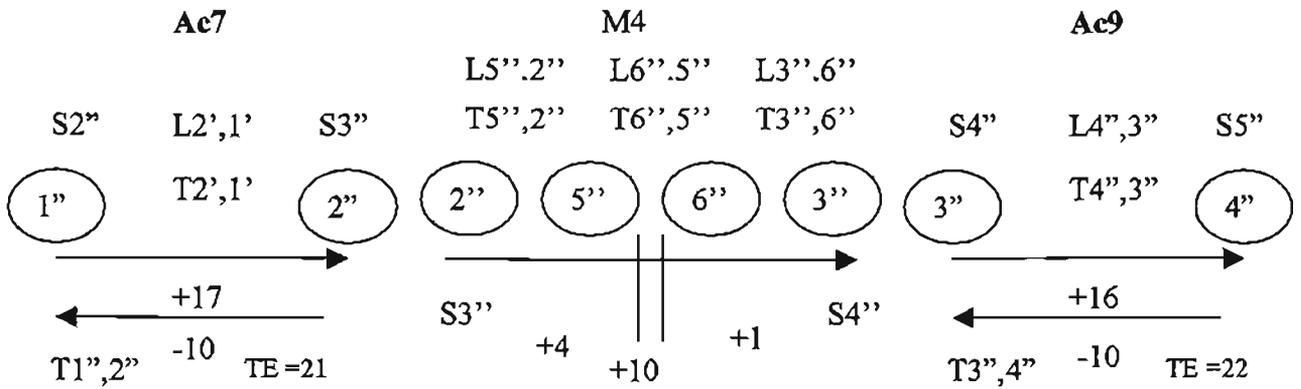


Figura 4.23 Distribución de los tiempos de proceso sobre las rutas de trabajo del grupo G_2 .

Note en la figura anterior que:

- 1) $T_{4'',3''}$ es el tiempo de ida de $Ac9$.
- 2) $T_{3'',4''}$ es el tiempo de vuelta de $Ac9$.
- 3) $T_{pU} = T_{IDA'}(Ac7) + T_{IDA}(T_{FLUO})(M4) + T_{IDA'}(Ac9)$
- 4) Como $T_{IDA}(T_{FLUO})(M4) = 15s$ es fijo, el nuevo tiempo de $T_{IDA'}(Ac7) = T_{IDA'}(Ac9) = T_{VUELTA}(M4) / 2$.
- 5) Ahora $T_{1'',2''}' \leq 31$
- 6) y $T_{3'',4''}' \leq 32$

Las particiones del tiempo de vuelta de $M4$ fueron: $P_1 = 17s$ para $T_{IDA'}(Ac7)$; $P_2 = 19s$ para $T_{IDA}(Ac9)$.

- 9) El grupo G_3'' ; está formado por las siguientes máquinas:

$$G_3'' = \{ G_2'', Ac8 \} = \{ G_1'', Ac9, Ac8 \} = \{ Ac7, M4, Ac9, Ac8 \}_{sc''}$$

La figura 4.24 muestra la distribución de tiempos de procesos sobre las rutas de las máquinas del grupo G_3'' :

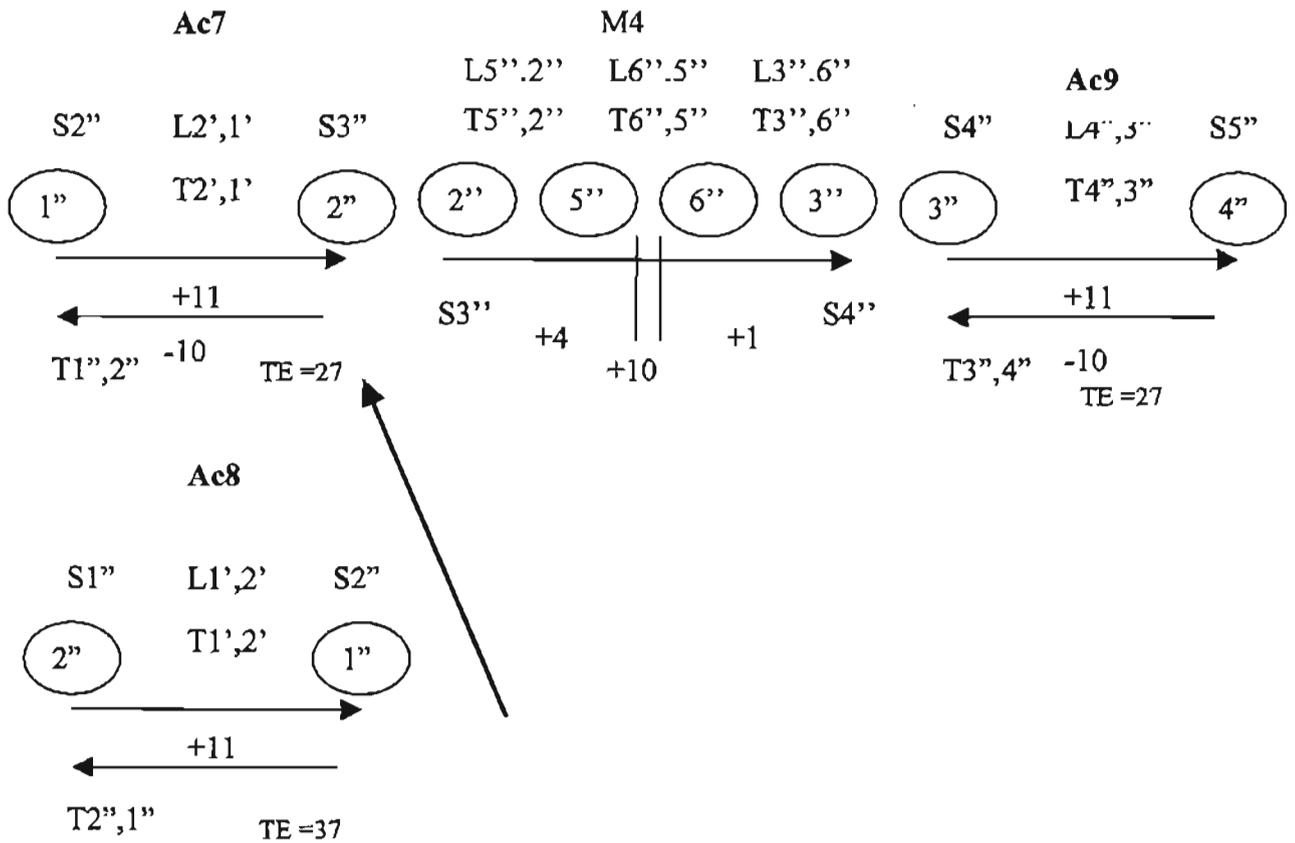


Figura 4.24 Distribución de los tiempos de proceso sobre las rutas de trabajo del grupo G_3 .

Note en la figura 4.24 que:

- 1) $T_{1'',2''}$ es el tiempo de ida de Ac_8 .
- 2) $T_{2'',1''}$ es el tiempo de vuelta de Ac_8 .
- 3) $T_{pU} \doteq T_{IDA'}(Ac_8) + T_{IDA'}(Ac_7) + T_{IDA}(T_{FLUO})(M_4) + T_{IDA'}(Ac_9)$
- 4) Como $T_{IDA}(T_{FLUO})(M_4) = 15s$ es fijo, el nuevo tiempo de $T_{IDA'}(Ac_8) = T_{IDA'}(Ac_7) = T_{IDA'}(Ac_9) = T_{VUELTA}(M_4) / 3$.
- 5) Ahora $T_{1'',2''}' \leq 11$
- 6) y $T_{1'',2''}' \leq 37$

Las particiones del tiempo de vuelta de M_4 fueron: $P_1 = 11s$ para $T_{IDA'}(Ac_8)$; $P_2 = 11s$ para $T_{IDA'}(Ac_7)$; $P_3 = 11s$ para $T_{IDA}(Ac_9)$.

10) El grupo G_4'' ; es decir, el final, está formado por las siguientes máquinas:

$$G_4'' = \{ G_3'', Ac_7 \} = \{ G_2'', Ac_8, Ac_7 \} = \{ G_1'', Ac_9, Ac_8, Ac_7 \} = \{ Ac_7, M_4, Ac_9, Ac_8, Ac_7 \}_{SD''}$$

La figura 4.25 muestra la distribución de tiempos de procesos sobre las rutas de las máquinas del grupo G_4'' :

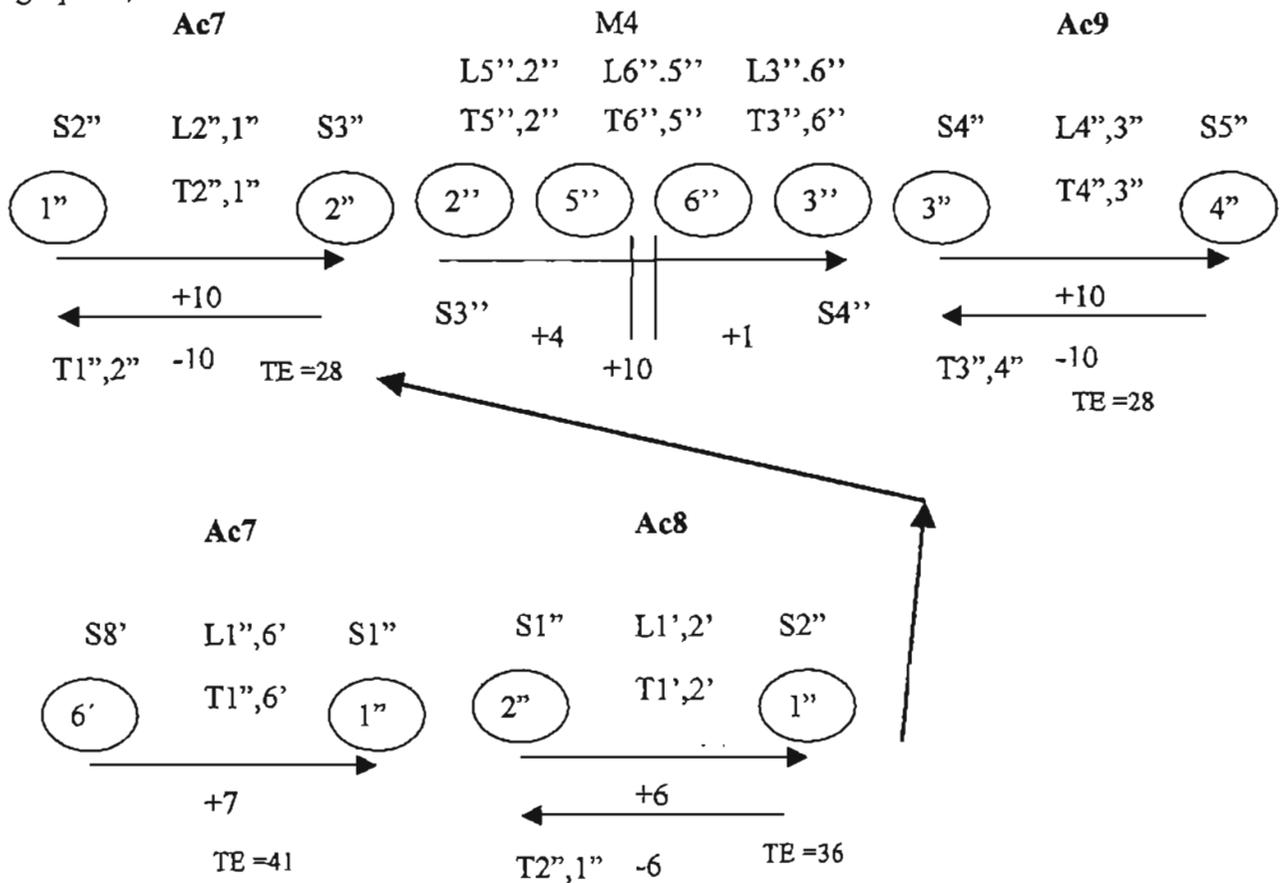


Figura 4.25 Distribución de los tiempos de proceso sobre las rutas de trabajo del grupo G_3 -

Note en la figura anterior que:

- 1) $T_{1'',6'}$ es el tiempo de ida de Ac_7 .
- 2) Ac_7 No tiene tiempo de vuelta en esta fase ya que es un punto en su trayectoria de ida.
- 3) $T_{pU} = T_{IDA}'(Ac_7) + T_{IDA}'(Ac_8) + T_{IDA}'(Ac_7) + T_{IDA}(T_{FLJO})(M_4) + T_{IDA}'(Ac_9)$
- 4) Como $T_{IDA}(T_{FLJO})(M_4) = 15s$ es fijo, el nuevo tiempo de $T_{IDA}'(Ac_7) + T_{IDA}'(Ac_8) + T_{IDA}'(Ac_7) + T_{IDA}'(Ac_9) = T_{VUELTA}(M_4)$.
- 5) Ahora $T_{1'',6'}' \leq 7$

Las particiones del tiempo de vuelta de M_4 fueron: $P_1= 7s$ para $T_{IDA}' (A_{C7})$; $P_2= 6s$ para $T_{IDA}' (A_{C8})$; $P_3= 10s$ para $T_{IDA}' (A_{C7})$; $P_4= 10s$ para $T_{IDA} (A_{C9})$.

4.6 Datos finales para la sincronización global

En esta sección se sintetizan los resultados de la sincronización local los cuales serán utilizados para construir el CBOR en la parte 6 de este informe. La tabla siguiente muestra dichos resultados:

M Ó D U L O 1 ACERCAMIENTO DEL CABLE TIERRA Y DEL CABLE DRAIN WIRE CON CAMISAS.					
Máquinas	Tiempos		Tipo de ciclo	Tiempo de espera	Sensores
	IDA	VUELTA			
A_{C1}	$T_{2,0} : +3$	$T_{0,2} : -3$	Intermitente	42s	S_3, S_0
A_{C2}	$T_{3,1} : +3$ $T_{2,3} : +1$	$T_{1,2} : -6$	Intermitente	38s	S_2, S_5, S_1
A_{C3}	$T_{6,2} : +3$	$T_{2,6} : -3$	Intermitente	42s	S_1, S_0, S_4
M Ó D U L O 2 SOLDADURA DEL CABLE CON TERMINAL DE CORTE Y DE LOS CABLES DEL MÓDULO 1.					
A_{C4}	$T_{1,0'} : +2$	$T_{0,1'} : -4$	Intermitente	42s	$S_{0'}, S_{1'}$
A_{C5}	$T_{3,2'} : +2$	$T_{2,3'} : -4$	Intermitente	42s	$S_{1'}, S_{2'}$
A_{C6}	$T_{4,3'} : +3$ $T_{1,4'} : +1$ $T_{5,1'} : +3$ $T_{6,5'} : +1$	$T_{3,6'} : -6$	Intermitente	+34s	$S_{3'}, S_{4'}, S_{5'}, S_{6'}, S_{7'}$
M_3	$T_{6,6'} : +2$	$T_{6,6'} : -2$	Intermitente	44s	$S_{7'}, S_4, S_{8'}$

M Ó D U L O 3 Q U E M A D O D E C A M I S A D E L A U N I Ó N S O L D A D A .					
Ac7	T _{1'',6''} : +7	: -	Intermitente	41s	S _{8''} , S _{1''}
Ac8	T _{1'',2''} : +6	T _{2'',1''} : -6	Intermitente	36s	S _{1''} , S _{2''}
Ac7	T _{2'',1''} : +10	T _{1'',2''} : -10	Intermitente	28s	S _{2''} , S _{3''}
M ₄	T _{5'',2''} : +4 T _{6'',5''} : +10 T _{3'',6''} : +1	-	Continuo	-	S _{3''} , S _{4''}
Ac9	T _{4'',3''} : +10	T _{3'',4''} : -10	Intermitente	28	S _{4''} , S _{5''}

Tabla 4.5 Datos para realizar el proceso de sincronización global

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SINCRONIZACIÓN GLOBAL DE DOS MÓDULOS DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA ACOSA

Introducción. En este capítulo se construye el CBOR relacionado con la línea de producción de la Empresa ACOSA. Es generado y analizado el “supermódulo de sincronización global”. Del CBOR extendido y funcional, se realizará la sincronización global solo con dos módulos de producción. Para lograr tal propósito, se hará uso del método del CBOR [1,4] descrito en el capítulo 3 de este trabajo de tesis.

5.1 Filas y columnas de referencia de la matriz tiempo – sensado

De acuerdo con la sección 3.3.1 del capítulo 3 de este trabajo de tesis, la fila de referencia de la matriz tiempo – sensado se genera distribuyendo el sistema de sensado sobre dicha fila siguiendo el orden del sensado de “ida”. Además, se deben agregar casillas de los actuadores A_{C5} y A_{C9} con el propósito de detectar si retornaron a sus puntos de partida; esto es, dos sensores bandera, uno (S_{B1}) para A_{C5} y otro (S_{B2}) para A_{C9} . Por tanto, existen 12 sensores principales ($S_0', S_1', S_2', S_3', S_6', S_7', S_8', S_{1''}, S_{2''}, S_{3''}, S_{4''}, S_{5''}$), 2 de completud (S_4', S_5') y dos sensores bandera (S_{B1}, S_{B2}). La tabla siguiente muestra la fila y columna de referencia de la matriz tiempo – sensado (M_{T-S}).

Matriz Tiempo - Sensado																	
	Sensores																
	Sincronizado de ida														Bandera	Tipo	
	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	XT1
T/M	S0'	S1'	S2'	S3'	S4'	S5'	S6'	S7'	S8'	S1''	S2''	S3''	S4''	S5''	SB1	SB2	T1

Tabla 5.1 Filas y columnas de referencia de la matriz M_{T-S}

Note en la figura anterior que, se ha agregado sobre la fila de los sensores las variables $X_1 \dots X_{11}$. Dichas variables serán usadas en las secciones posteriores para construir las ecuaciones de estado asociadas con el sistema de control. Por otro lado, en la columna de los tiempos de proceso solo se ha puesto, como referencia, el tiempo T_0 , pues en las secciones posteriores, dicha columna será llenada en forma sistemática.

5.2 Filas y columnas de referencia de la matriz maquinaria – tiempo

En esta sección se generan las filas y columnas de referencia relacionadas con la matriz maquinaria – tiempo (M_{M-T}). De acuerdo con la sección 3.2 del capítulo 3, la fila principal de M_{M-T} se genera distribuyendo la maquinaria de trabajo sobre dicha fila siguiendo el orden de recorrido de la maquinaria. Además, por encima de la fila principal se coloca otra fila, la cual contiene las variables $Y_1 \dots Y_9$. La tabla siguiente muestra las filas y columnas de referencia de la matriz M_{M-T} .

Matriz Tiempo - Maquinaria									
	Maquinaria								
	Recorrido de ida								
	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	
T/M	Ac4	Ac5	Ac6	M3	Ac7	Ac8	M4	Ac9	T/M

Tabla 5.2 Filas y columnas de referencia de la matriz M_{M-T}

5.3 Filas y columnas de referencia del CBOR

Las filas y columnas de referencia del CBOR se generan uniando las matrices M_{T-S} y M_{M-T} . Dicha unión se muestra en la tabla 5.3.

Matriz de Código Binario Operacional Referencial																										
Matriz Tiempo - Sensado														Matriz Tiempo - Maquinaria												
Sensores														Maquinaria												
Sincronización ()																										
Sincronizado de ida														Bandera		Tipo	Recorrido de ida									
X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	XT1	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11		
T/M	S0'	S1'	S2'	S3'	S4'	S5'	S6'	S7'	S8'	S1''	S2''	S3''	S4''	S5''	SB1	SB2	T1	Ac4	Ac5	Ac6	M3	Ac7	Ac8	M4	Ac9	T/M

Tabla 5.3 Filas y columnas de referencia del CBOR

5.4 Llenado de la columna de tiempos de proceso

En esta sección se caracteriza la columna de los tiempos de proceso asociada con el CBOR. En este caso, solo se tomarán en cuenta los tiempos de proceso sin incluir los cTki. El número de casillas de los tiempos de proceso (N_{CTP}) se encuentran por medio de la relación:

$$N_{CTP} = F \cdot TpU$$

Siendo F = 2; es decir, dos módulos y el TpU = 48, entonces N_{CTP} = 96. La tabla 5.4 muestra la columna de los tiempos del CBOR:

Matriz de Código Binario Operacional Referencial																											
Matriz Tiempo - Sensado														Matriz Tiempo - Maquinaria													
Sensores														Maquinaria													
Sincronización ()																											
Sincronizado de ida														Bandera		Tipo	Recorrido de ida										
X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	XT1	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11			
T/M	S0'	S1'	S2'	S3'	S4'	S5'	S6'	S7'	S8'	S1''	S2''	S3''	S4''	S5''	SB1	SB2	T1	Ac4	Ac5	Ac6	M3	Ac7	Ac8	M4	Ac9	T/M	
T1																										T1	
T2																											T2
T3																											T3
T4																											T4
T5																											T5
T6																											T6
T7																											T7
T8																											T8
T9																											T9
T10																											T10
T11																											T11
T12																											T12
T13																											T13
T14																											T14
T15																											T15
T16																											T16
T17																											T17
T18																											T18
T19																											T19
T20																											T20
T21																											T21
T22																											T22
T23																											T23
T24																											T24
T25																											T25
T26																											T26
T27																											T27
T28																											T28

5.5 Inclusión de los cTki de ida en el CBOR

En esta sección se generan las filas de los cTki o líneas de control del CBOR. En este caso, dichas líneas están asociadas únicamente con el orden del “sensado de ida”. El número de líneas de control se determina por el número sensores de ida. Por tanto, existen 14 cTki de ida. La colocación de dichas líneas se realiza contabilizando, sobre la fila de los tiempos de proceso, los tiempos de ida de cada máquina e insertando, por debajo de cada tiempo final de ida, la fila cTki correspondiente. La tabla 5.5 muestra la inclusión de las líneas de control de ida sobre el CBOR. Cabe mencionar que se eliminará las líneas de referencia del CBOR esto con el propósito de no repetir información. El siguiente código de colores se usa para identificar los cTki sobre le CBOR:

- 1) Gris : cTki principales.
- 2) Azul : cTki de completud.
- 3) Verde : cTki bandera.
- 4) Rojo : cTki de sincronización.

	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	XT1	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11			
T/M	S0'	S1'	S2'	S3'	S4'	S5'	S6'	S7'	S8'	S1''	S2''	S3''	S4''	S5''	SB1	SB2	T1	Ac4	Ac5	Ac6	M3	Ac7	Ac8	M4	Ac9	T/M		
Ck0																											Ck0	
T1																												T1
T2																												T2
Ck1																												Ck1
Ck2																												Ck2
T3																												T3
T4																												T4
Ck3																												Ck3
T5																												T5
T6																												T6
T7																												T7
Ck4																												Ck4
T8																												T8
Ck5																												Ck5
T9																												T9
T10																												T10
T11																												T11
Ck6																												Ck6
T12																												T12
T13																												T13
T14																												T14
T15																												T15
T16																												T16
T17																												T17
T18																												T18
T19																												T19
T20																												T20
T21																												T21
T22																												T22
T23																												T23
T24																												T24
T25																												T25
T26																												T26
T27																												T27
T28																												T28
T29																												T29

5.6 Llenado de las matrices M_{T-S} y M_{M-T} para líneas de control de ida y tiempos de ida

En esta sección se colocarán los símbolos “1/0” en las casillas caracterizadas por la pareja genérica (cTki, Sj). Si la distribución de sensores sobre su fila de referencia y la distribución de líneas de control cTki está ordenada por el sensado de ida, entonces:

- 1) $(cTk_0, S_0) \cong (cTk_1, S_1) \cong (cTk_2, S_2) \cong 1/0$
- 2) $(cTk_3, S_3) \cong (cTk_4, S_4) \cong (cTk_5, S_5) \cong 1/0$
- 3) $(cTk_6, S_6) \cong (cTk_7, S_7) \cong (cTk_8, S_8) \cong 1/0$
- 4) $(cTk_9, S_{1'}) \cong (cTk_{10}, S_{2'}) \cong (cTk_{11}, S_{3'}) \cong 1/0$
- 5) $(cTk_{12}, S_{4'}) \cong (cTk_{13}, S_{5'}) \cong 1/0$

Las relaciones cTki con la fila de sensores se muestra en la tabla 5.6. Por otro lado, las casillas de la matriz maquinaria – tiempo se llenan usando los resultados descritos en la tabla 5.4 de la sección 5.5. Para este caso, el símbolo asociado con las casillas (Mk, Tj) es “+1” el cual denota tiempos de ida. La tabla 5.7 muestra la distribución de los tiempos de ida sobre la matriz maquinaria – tiempo.

	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	XT1	
T/M	S0'	S1'	S2'	S3'	S4'	S5'	S6'	S7'	S8'	S1''	S2''	S3''	S4''	S5''	SB1	SB2	T1	T/M
Ctk0	1/0																	Ctk0
T1																		T1
T2																		T2
Ctk1		1/0																Ctk1
Ctk2			1/0															Ctk2
T3																		T3
T4																		T4
Ctk3				1/0														Ctk3
T5																		T5
T6																		T6
T7																		T7
Ctk4					1/0													Ctk4
T8																		T8
Ctk5						1/0												Ctk5
T9																		T9
T10																		T10
T11																		T11
Ctk6							1/0											Ctk6
T12																		T12
T13																		T13
T14																		T14
T15																		T15
T16																		T16
T17																		T17
T18																		T18
T19																		T19
T20																		T20
T21																		T21
T22																		T22
T23																		T23
T24																		T24
T25																		T25
T26																		T26
T27																		T27
T28																		T28
T29																		T29
T30																		T30
T31																		T31
T32																		T32
T33																		T33

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	
T/M	Ac4	Ac5	Ac6	M3	Ac7	Ac8	M4	Ac9	T/M
Ctk0									Ctk0
T1	+1								T1
T2	+1								T2
Ctk1									Ctk1
Ctk2									Ctk2
T3		+1							T3
T4		+1							T4
Ctk3									Ctk3
T5			+1						T5
T6			+1						T6
T7			+1						T7
Ctk4									Ctk4
T8			+1						T8
Ctk5									Ctk5
T9			+1						T9
T10			+1						T10
T11			+1						T11
Ctk6									Ctk6
T12			0,+1						T12
T13			0,+1						T13
T14			0,+1						T14
T15			0,+1						T15
T16			0,+1						T16
T17			0,+1						T17
T18			0,+1						T18
T19			0,+1						T19
T20			0,+1						T20
T21			0,+1						T21
T22			0,+1						T22
T23			0,+1						T23
T24			0,+1						T24
T25			0,+1						T25
T26			0,+1						T26
T27			0,+1						T27
T28			0,+1						T28
T29			0,+1						T29
T30			0,+1						T30
T31			0,+1						T31
T32			0,+1						T32
T33			0,+1						T33
T34			0,+1						T34
T35			0,+1						T35
T36			0,+1						T36
T37			0,+1						T37
T38			0,+1						T38
T39			0,+1						T39
T40			0,+1						T40
T41			0,+1						T41
T42			0,+1						T42
T43			0,+1						T43
T44			0,+1						T44
T45			0,+1						T45
Ctk16									Ctk16
T46			+1						T46
Ctk7									Ctk7
T47				+1					T47
T48				+1					T48
Ctk8									Ctk8
T49					+1				T49
T50					+1				T50
T51					+1				T51
T52					+1				T52
T53					+1				T53
T54					+1				T54
T55					+1				T55
Ctk9									Ctk9
T56						+1			T56
T57						+1			T57
T58						+1			T58
T59						+1			T59
T60						+1			T60
T61						+1			T61
Ctk10									Ctk10
T62					+1				T62

T63					+1				T63
T64					+1				T64
T65					+1				T65
T66					+1				T66
T67					+1				T67
T68					+1				T68
T69					+1				T69
T70					+1				T70
T71					+1				T71
Ck11									Ck11
T72							+1		T72
T73							+1		T73
T74							+1		T74
T75							+1		T75
T76							+1		T76
T77							+1		T77
T78							+1		T78
T79							+1		T79
T80							+1		T80
T81							+1		T81
T82							+1		T82
T83							+1		T83
T84							+1		T84
T85							+1		T85
T86							+1		T86
Ck12									Ck12
T87								+1	T87
T88								+1	T88
T89								+1	T89
T90								+1	T90
T91								+1	T91
T92								+1	T92
T93								+1	T93
T94								+1	T94
T95								+1	T95
T96								+1	T96
Ck13									Ck13
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	
T/M	Ac4	Ac5	Ac6	M3	Ac7	Ac8	M4	Ac9	T/M

Tabla 5.7 Distribución de los tiempos de ida sobre la matriz M_{M-T} incluyendo los cTk_i de ida

5.7 Acoplamiento de las submatrices del CBOR para el recorrido de ida

En esta sección se acoplan las matrices M_{T-S} y M_{M-T} [1,4] usando las líneas de control. Dicho acoplamiento genera el CBOR asociado con el recorrido de ida. La tabla 5.8 muestra el CBOR asociado con el recorrido de ida. Note en la tabla 5.8 que, se ha identificado cada línea de control con su maquinaria asociada con lo cual el dominio proposicional se relaciona con el dominio operacional; esto es:

- 1) $(cTk_0, S_0) \cong (X_1, Y_1) \cong 1/0$
- 2) $(cTk_1, S_1) \cong (X_2, Y_2) \cong 1/0$
- 3) $(cTk_2, S_2) \cong (X_3, Y_3) \cong 1/0$
- 4) $(cTk_3, S_3) \cong (X_4, Y_4) \cong 1/0$
- 5) $(cTk_4, S_4) \cong (X_5, Y_5) \cong 1/0$
- 6) $(cTk_5, S_5) \cong (X_6, Y_6) \cong 1/0$

- 7) $(cTk_6, S_6') \cong (X_7, Y_7) \cong 1/0$
- 8) $(cTk_7, S_7') \cong (X_8, Y_8) \cong 1/0$
- 9) $(cTk_8, S_8') \cong (X_9, Y_9) \cong 1/0$
- 10) $(cTk_9, S_{1''}) \cong (X_{10}, Y_{10}) \cong 1/0$
- 11) $(cTk_{10}, S_{2''}) \cong (X_{11}, Y_{11}) \cong 1/0$
- 12) $(cTk_{11}, S_{3''}) \cong (X_{12}, Y_{12}) \cong 1/0$
- 13) $(cTk_{12}, S_{4''}) \cong (X_{13}, Y_{13}) \cong 1/0$
- 14) $(cTk_{13}, S_{5''}) \cong (X_{14}, Y_{14}) \cong 1/0$

Cabe señalar que, dichas relaciones son solo de referencia. En las secciones siguientes se generarán las relaciones de condicionamiento con las cuales se podrá construir el sistema de control asociado con la línea de producción estudiada en esta tesis. Por otro lado, el cTk_8 mostrado en la tabla anterior, no tiene máquina por desactivar, en realidad dicha línea solo representa la finalización del recorrido total de ida.

T/M	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	XT1	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	T/M
Ctk0	1/0																									Ctk0
T1																		+1								T1
T2																		+1								T2
Ctk1		1/0																								Ctk1
Ctk2			1/0																							Ctk2
T3																			+1							T3
T4																			+1							T4
Ctk3				1/0																						Ctk3
T5																				+1						T5
T6																				+1						T6
T7																				+1						T7
Ctk4					1/0																					Ctk4
T8																				+1						T8
Ctk5						1/0																				Ctk5
T9																				+1						T9
T10																				+1						T10
T11																				+1						T11
Ctk6							1/0																			Ctk6
T12																				0,+1						T12
T13																				0,+1						T13
T14																				0,+1						T14
T15																				0,+1						T15
T16																				0,+1						T16
T17																				0,+1						T17
T18																				0,+1						T18
T19																				0,+1						T19
T20																				0,+1						T20
T21																				0,+1						T21
T22																				0,+1						T22
T23																				0,+1						T23
T24																				0,+1						T24
T25																				0,+1						T25
T26																				0,+1						T26
T27																				0,+1						T27
T28																				0,+1						T28
T29																				0,+1						T29
T30																				0,+1						T30
T31																				0,+1						T31
T32																				0,+1						T32

5.8 Llenado de los tiempos de vuelta, extensión del CBOR, inserción de las líneas de control de sensado bandera y tiempos especiales

En esta sección se usarán los resultados presentados en la tabla 4.5 descrita en el capítulo 4, para distribuir los tiempos de vuelta de la maquinaria sobre el CBOR.. La tabla 5.9 muestra la distribución de los tiempos de vuelta, en este caso representadas por el símbolo “-1”, sobre el CBOR de ida. Nótese en la tabla 5.9, que el CBOR ha sido extendido de T₉₆ a T₁₀₆. Dicha extensión se realiza para poder representar la totalidad del ciclo operacional del actuador A_{C9}.

Por otro lado, de acuerdo con la sección 5.1, se han asociado dos sensores bandera, los cuales señalarán los regresos, a sus puntos de partida, de los actuadores A_{C5} y A_{C9}.

	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	XT1	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8		
T/M	S0'	S1'	S2'	S3'	S4'	S5'	S6'	S7'	S8'	S1''	S2''	S3''	S4''	S5''	SB1	SB2	T1	Ac4	Ac5	Ac6	M3	Ac7	Ac8	M4	Ac9	T/M	
Cik0	1/0																										Cik0
T1																		+1									T1
T2																		+1									T2
Cik1		1/0																									Cik1
Cik2			1/0																								Cik2
T3																		-1	+1								T3
T4																		-1	+1								T4
Cik3				1/0																							Cik3
T5																		-1	-1	+1							T5
T6																		-1	-1	+1							T6
T7																			-1	+1							T7
Cik4					1/0																						Cik4
T8																			-1	+1							T8
Cik5						1/0																					Cik5
T9																				+1							T9
T10																				+1							T10
T11																				+1							T11
Cik6							1/0																				Cik6
T12																					0,+1						T12
T13																					0,+1						T13
T14																					0,+1						T14
T15																					0,+1						T15
T16																					0,+1						T16
T17																					0,+1						T17
T18																					0,+1						T18
T19																					0,+1						T19
T20																					0,+1						T20
T21																					0,+1						T21
T22																					0,+1						T22
T23																					0,+1						T23
T24																					0,+1						T24
T25																					0,+1						T25
T26																					0,+1						T26
T27																					0,+1						T27
T28																					0,+1						T28
T29																					0,+1						T29
T30																					0,+1						T30
T31																					0,+1						T31
T32																					0,+1						T32
T33																					0,+1						T33
T34																					0,+1						T34
T35																					0,+1						T35
T36																					0,+1						T36
T37																					0,+1						T37
T38																					0,+1						T38
T39																					0,+1						T39
T40																					0,+1						T40
T41																					0,+1						T41

T/M	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	XT1	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	T/M	
Ck0	S0'	S1'	S2'	S3'	S4'	S5'	S6'	S7'	S8'	S1''	S2''	S3''	S4''	S5''	SB1	SB2	T1	Ac4	Ac5	Ac6	M3	Ac7	Ac8	M4	Ac9	T/M	
Ck0	1/0																									Ck0	
T1																			+1								T1
T2																			+1								T2
Ck1		1/0																									Ck1
Ck2			1/0																								Ck2
T3																			-1	+1							T3
T4																			-1	+1							T4
Ck3				1/0																							Ck3
T5																			-1	-1	+1						T5
T6																			-1	-1	+1						T6
T7																				-1	+1						T7
Ck4					1/0																						Ck4
T8																				-1	+1						T8
Ck5						1/0																					Ck5
Ck14															1/0												Ck14
T9																					+1						T9
T10																					+1						T10
T11																					+1						T11
Ck6							1/0																				Ck6
T12																					0,+1						T12
T13																					0,-1						T13
T14																					0,+1						T14
T15																					0,+1						T15
T16																					0,+1						T16
T17																					0,+1						T17
T18																					0,+1						T18
T19																					0,+1						T19
T20																					0,+1						T20
T21																					0,+1						T21
T22																					0,+1						T22
T23																					0,+1						T23
T24																					0,+1						T24
T25																					0,+1						T25
T26																					0,+1						T26
T27																					0,+1						T27
T28																					0,+1						T28
T29																					0,+1						T29
T30																					0,+1						T30
T31																					0,+1						T31
T32																					0,+1						T32
T33																					0,+1						T33
T34																					0,+1						T34
T35																					0,+1						T35
T36																					0,+1						T36
T37																					0,+1						T37
T38																					0,+1						T38
T39																					0,+1						T39
T40																					0,+1						T40
T41																					0,+1						T41
T42																					0,+1						T42
T43																					0,+1						T43
T44																					0,+1						T44
T45																					0,+1						T45
Ck16																											Ck16
T46																					+1						T46
Ck7								1/0																			Ck7
T47																					-1	+1					T47
T48																					-1	+1					T48
Ck8										1/0																	Ck8
T49																					-1	-1	+1				T49
T50																					-1	-1	+1				T50
T51																					-1		+1				T51
T52																					-1		+1				T52
T53																							+1				T53
T54																							+1				T54
T55																							+1				T55
Ck9										1/0																	Ck9
T56																								+1			T56
T57																							+1				T57
T58																							+1				T58
T59																							+1				T59
T60																							+1				T60
T61																							+1				T61
Ck10										1/0																	Ck10
T62																							+1	-1			T62

que componen el sistema productivo motivo de estudio:

	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	XT1	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	
T/M	S0'	S1'	S2'	S3'	S4'	S5'	S6'	S7'	S8'	S1''	S2''	S3''	S4''	S5''	SB1	SB2	T1	Ac4	Ac5	Ac6	M3	Ac7	Ac8	M4	Ac9	T/M
Ck0	1/0																									Ck0
T1																		+1								T1
T2																		+1								T2
Ck1		1/0																								Ck1
Ck2			1/0																							Ck2
T3																			+1							T3
T4																			+1							T4
Ck3				1/0																						Ck3
T5																				+1						T5
T6																				+1						T6
T7																				+1						T7
Ck4					1/0																					Ck4
T8																					+1					T8
Ck5						1/0																				Ck5
T9																				+1						T9
T10																				+1						T10
T11																				+1						T11
Ck6							1/0																			Ck6
T12																					0,+1					T12
T13																					0,+1					T13
T14																					0,+1					T14
T15																					0,+1					T15
T16																					0,+1					T16
T17																					0,+1					T17
T18																					0,+1					T18
T19																					0,+1					T19
T20																					0,+1					T20
T21																					0,+1					T21
T22																					0,+1					T22
T23																					0,+1					T23
T24																					0,+1					T24
T25																					0,+1					T25
T26																					0,+1					T26
T27																					0,+1					T27
T28																					0,+1					T28
T29																					0,+1					T29
T30																					0,+1					T30
T31																					0,+1					T31
T32																					0,+1					T32
T33																					0,+1					T33
T34																					0,+1					T34
T35																					0,+1					T35
T36																					0,+1					T36
T37																					0,+1					T37
T38																					0,+1					T38
T39																					0,+1					T39
T40																					0,+1					T40
T41																					0,+1					T41
T42																					0,+1					T42
T43																					0,+1					T43
T44																					0,+1					T44
T45																					0,+1					T45
Ck16																										Ck16
T46																						+1				T46
Ck7								1/0																		Ck7
T47																							+1			T47
T48																							+1			T48
Ck8									1/0																	Ck8
	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	XT1	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	
T/M	S0'	S1'	S2'	S3'	S4'	S5'	S6'	S7'	S8''	S1''	S2''	S3''	S4''	S5''	SB1	SB2	T1	Ac4	Ac5	Ac6	M3	Ac7	Ac8	M4	Ac9	T/M

Tabla 5.11 El CBOR del módulo de soldadura

	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8		
T/M	S0'	S1'	S2'	S3'	S4'	S5'	S6'	S7'	S8'	S1''	S2''	S3''	S4''	S5''	SB1	SB2	Ac4	Ac5	Ac6	M3	Ac7	Ac8	M4	Ac9	T/M	
Ck8									1/0																Ck8	
T49																						+1				T49
T50																						+1				T50
T51																						+1				T51
T52																						+1				T52
T53																						+1				T53
T54																						+1				T54
T55																						+1				T55
Ck9										1/0																Ck9
T56																							+1			T56
T57																						+1				T57
T58																						+1				T58
T59																						+1				T59
T60																						+1				T60
T61																						+1				T61
Ck10											1/0															Ck10
T62																						+1				T62
T63																						+1				T63
T64																						+1				T64
T65																						+1				T65
T66																						+1				T66
T67																						+1				T67
T68																						+1				T68
T69																						+1				T69
T70																						+1				T70
T71																						+1				T71
Ck11												1/0														Ck11
T72																								+1		T72
T73																							+1			T73
T74																							+1			T74
T75																							+1			T75
T76																							+1			T76
T77																							+1			T77
T78																							+1			T78
T79																							+1			T79
T80																							+1			T80
T81																							+1			T81
T82																							+1			T82
T83																							+1			T83
T84																							+1			T84
T85																							+1			T85
T86																							+1			T86
Ck12													1/0													Ck12
T87																									+1	T87
T88																								+1		T88
T89																								+1		T89
T90																								+1		T90
T91																								+1		T91
T92																								+1		T92
T93																								+1		T93
T94																								+1		T94
T95																								+1		T95
T96																								+1		T96
Ck13														1/0												Ck13
T/M	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	T/M	
	S0'	S1'	S2'	S3'	S4'	S5'	S6'	S7'	S8'	S1''	S2''	S3''	S4''	S5''	SB1	SB2	Ac4	Ac5	Ac6	M3	Ac7	Ac8	M4	Ac9		

Tabla 5.12 El CBOR del módulo de quemado.

Cabe señalar que los cTki o líneas de control del sensado bandera, así como los tiempos de vuelta y la extensión del código han sido eliminados con el propósito de simplificar la constructibilidad del supermódulo de sincronización global. El supermódulo es generado por la superposición del CBOR del módulo antecesor, en este caso de marcaje, sobre el CBOR del último módulo (soldadura). Dicha superposición satisface los pasos siguientes:

- 1) El CBOR del último módulo es fijado.
- 2) Se insertan las líneas de control del sensado de ida del módulo sucesor siguiendo el orden de ida y respetando los cTki del último módulo.
- 3) Si una línea de control del módulo antecesor coincide con una línea de control del último módulo, entonces solo se asigna el símbolo "1/0" en la casilla correspondiente y dicha línea se marca con los colores de identificación.
- 4) Se distribuyen los tiempos de ida y los tiempos especiales del módulo antecesor sobre el último módulo respetando las líneas cTki.

En las tablas siguientes se muestran las consecuencias directas de los pasos 2) y 4):

	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	XT1	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8		
T/M	S0'	S1'	S2'	S3'	S4'	S5'	S6'	S7'	S8'	S1''	S2''	S3''	S4''	S5''	SB1	SB2	T1	Ac4	Ac5	Ac6	M3	Ac7	Ac8	M4	Ac9	T/M	
Ctk8									1/0																	Ctk8	
Ctk0'	1/0																										Ctk0'
T49																											T49
T50																											T50
Ctk1'		1/0																									Ctk1'
Ctk2'			1/0																								Ctk2'
T51																											T51
T52																											T52
Ctk3'				1/0																							Ctk3'
T53																											T53
T54																											T54
T55																											T55
Ctk9										1/0																	Ctk9
Ctk4'					1/0																						Ctk4'
T56																											T56
Ctk5'						1/0																					Ctk5'
T57																											T57
T58																											T58
T59																											T59
Ctk6'							1/0																				Ctk6'
T60																											T60
T61																											T61
Ctk10											1/0																Ctk10
T62																											T62
T63																											T63
T64																											T64
T65																											T65
T66																											T66
T67																											T67
T68																											T68
T69																											T69
T70																											T70
T71																											T71
Ctk11											1/0																Ctk11
T72																											T72
T73																											T73
T74																											T74
T75																											T75
T76																											T76
T77																											T77
T78																											T78
T79																											T79
T80																											T80
T81																											T81
T82																											T82
T83																											T83
T84																											T84
T85																											T85
T86																											T86

- 3) La inicialización del ciclo automático del módulo de quemado.
- 4) La inicialización del ciclo automático global del sistema productivo.

Por otro lado, un supermódulo de sincronización global tiene asociada la siguiente característica:

“Todos los módulos antecesores superpuestos en el módulo final inician y terminan sus rutas de ida en las líneas de control inicial y final del supermódulo.”

5.11 CBOR completo

En esta sección se acoplan el módulo de soldadura, las líneas de control del sensado bandera, los tiempos de vuelta y la extensión del CBOR para generar el CBOR completo. La tabla siguiente muestra dicho código.

T/M	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	XT1	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	T/M		
Ck0	S0'	S1'	S2'	S3'	S4'	S5'	S6'	S7'	S8'	S1''	S2''	S3''	S4''	S5''	SB1	SB2	T1	Ac4	Ac5	Ac6	M3	Ac7	Ac8	M4	Ac9	Ck0		
T1																		+1									T1	
T2																		+1										T2
Ck1		1/0																										Ck1
Ck2			1/0																									Ck2
T3																		-1	+1									T3
T4																		-1	+1									T4
Ck3				1/0																								Ck3
T5																		-1	-1	+1								T5
T6																		-1	-1	+1								T6
T7																			-1	+1								T7
Ck4																												Ck4
T8																			-1	+1								T8
Ck5																												Ck5
Ck14															1/0													Ck14
T9																				+1								T9
T10																				+1								T10
T11																				+1								T11
Ck6							1/0																					Ck6
T12																				0,+1								T12
T13																				0,+1								T13
T14																				0,+1								T14
T15																				0,+1								T15
T16																				0,+1								T16
T17																				0,+1								T17
T18																				0,+1								T18
T19																				0,+1								T19
T20																				0,+1								T20
T21																				0,+1								T21
T22																				0,+1								T22
T23																				0,+1								T23
T24																				0,+1								T24
T25																				0,+1								T25
T26																				0,+1								T26
T27																				0,+1								T27
T28																				0,+1								T28
T29																				0,+1								T29
T30																				0,+1								T30
T31																				0,+1								T31
T32																				0,+1								T32
T33																				0,+1								T33

5.12 Condicionamientos de control y CBOR funcional del proceso de ACOSA

Para poder generar los condicionamientos se deben considerar los siguientes aspectos:

- 1) El balanceo de piezas sobre toda la línea de producción.
- 2) El condicionamiento de operación máquina por máquina para la coordinación y la sincronización local.
- 3) La verificación de los regresos, a sus puntos de origen, de las máquinas y/o dispositivos de trabajo.
- 4) Los condicionamientos modulares para la sincronización global.
- 5) Los sistemas de paro de emergencia.

Por otro lado, un condicionamiento se llama “puntual” si un sensor de cualquier tipo condiciona la operación de una máquina. Un condicionamiento se llama “local”, si un sensor (no asociado directamente con la máquina) o varios sensores condicionan las operaciones de una o varias máquinas en un módulo de producción.

También, un condicionamiento se llama “intermodular”, si un sensor de un módulo condiciona una o varias máquinas de otro módulo. El condicionamiento se llama “de sincronización modular”, si uno o varios sensores gobiernan las operaciones iniciales y/o finales de los módulos. Finalmente, un condicionamiento se llama “global”, si existen sensores que gobiernan el inicio y término de las operaciones de toda una línea de producción.

Los condicionamientos están asociados con las líneas de control y se pueden generar de la manera siguiente:

- 1) Condicionamiento sobre líneas de control coincidentes.
- 2) Condicionamiento sobre líneas de control no coincidentes.

En este trabajo de tesis el tipo de condicionamiento usado será la conjunción y la identidad operativa.

Supóngase los siguientes requerimientos de control(R_E):

- 1) El sensado de ida debe condicionar las operaciones de cada máquina de acuerdo con su orden.
- 2) Se debe condicionar el segundo inicio de cada módulo con su término.
- 3) El segundo inicio de operaciones del módulo de soldadura debe condicionarse con el primer inicio del módulo de quemado.
- 4) La salida del actuador A_{c6} se gobierna por las dos señales de presencia de piezas.
- 5) El arranque del actuador A_{c6} después del tiempo de espera de 34s es por temporizador.
- 6) Todas las piezas deben estar señalizadas cuando se localicen al final de los recorridos de ida modular y dicha señalización gobierna el tercer arranque del módulo de soldadura y el segundo arranque del módulo de quemado.
- 7) El inicio y término de las operaciones de la línea de producción deben estar señalizadas y condicionan el tercer inicio del módulo de soldadura y el segundo inicio del módulo de quemado.
- 8) Un sensor bandera S_{B1} indica el retorno de A_{c5} y condiciona la activación A_{c6} .
- 9) Un sensor bandera S_{B2} indica el retorno de A_{c9} y condiciona la activación de A_{c6} .

Es importante señalar que los condicionamientos de control en realidad son requerimientos y,

para satisfacerlos, es necesario usar el dominio operacional y sus operaciones lógicas. Esto es:

1) El condicionamiento del sensado de ida es:

$$\begin{array}{llll} \text{a) } Y_1 = X_7 & ; & \text{b) } Y_2 = X_8 \bullet X_9 & ; & \text{c) } Y_3 = X_{10} & ; & \text{d) } Y_3 = X_{T1} \\ \text{e) } Y_4 = X_{14} & ; & \text{f) } Y_5 = X_{15} & ; & \text{g) } Y_6 = X_{16} & ; & \text{h) } Y_5 = X_{17} \\ \text{i) } Y_7 = X_{18} & ; & \text{j) } Y_8 = X_{19} & ; & \text{k) } Y_8 = X_{20} & & \end{array}$$

2) El segundo requerimiento es satisfecho si:

$$Y_1' = X_7' \bullet X_{15}$$

$$Y_5' = X_{15}' \bullet X_{20}$$

3) La expresión:

$$Y_1' = X_7' \bullet X_{15}$$

satisface el tercer requerimiento.

4) Para el caso del requerimiento 4) se tiene:

$$Y_3 = X_{10} \bullet X_8$$

5) La expresión:

$$Y_3 = X_T$$

satisface el quinto requerimiento.

6) Este requerimiento se satisface si

$$\text{a) } Y_1'' = X_{15} \bullet X_{20}$$

7) Nótese que el inicio de las operaciones de la línea de producción está señalizada por el sensor S_0 y el término por el sensor S_5' . Por tanto,

$$Y_1'' = X_7'' \bullet X_{20}$$

$$Y_5' = X_{15}' \bullet X_{20}$$

son los condicionamientos relacionados con el séptimo requerimiento.

8) El requerimiento 8 se satisface si

$$Y_3 = SB_1$$

9) El requerimiento 9 se satisface si,

$$Y_3 = SB_2$$

5.12.1 Diseño del sistema de control operacional del proceso de ACOSA

Considérese el siguiente problema [1]:

“ Dados; X , Y , TpU y $cTki$, encuentre:

$$S_C = S_C(X, Y, cTki, TpU)$$

tal que:

$$1) R_E = \hat{R}_E$$

$$2) TpU = \hat{TpU}$$

sean satisfechas. ”

Aquí, R_E es el conjunto de requerimientos de control y S_C es el sistema de control.

Considere ahora la siguiente hipótesis:

“ En un sistema productivo serial globalmente sincronizado a TpU existe un conjunto de líneas de control que gobiernan el sistema de control operacional de una línea de producción. El diseño de dicho sistema depende de las relaciones entre el ciclo

automático total y el ciclo de arranque global y del número de módulos que integra la línea de producción.”

La solución al problema definido anteriormente se obtiene bajo un simple proceso de sistematización; esto es:

Premisas:

- 1) El sistema productivo está compuesto por dos módulos.
- 2) El sistema inicia su primer ciclo automático total.

El desarrollo del problema es el siguiente:

- 1) Si se inicia el primer ciclo automático total, entonces:

$Y_8^* = X_{20}$	Activación del último sensor de ida.
$Y_1 = X_7 \cdot X_{20}$	Activación del primer sensor de ida del supermódulo.
$Y_1 = X_7 \cdot X_{20}$	Activación del primer sensor de ida del módulo de soldadura.
$Y_1 = X_7 \cdot X_{15} \cdot X_{20}$	Inicio doblemente condicionado del módulo de soldadura como lo marca el ciclo automático.
$Y_5 = X_7 \cdot X_{15} \cdot X_{20}$	Inicio doblemente condicionado del módulo de quemado como lo marca el ciclo automático

- 2) Si el ciclo automático total se inicia, entonces finalizó el ciclo total de arranque; es decir:

$$Y_8 = X_{19}$$

$$Y_7 = X_{18}$$

$$Y_5 = X_{17}$$

$$Y_6 = X_{16}$$

$$Y_5 = X_{15}$$

$$Y_4 = X_{14}$$

$$Y_3 = X_{10}$$

$$Y_2 = X_8 \circ X_9$$

$$Y_1 = X_7$$

3) Si $F = 2$ y $Y_1 = X_7 \bullet X_{15} \bullet X_{20}$ y además, $Y_5 = X_7 \bullet X_{15} \bullet X_{20}$, entonces:

$$3.1) \quad Y_1 = X_7'' \bullet X_{15}' \bullet X_{20}$$

$$3.2) \quad Y_5 = X_7'' \bullet X_{15}' \bullet X_{20}.$$

Aquí, X_7''' y X_{15}'' representan la tercera y segunda activación de los sensores de ida iniciales de cada módulo.

4) Las secuencias de activaciones sensor - máquina son:

$$4.1) \quad Y_1 = X_7 \rightarrow Y_1 = X_7' \bullet X_{15} \rightarrow Y_1 = X_7'' \bullet X_{15}' \bullet X_{20}$$

$$4.2) \quad Y_5 = X_7' \bullet X_{15} \rightarrow Y_5 = X_7'' \bullet X_{15}' \bullet X_{20}$$

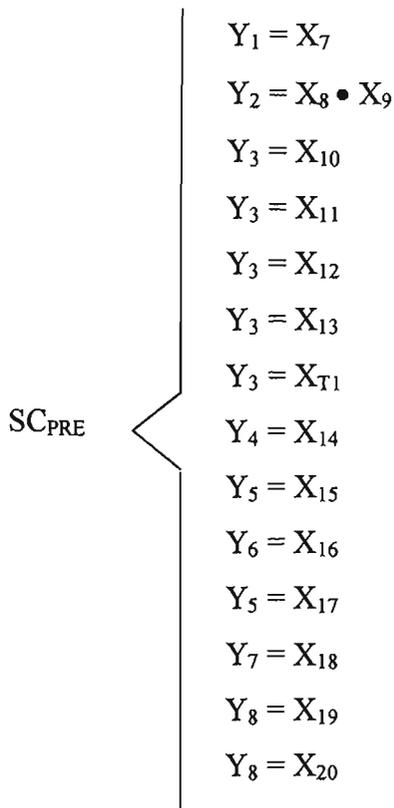
5) Si $Y_1 = X_7' \bullet X_{15}$, entonces: $Y_2 = X_8 \bullet X_9$, $Y_3 = X_{10}$ y $Y_4 = X_{14}$

$$Y_5 = X_7' \bullet X_{15} \bullet X_{20}, Y_6 = X_{11} \bullet X_{16}$$

6) Si $Y_1 = X_7''' \bullet X_{15}''$, entonces: $Y_2 = X_8'' \bullet X_9''$, $Y_3 = X_{10}''$ y $Y_4 = X_{14}''$

$$Y_5 = X_7''' \bullet X_{15}'' \bullet X_{20}, Y_6 = X_{11}'' \bullet X_{16}$$

Supóngase que no se consideran el número de activaciones de los sensores, entonces:



Aquí, SC_{PRE} es el sistema de control inicial. Considere las siguientes condiciones:

- 1) La pareja (SC_{PRE}, R_E) conforman el sistema de control completo de los módulos sincronizados.
- 2) El SC_{PRE} garantiza la funcionalidad del sistema productivo y, por tanto, los requerimientos R_E no pueda modificar al SC_{PRE} de tal forma que:
 - 2.1) Que la funcionalidad del control se afecte.
 - 2.2) Que las sincronizaciones locales y globales sean afectadas.

Considérense las siguientes reglas:

- 1) Si una condición de R_E es equivalente con una condición de SC_{PRE} , entonces SC_{PRE} bajo esa condición no se modifica.

- 2) Si una condición de R_E es equivalente con un solo término de una condición de SC_{PRE} , entonces SC_{PRE} no se modifica.
- 3) Si una condición de R_E integra un término o toda la condición de SC_{PRE} , entonces la condición de R_E modifica en extensión a SC_{PRE} .

Por lo tanto, considerando las reglas anteriores, el sistema de control es el siguiente:

$$\begin{array}{l}
 SC_{FIN} \left\{ \begin{array}{ll}
 Y_1 = X_7 & \\
 Y_2 = X_8 \bullet X_9 & \\
 Y_3 = X_{10} & Y_3 = X_{10} \bullet X_8 \\
 Y_3 = X_{11} & Y_3 = SB_1 \\
 Y_3 = X_{12} & \\
 Y_3 = X_{13} & \\
 Y_3 = X_{T1} & \\
 Y_4 = X_{14} & \\
 Y_5 = X_{15} & \\
 Y_6 = X_{16} & \\
 Y_5 = X_{17} & \\
 Y_7 = X_{18} & \\
 Y_8 = X_{19} & Y_8 = SB_2 \\
 Y_8 = X_{20} & \\
 Y_1 = X_7 \bullet X_{15} \bullet X_{20} & ; Y_5 = X_7 \bullet X_{15} \bullet X_{20}
 \end{array} \right.
 \end{array}$$

Aquí, SC_{FIN} es el sistema de control final. Nótese que las modificaciones reales del SC_{PRE} fueron por anexión; es decir, por la introducción de los requerimientos R_E relacionados con el sensado bandera.

5.12.2 El CBOR funcional del sistema productivo sincronizado

La tabla 5.16 muestra el código binario funcional relacionado con el proceso de ACOSA:

Matriz de Código Binario Operacional Referencial

Matriz tiempo - Sensado

Matriz Tiempo - Maquinaria

T/M	Sincronización														Recorrido de ida								T/M				
	Sensado de ida														Bandera		Maquinaria										
	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	Tmr	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5		Y6	Y7	Y8	
	S0'	S1'	S2'	S3'	S4'	S5'	S6'	S7'	S8'	S1''	S2''	S3''	S4''	S5''	SB1	SB2	T1	Ac4	Ac5	Ac6	M3	Ac7	Ac8	M4	Ac9		
Ck0	1/0																									Ck0	
T1																		+1									T1
T2																		+1									T2
Ck1		1/0																									Ck1
Ck2			1/0																								Ck2
T3																		-1	+1								T3
T4																		-1	+1								T4
Ck3				1/0																							Ck3
T5																		-1	-1	+1							T5
T6																		-1	-1	+1							T6
T7																		-1	-1	+1							T7
Ck4																											Ck4
T8																			-1	+1							T8
Ck5																											Ck5
Ck14																											Ck14
T9																											T9
T10																											T10
T11																											T11
Ck6																											Ck6
T12																											T12
T13																											T13
T14																											T14
T15																											T15
T16																											T16
T17																											T17
T18																											T18
T19																											T19
T20																											T20
T21																											T21
T22																											T22
T23																											T23
T24																											T24
T25																											T25
T26																											T26
T27																											T27
T28																											T28
T29																											T29
T30																											T30
T31																											T31
T32																											T32
T33																											T33
T34																											T34
T35																											T35
T36																											T36
T37																											T37
T38																											T38
T39																											T39
T40																											T40
T41																											T41
T42																											T42
T43																											T43
T44																											T44
T45																											T45
Ck16																											Ck16
T46																											T46
Ck7																											Ck7
T47																											T47
T48																											T48
Ck8																											Ck8
Ck0'																											Ck0'
T49																											T49
T50																											T50
Ck1'																											Ck1'
Ck2'																											Ck2'
T51																											T51
T52																											T52
Ck3'																											Ck3'
T53																											T53

CONCLUSIONES

En este trabajo de tesis fueron cumplidos los objetivos siguientes:

- Se aplicó el Método del Código Binario Operacional Referencial para sincronizar globalmente dos módulos de producción de la Empresa ACOSA.
- Fue aplicado el Método del Vórtice para sincronizar localmente tres módulos de producción de la empresa ACOSA.

En este trabajo se sincronizó local y globalmente una línea de producción serial-simultánea compuesta por tres módulos. La línea de producción modelada pertenece a la empresa ACOSA. Para el proceso de sincronización local se usó el método del vórtice y para el proceso de sincronización global se utilizó el CBOR. Los resultados obtenidos se resumen en los puntos siguientes:

- La aplicación del método del vórtice en la sincronización local de los tres módulos de producción de la empresa ACOSA fue funcional para los propósitos encomendados; es decir, la aplicación paso a paso permitió con facilidad sincronizar los módulos y con ello se muestra que el método puede ser usado para cualesquier configuración de las líneas de producción, puesto que se basa en módulos.
- La aplicación del CBOR para sincronizar dos módulos de la línea de ACOSA fue también funcional, pues permite simplificar los procedimientos realizados para diseñar el control de operaciones sobre una base lógica de los dominios operacionales. El CBOR es un código que muestra la sincronización ideal, sin embargo, en los procesos y operaciones industriales las máquinas no trabajan en forma perfecta lo que hace que el control sea a base de sensores y, en consecuencia, los tiempos son solo aproximados

- El CBOR y el método del vórtice se complementan, pues la sincronización global utiliza los resultados de la sincronización local para diseñar el sistema de control.
- Es posible concluir que los métodos del vórtice y el CBOR son consistentes y pueden ser aplicados para analizar y modelar la sincronización de sistemas productivos reales.

Futuros trabajos por desarrollar relacionados con esta tesis son los siguientes:

- Programación del CBOR en Visual Basic.
- Sincronización local de la celda FESTO..
- El CBOR con TpU real.
- Análisis de trayectoria.

Referencias

- [1] 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
- [2] García D. Planeación operacional de una celda de manufactura didáctica. México. 2003. (Tesis de Maestría en Ingeniería Mecánica). UNAM, Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado, Sección Mecánica.
- [3] Hito O. Sincronización local usando el método del vórtice, de la línea MIDCOM INC. 2005 (Por presentarse). (Tesis de Maestría en Ingeniería Mecánica) UNAM, Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado, Sección Mecánica.
- [4] Mercado M. Sincronización global de la línea MIDCOM usando un CBOR. (Por presentarse). (Tesis de Maestría en Ingeniería Mecánica). UNAM, Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado, Sección Mecánica.
- [5] Jiménez E., Reyes A., González L., Hito O. Mercado F. Sincronización Local de una Línea de Producción Industrial. SOMIM 2004, Querétaro. México.
- [6] Jiménez E. Simulación de un proceso de manufactura con obstáculo en la línea de producción. México. 1998. (Tesis de Maestría en Ingeniería Mecánica). UNAM, Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado, Sección Mecánica.
- [7] Jiménez E., Reyes A., García D., González L., González I., Campos A., Barbosa Sincronización local de una celda de manufactura didáctica usando en método del vórtice. SOMIM. 2003 Veracruz Ver., México
- [8] García D. Planeación operacional de una celda de manufactura didáctica. México. 2003. (Tesis de Maestría en Ingeniería Mecánica). UNAM, Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado, Sección Mecánica.

- [9] Jiménez E., Reyes A., González J., Mercado F., Pérez A., García T. Control de una línea de producción usando un código binario de procesos. SOMIM 2002, Monterrey. México.
- [10] Jiménez E., Reyes A., Tapia E., Peón R., Galindo F., Pérez A. Distribución de sensores sobre una línea de producción serial y sincronización usando el método del vórtice. SOMIM 2002, Monterrey. México.
- [11] Gi Bum Lee ; Han Zandong ; Jin S. Lee Automatic generation of ladder diagram with control Petri Net. México. 2004. *Journal of Intelligent Manufacturing*. Volume: 15 Number: 2 Page: 245 -- 252.
- [12] Z. Wang; Q. Wu ; T. Chai Optimal-setting control for complicated industrial processes and its application study. 2004. *Control Engineering Practice*. Volume: 12 Number: 1 Page: 65 -- 74
- [13] Castillo, L., Fernández, J.,González, A. Automatic Generation of Control Secuences for Manufacturing Systems Based on Partial Order Planning Techniques. *Artificial Intelligence in Engineering*. (2000) Vol 14. p.p 15-30.
- [14] Hu, W. Starr, A., Leung, T. Two diagnostic models for PLC controlled flexible manufacturing systems. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*.(199) Vol. 39 p.p 1979-1991
- [15] W. Hu, A. Starr, T. Leung. Operational fault diagnosis of manufacturing systems. *Journal of Materials Processing Technology*. (2002) 5808. p.p 1-10
- [16] Pascalín T., Le P., Marchand H., Rutten E. The Signal data flow methology applied to a production cell (1995). INRIA, Rapport de Recherche N0 2522, France.
- [17] Jiménez E., Cota A. Reyes L., Galindo F. Folleto interno de divulgación. Sobre un

método de sincronización local: el caso ACOSA. (2005). Universidad la Salle Noroeste. ISBN en trámite

- [18] Cohen M., Nagel E. Introducción a la lógica y al método científico: Lógica aplicada y método científico II. (1961). Harcour, Brace World Inc., Argentina.