

# Traducción de una red de Petri a diagrama de escalera de un sistema de producción

Luis H. Rivera Cambero\*, Luis I. Aguirre Salas\*\*, Alejandra Santoyo Sánchez\*\*\*, Salvador González Palomares\*\*\*\*

\* ITS de La Huerta, Rafael Palomera no. 161, C.P. 48850, La Huerta, Jalisco.  
(Teléfono: 357-3841884; luis.rivera@itslahuerta.edu.mx)

\*\* U. de G., CUCSur, Av. Independencia N. no. 151, C.P. 48900, Autlán de Navarro, Jalisco, México.  
(Teléfono: (317)-382-5010; laguirre@cucsur.udg.mx)

\*\*\* U. de G., CUCEI Blvd. M. García Barragán no. 1421, C.P. 44430, Guadalajara, Jalisco, México.  
(Teléfono: (33)-1378-5900; alejandra.santoyo@cucei.udg.mx)

\*\*\*\* Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología, López Cotilla 1505, C.P. 44140 Guadalajara, Jalisco, México  
(Teléfono: (33) 35-85-65-99; salvador.gonzalez@coecytjal.org.mx)

**Resumen**— El artículo describe la aplicación de una metodología para traducir redes Petri interpretadas (RPI) a diagramas de escalera (LD), para implementarse en un Controlador Lógico Programable (PLC), con el objeto de controlar un proceso de embotellado de agua purificada. Se realizaron simulaciones empleando software disponible, tanto para RdP como para LD para validar la metodología propuesta.

**Palabras clave:** Rede de Petri, diagrama de escalera, sistema de eventos discretos, controlador lógico programable

## I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día los Controladores Lógicos Programables (PLC) aún se utilizan en la automatización industrial (Gomaa, 2011; Venkateswaran *et. al.*, 2009). Controlan sistemas de manufactura de diversos tamaños que van desde estaciones de trabajo individuales hasta sistemas complejos de producción. Por otra parte, se prefieren los PLC como controladores porque pueden reprogramarse para cumplir con los requisitos de producción a bajo costo de casi cualquier planta. La construcción y funcionamiento del PLC se estudia en la literatura (Fabian, 1998; Frey, 2000; Moreira *et. al.*, 2009), sus características han mejorado por los avances tecnológicos.

Algunos procesos industriales se clasifican como sistemas de eventos discretos (DES), que operan o supervisan con controladores de eventos discretos (DEC) (Uzam and Jones, 1998). El PLC se implementa como controlador de DES a nivel industrial, sin embargo, el desarrollo del algoritmo de control se realiza con métodos heurísticos carentes de formalismo, donde la experiencia del desarrollador es clave fundamental para obtener la solución (Uzam *et. al.*, 1996).

La programación del PLC se puede realizar mediante varios lenguajes como: diagramas de escalera (LD), diagrama funcional de secuencias basado en Grafset (SFC), lista de instrucciones (IL), entre otros, todos ellos están estandarizados en la norma IEC 1131 (Uzam and Jones, 1998). De esta lista, los LD es el lenguaje de programación más utilizado, ya que representa el comportamiento deseado del controlador de una manera gráfica y sencilla. Sin

embargo, el desarrollo del programa es una tarea difícil cuando las especificaciones del proceso de producción aumentan en complejidad incluyendo las actividades concurrentes, así como la depuración y validación (Foyo *et. al.*, 2010; Wu *et. al.*, 2002).

La descripción del controlador se expresa con Redes de Petri Interpretadas (RPI) (Moreira *et. al.*, 2009; Rivera *et. al.*, 2012), una extensión de las redes de Petri (RdP), por lo que las técnicas de análisis desarrolladas para RdP (Silva, 1985; Murata, 1989; Desel and Esparza, 1995) se pueden utilizar para la verificación de las propiedades cualitativas tales como, vivacidad, acotación, bloqueo, etc. Por otra parte, las RPI incluyen señales de entrada y de salida de los sistemas, por lo que capturan la relación entre el PLC y su entorno (Aguirre *et. al.*, 2001).

La metodología propuesta para la traducción de RPI en LD permite la síntesis de LD que incluye relés, bobinas, temporizadores, contadores, entre otros (Jiménez *et. al.*, 2001). Al utilizar este esquema, se puede diseñar y analizar las estrategias de control con base en el formalismo de las RPI y traducirlo en un LD para implementar en un PLC como controlador (Murillo, 2008).

El artículo se organiza de la siguiente manera: la sección II presenta las definiciones básicas de RPI y muestra cómo se pueden utilizar para modelar el comportamiento de un sistema de producción por último, en la sección III se presenta la metodología para traducir la RdP en LD.

## II. DEFINICIONES BÁSICAS

En esta sección se presentan las definiciones formales de las RdP y de las RPI, así como los conceptos asociados a las mismas que serán utilizados en el trabajo. Para un estudio más detallado de las RdP se puede consultar (Murata, 1989; Desel and Esparza, 1995; Aguirre, 2002).

### A. Redes de Petri

**Definición 1:** Una red de Petri (RdP) es

- Un grafo  $G = (L, T, E, S)$  donde  $L = \{l_1, l_2, \dots, l_n\}$  es un conjunto finito de  $n$  nodos llamados lugares representados gráficamente mediante círculos,  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$  es el conjunto finito de  $m$  nodos

llamados transiciones representados mediante barras,  $E: L \times T \rightarrow \mathbb{N}$  es la función de entrada que representa los arcos que van de los lugares hacia las transiciones,  $S: L \times T \rightarrow \mathbb{N}$  es la función de salida que representa los arcos que van de las transiciones hacia los lugares.

- Una función de marcado,  $M: L \rightarrow \mathbb{N}$ , la cual asigna a cada lugar un número dado de elementos llamados marcas, representadas por puntos dentro de los lugares.
- Un marcado inicial  $M_0$  el cual es una asignación arbitraria de marcas en el momento inicial.

El grafo de una RdP representa su estructura, mientras que el marcado es su estado en un momento dado. El grafo de una RdP puede ser representado mediante su matriz de incidencia  $C = [c_{ij}]_{n \times m}$ , donde  $c_{ij} = S(l_i, t_j) - E(l_i, t_j)$ . Sea  $G$  una RdP y sea  $x$  un nodo de la red, entonces  $\bullet(x) = \{y \mid \text{existe un arco de } y \text{ a } x\}$  y  $(x)\bullet = \{y \mid \text{existe un arco de } x \text{ a } y\}$  son los conjuntos de predecesores y sucesores del nodo  $x$ , respectivamente.

El cambio de un estado a otro se conoce como evolución de la red y tiene lugar al dispararse una transición habilitada, es decir al ocurrir un evento. Una transición  $t_j$  está habilitada si  $\forall l_i \in L$ , se cumple que  $M(l_i) \geq E(l_i, t_j)$ . El conjunto de transiciones habilitadas en un marcado  $M_k$  es  $E(M_k)$ . Si una transición habilitada  $t_j$  es disparada en un marcado  $M_k$  entonces se alcanza el nuevo marcado  $M_{k+1}$  el cual puede ser calculado mediante la ecuación  $M_{k+1} = M_k + C\bar{v}_k$  donde  $\bar{v}_k$  es el vector de disparo de la transición  $t_j$  definido como  $\bar{v}_k(i) = 1$  si  $i = j$  y  $\bar{v}_k(i) = 0$ , en otro caso (Desel and Esparza, 1995).

### B. Redes de Petri Interpretadas

En particular, en este trabajo se abordan las redes de Petri interpretadas, las cuales extienden a las RdP al añadir señales de entrada y salida a los nodos de la red, así permite dar una interpretación física al modelo (Meda *et. al.*, 1998; Aguirre *et. al.*, 2002; Rivera *et. al.*, 2000).

**Definición 2:** Una red de Petri Interpretada (RPI) es

- Una red de Petri  $N = (G, M_0)$
- Un alfabeto de entrada  $\Sigma = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$
- Un alfabeto de salida  $\Phi = \{\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n\}$
- Una función  $\lambda: T \rightarrow \Sigma \cup \{\varepsilon\}$  que asigna un símbolo de entrada o el símbolo nulo a cada transición de la red
- Una función  $\zeta: P \rightarrow \Phi \cup \{\varepsilon\}$  que asigna un símbolo de salida o el símbolo nulo a cada lugar de la red
- Una función  $\varphi: R(N, M_0) \rightarrow [\mathbb{N}]^q$  que asigna un símbolo de salida a cada marcado alcanzable de la red, donde  $q$  es el número de lugares que tienen asignada la señal de un sensor (ver más adelante).

El alfabeto de entrada  $\Sigma$  puede verse como las señales de los actuadores asignadas a las transiciones mediante la función  $\lambda$ ; igualmente, el alfabeto  $\Phi$  puede verse como las señales de los sensores asignados a los lugares mediante la función  $\zeta$ . Por otro lado, la función  $\Phi$  puede ser vista como una proyección natural de los marcados alcanzables sobre los

lugares que tienen asignado sensor. En este contexto surgen las siguientes definiciones.

Cambiar de un marcado a otro al disparar una transición habilitada se denota como  $M_k \xrightarrow{t_j} M_{k+1}$ . Una secuencia de disparos es una secuencia  $\sigma = t_i t_j \dots t_k$  tal que  $M_0 \xrightarrow{t_i} M_1 \xrightarrow{t_j} \dots \xrightarrow{t_k} M_k$  o simplemente  $M_0 \xrightarrow{\sigma} M_k$ . El conjunto  $R(N, M_0) = \{M_k \mid M_0 \xrightarrow{\sigma} M_k\}$  es llamado conjunto de alcanzabilidad y contiene todos los marcados que se pueden visitar desde  $M_0$ .

Una red es b-acotada si  $\forall M_k \in R(N, M_0)$  se tiene que  $\forall l \in LM_k(l) \leq b$ , donde  $b \in \mathbb{N}$ . Si  $b=1$  entonces se dice que la red es binaria porque sus lugares sólo pueden tener cero o una marca en cualquier marcado alcanzable.

**Definición 3:** Una transición  $t_i$  es llamada controlada si  $\lambda(t_i) \neq \varepsilon$  en otro caso es llamada no controlada. Un lugar  $l_i \in L$  es llamado medido si tiene asignada la señal de un sensor; en caso contrario es llamado no medido. Los conjuntos de transiciones controladas y no controladas son  $T_c$  y  $T_u$ , respectivamente; y de igual forma, los conjuntos de lugares medidos y no medidos son  $L_m$  y  $L_n$ . Note que  $T = T_c \cup T_u$ ,  $L = L_m \cup L_n$  y que  $T_c \cap T_u = \emptyset$ ,  $L_m \cap L_n = \emptyset$ . Es decir, todas las transiciones (lugares) son controladas (medidos) o no controladas (no medidos), pero no ambos. Una RPI evoluciona de la misma forma que una RdP, sólo que las transiciones no manipuladas pueden o no ocurrir si están habilitadas; mientras que las transiciones manipuladas deben ocurrir si están habilitadas y su señal de control correspondiente está presente.

**Ejemplo 4:** Considere la RPI de la figura 1, donde los conjuntos de lugares y transiciones son  $L = \{l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7, l_8\}$  y  $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5\}$ . La matriz de incidencia del grafo de la red está dada por

$$C = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Se tiene, por ejemplo que los lugares de entrada y de salida de la transición  $t_3$  son  $\bullet(t_3) = \{l_2\}$  y  $(t_3)\bullet = \{l_5, l_6\}$ . La función  $\lambda$  está dada por  $\lambda(t_1) = a$ ,  $\lambda(t_3) = b$ ,  $\lambda(t_5) = c$ ,

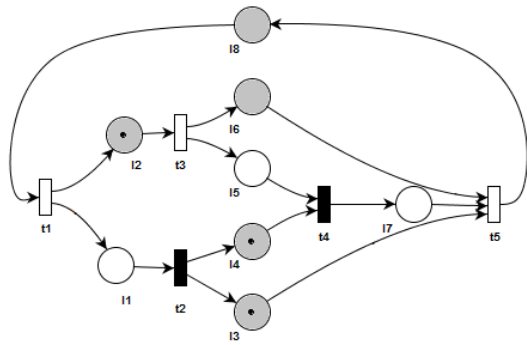


Figura 1. Una red de Petri interpretada

$\lambda(t_2) = \lambda(t_4) = \varepsilon$ . Por lo que,  $T_c = \{t_1, t_3, t_5\}$  y  $T_u = \{t_2, t_4\}$ . Note que las transiciones controladas y no controladas están representadas como barras blancas y negras, respectivamente. La función de salida  $\varphi$  está dada por la matriz

$$\varphi = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Por lo que,  $L_m = \{l_1, l_5, l_7\}$  son los lugares medidos y  $L_n = \{l_2, l_3, l_4, l_6, l_8\}$  son los lugares no medidos, representados en blanco y gris, respectivamente. El marcado inicial es  $M_0 = [01110000]^T$  donde, por ejemplo,  $M_0(l_2) = 1$ . En este caso, las transiciones habilitadas en  $M_0$  son  $E(M_0) = \{t_3\}$ , porque  $M_0(l_2) = 1 \geq E(l_2, t_3) = 1$ . En cambio, la transición  $t_4$  no está habilitada porque  $M_0(l_4) = 1 \geq E(l_4, t_4) = 1$  pero  $M_0(l_5) = 0 \geq E(l_5, t_4) = 1$ . La transición  $t_3$  debe dispararse cuando se presente la señal  $\lambda(t_3) = b$ . Si esto ocurre, se removerá una marca del lugar de entrada  ${}^*(t_3) = \{l_2\}$  y se pondrá una marca en cada lugar de salida  $(t_3)^* = \{l_5, l_6\}$ . Así el marcado alcanzado al disparar  $t_3$  es  $M_1 = [00111100]^T$ . Si se analiza toda la evolución de esta red es posible determinar que se trata de una red binaria.

### III. TRADUCCIÓN DE RED DE PETRI A DIAGRAMA DE ESCALERA

Partiendo del proceso de la figura 2, se analiza su comportamiento y se obtiene la RdP (figura 5) de la tabla de restricciones detallada en (Rivera *et. al*, 2012) utilizando la metodología para el diseño del controlador propuesta por (Moody and Antsaklis, 1999; Giua and Seatzu, 2001). Para propósitos de simulación y validación de las traducciones se utilizó el programa TLP LogixPro Simulator, versión 1.61 de Rockwell Automation. La metodología propuesta para la traducción a LD se desglosa a continuación:

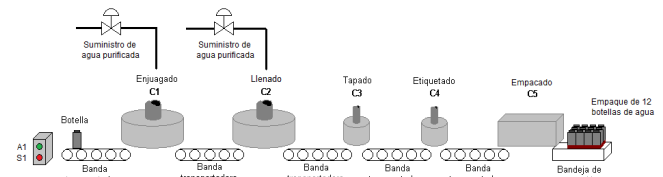


Figura 2. Esquema del proceso del embotellado de agua purificada

#### A. Marcado inicial de lugares binarios

En la RdP de la planta con controlador existen lugares binarios, como los lugares  $l_1, l_2, \dots, l_{10}$ , que corresponden a las bandas transportadoras B1, B2, B3, B4 y B5, el marcado inicial es  $M_{B0} = [0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1]^T$ . Aplicando la regla de la figura 3 (Jiménez *et. al*, 2001), se analizan las instrucciones utilizadas, para eliminar marcas de un lugar binario con un reset (R) y para colocar un set (S) y en el LD obtenido se eliminan marcas con unlatch (U) y se colocan con latch (L). En la figura 4 se muestra una sección del marcado inicial de las bandas transportadoras en LD.



Figura 3. Marcado inicial



Figura 4. Marcado inicial de los lugares  $l_1, l_2, l_3$  y  $l_4$

#### B. Marcado inicial de lugares no binarios

Para convertir los lugares no binarios se aplica la regla de la figura 6 (Jiménez *et. al*, 2001). Los lugares del controlador  $c_1, c_2, \dots, c_{11}$  de la RdP de la planta son lugares no binarios puesto que el marcado inicial del controlador es  $M_{c0} = [5 \ 12 \ 15 \ 12 \ 15 \ 5 \ 15 \ 4 \ 12 \ 1 \ 1]^T$ . Al aplicar la regla de conversión se obtiene el LD de la figura 7 y se observa en el marcado inicial que a cada lugar se le asigna un contador ascendente/descendente. Los lugares  $l_{31}, l_{32}, \dots, l_{41}$  deben recibir las marcas del controlador, también se les asignan contadores. En la figura 8, se muestra el lugar no binario de la transición 50, se agregó un latch (L) en paralelo que deshabilita la transición para evitar el desbordamiento de los contadores.

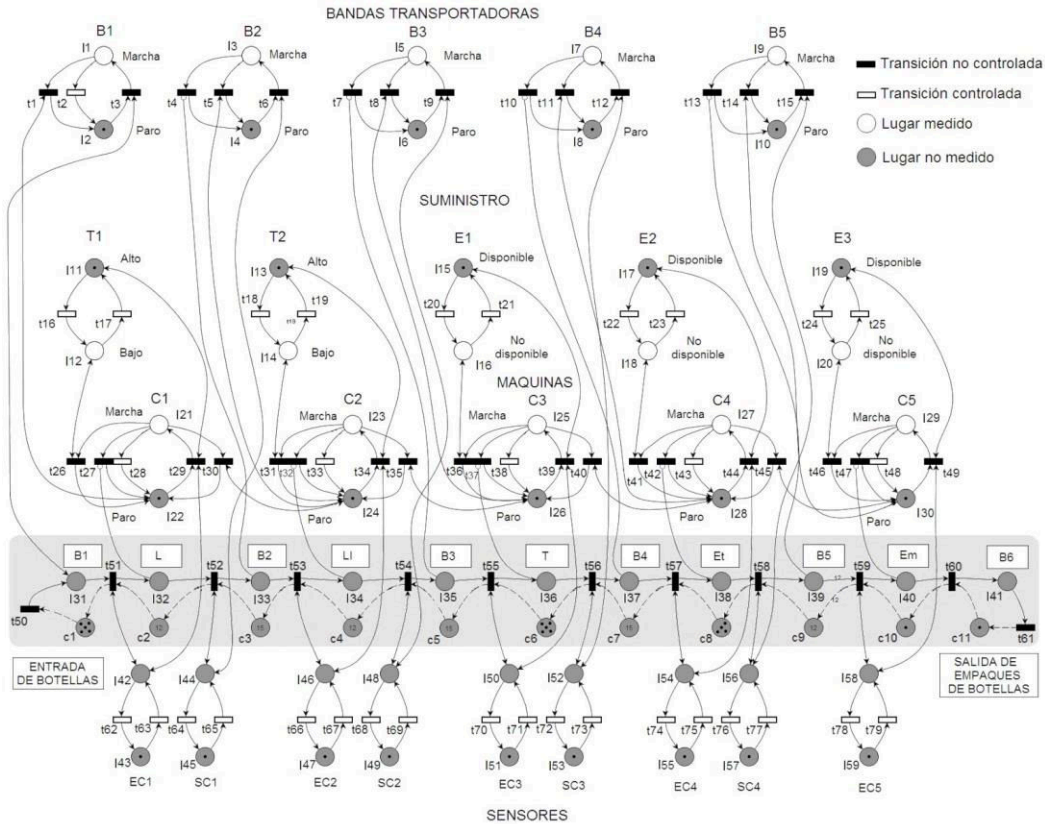


Figura 5. Red de Petri del proceso de embotellado de agua purificada

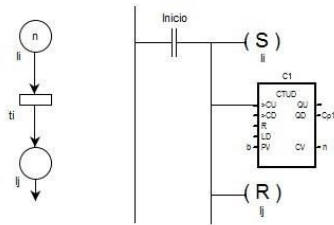


Figura 6. Marcado inicial de lugares no binarios

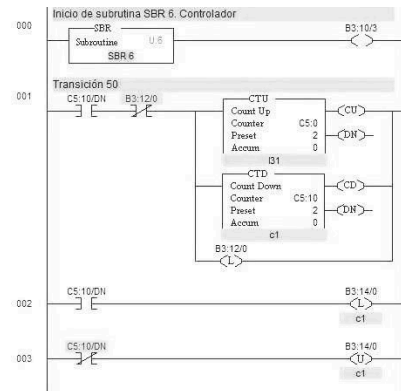


Figura 8. Lugares no binarios  $l_{31}$  y  $c_1$

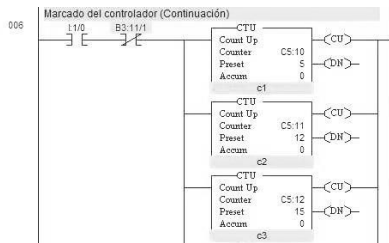


Figura 7. Marcado inicial de los lugares  $c_1, c_2$  y  $c_3$

### C. Disparo de transiciones

Para la traducción mostrada en la figura 9 (Jiménez *et. al*, 2001), se analiza que para dispararse la transición  $t_5$  debe existir una marca en  $l_5$ . Bajo el principio anterior, se observa en el LD que la transición  $t_5$  se habilita al cerrarse el contacto normalmente abierto, correspondiente al marcado del lugar  $l_5$ , retirando su marca y colocándola en  $l_8$ . En la figura 10 (Jiménez *et. al*, 2001) se observa una transición con lugares no binarios. En la figura 11 se tiene la transición  $t_1$  de la RdP.

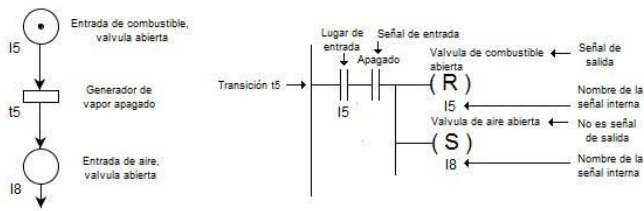


Figura 9. Representación de una transición en LD

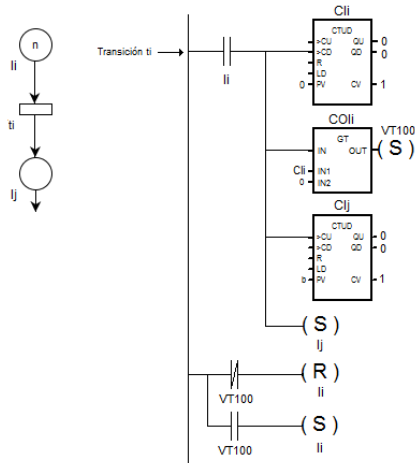


Figura 10. Transición con dos lugares no binarios

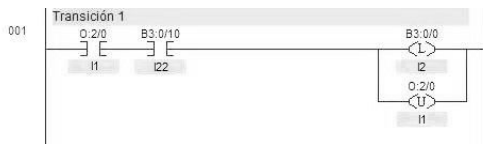


Figura 11. Transición 1

#### D. Arcos inhibidores

Corresponde a los arcos que habilitan una transición en ausencia de marcado en un lugar (ver figura 12) (Wu *et. al*, 2001). En LD, estos se representan como un contacto normalmente cerrado (I/I) en el escalón correspondiente a la transición que habilita, como se muestra la instrucción en la figura 13 etiquetada como C5:1/DN que corresponde al registro DN del lugar no binario  $l_{32}$  etiquetado como el contador C5:1.

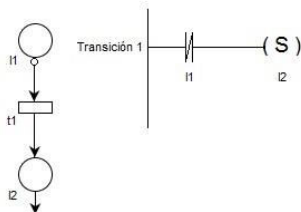


Figura 12. Conversión de un arco inhibidor a LD.



Figura 13. Arco inhibidor

#### E. Arcos bidireccionales

Es un par de arcos que van desde un lugar hacia una transición y de ésta hacia el mismo lugar. En LD se implementa con un contacto normalmente abierto como se analiza en la figura 14 en la instrucción etiquetada como B3:0/10.

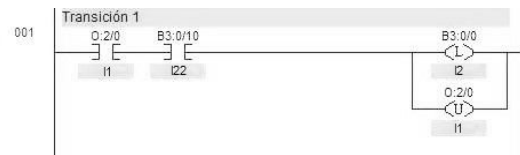


Figura 14. Arco bidireccional en LD.

#### F. Arcos con peso > 1

Se utilizan para retirar marcas de un lugar según su peso. En la figura 15 el lugar  $l_1$  tiene 2 marcas, al dispararse la transición  $t_1$  se retiran 2 marcas de  $l_1$  y se colocan en  $l_2$ . La RdP de la planta (figura 5) tiene un arco con peso 12 en el lugar  $l_{39}$  que va a la transición  $t_{59}$ , se representa en LD en la figura 16, donde se observa la instrucción de comparación mayor que (GRT), utilizada para habilitar la transición  $t_{59}$  cuando el registro C5:8.ACC tiene un valor mayor a 11; la instrucción resta (SUB) elimina las 12 marcas al lugar  $l_{39}$  (contador C5:8) y la instrucción suma (ADD) agrega 12 marcas en el lugar  $c_9$  (contador C5:18). Se realizaron adaptaciones a las instrucciones en esta transición debido a que en el programa SpADES (Specification Analysis System Discrete Events) propuesto en (Jiménez *et. al*, 2001) en LD no se adaptan al programa como se observa la adaptación en las figuras 15 y 16.

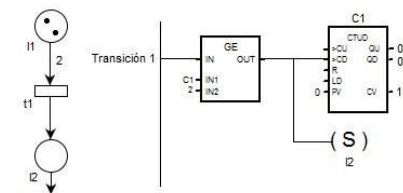


Figura 15. Arco con peso 2

La tabla 1 detalla la información del bloque de suministros de la planta. Muestra los lugares y transiciones que corresponden en RdP a LD con sus respectivas etiquetas, esta tabla es necesaria para identificar las instrucciones.

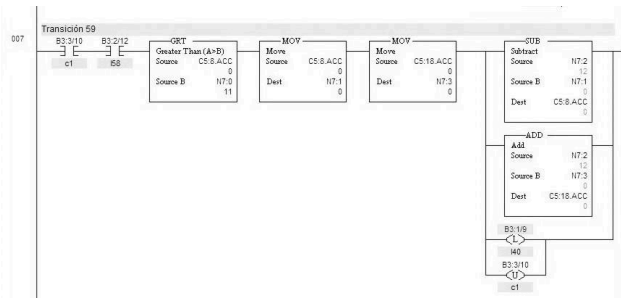


Figura 16. Arco con peso 12

TABLA I  
Traducción de transiciones y lugares del bloque

Suministro	T	Lugares en RdP		Transición LD	Lugares en LD	
		$\bullet t_i$	$t_i \bullet$		Etiqueta	Instr.
T1	$t_{16}$	$l_{11}$	$l_{12}$	001	I:1/1	] / [
	$t_{17}$	$l_{12}$	$l_{11}$	002	I:1/2	] [
T2	$t_{18}$	$l_{13}$	$l_{14}$	003	I:1/3	] / [
	$t_{19}$	$l_{14}$	$l_{13}$	004	I:1/4	] [
E1	$t_{20}$	$l_{15}$	$l_{16}$	005	I:1/5	] [
	$t_{21}$	$l_{16}$	$l_{15}$	006		] / [
E2	$t_{22}$	$l_{17}$	$l_{18}$	007	I:1/6	] [
	$t_{23}$	$l_{18}$	$l_{17}$	008		] / [
E3	$t_{24}$	$l_{19}$	$l_{20}$	009	I:1/7	] [
	$t_{25}$	$l_{20}$	$l_{19}$	010		] / [

#### IV. CONCLUSIONES

La metodología presentada en el artículo define las instrucciones en LD que corresponden a lugares y transiciones de una RPI incluyendo sus propiedades para analizar sistemas de eventos discretos, además optimiza el LD. Se validó el diagrama de escalera en el programa TLP LogixPro Simulator observando la evolución del marcado en la activación y desactivación de los latch ( S ) y unlatch ( R ) así como en los contadores. Las ventajas de la metodología son la inclusión de bloques que detallan las propiedades de la RPI y la traslación a LD, algunos de estos bloques fueron incluidos y validados con el programa SpADES versión 1.0 propuesto por (Jiménez *et. al*, 2001).

#### V. AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico Superior de La Huerta y al Centro Universitario de la Costa Sur por el apoyo otorgado para la realización de esta investigación.

#### REFERENCIAS

- Aguirre, L., Begovich, O., Ramírez, A. (2002). Observability in Interpreted Petri Nets using Sequence Invariants. Proc. of the 41st IEEE Conference on Decision and Control, USA, pp. 3602-3607.
- Desel, J. and J. Esparza (1995). Free Choice Petri Nets. Cambridge University Press.
- Fabian, M., Hellgren, A. (1998). PLC-Based Implementation of Supervisory Control for Discrete Event Systems. 37th IEEE Conference on Decision and Control, Tampa, Florida, USA.
- Foyo, S., Puga, E., Hernández, E. (2010). Modelado y Control de una Celda Automatizada de Manufactura Flexible basado en Redes de Petri. Congreso AMCA 2010, Puerto Vallarta, Jalisco, México.
- Frey, G. (2000). Automatic Implementation of Petri Net Based Control Algorithms on PLC. Proceedings of the American Control Conference ACC 2000, Chicago, USA, pp. 2819-2823.
- Giua, A., Seatzu, C. (2001). Design of observers/controllers for discrete event systems using Petri nets. Synthesis and Control of Discrete Event Systems, B. Caillaud, X. Xie, Ph. Darondeau and L. Lavagno (Eds.), Kluwer, pp. 167-182.
- Gomaa, M. (2011). Petri Net to Ladder Logic Diagram Converter and a Batch Process Simulation. Asian Research Publishing Network (ARPN) Journal Engineering and Applied Sciences, Vol. 6, pp. 67-72.
- Jiménez, L, E. López, A. Ramírez (2001). Synthesis of Ladder Diagrams from Petri Nets Controller Models. Proc. of the IEEE, International Symposium on Intelligent Control, pp. 225 – 230, México.
- Meda, M.E., A. Ramírez, A. Malo (1998). Identification in discrete event systems. Proc. of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp. 740-745.
- Moreira, M., Botelho, D., Basilio, J. (2009). Ladder Diagram Implementation of Control Interpreted Petri Nets: A State Equation Approach. IFAC Discrete-Event System Design, Gandia Beach, Spain, pp. 85-90.
- Moody, J., Antsaklis P. (1999). Petri Net Supervisors for DES with Uncontrollable and Unobservable Transitions. Technical Report of the ISIS Group at the University of Notre Dame ISIS-99-004.
- Murata, T. (1989). Petri Nets: Properties, Analysis and Applications. Proceedings of the IEEE, Vol. 77, No. 4, pp. 541-580.
- Murillo, L. (2008). Redes de Petri: Modelado e Implementación de Algoritmos para Automatas Programables. Tecnología en Marcha, Vol. 21, No. 4, pp. 102-125.
- Rivera L., Aguirre, L., Santoyo, A. (2012). Diseño de un Controlador Automático en Redes de Petri para un Proceso de Producción. Congreso Nacional de Control Automático 2012, Cd. del Carmen, Campeche, México, pp. 101-106.
- Rivera, R. I., L. Aguirre, A. Ramírez, E. López (2000). Observer Design for Discrete Event Systems Modeled by Interpreted Petri Nets.. In IEEE Conference on Decision and Control, Sydney, Australia, pp. 2260-2265.
- Silva, M. (1985). Petri Nets on Automatics and Data Processing. Madrid, Spain: AC Ed.
- Uzam, M., Jones, A. (1998). Discrete Event Control System Design Using Automation Petri Nets and their Ladder Diagram Implementation. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 14, No. 10, pp. 716-728.
- Uzam, M., Jones, A., Ajlouni, N. (1996). Conversion of Petri Net Controllers for Manufacturing Systems into Ladder Logic Diagrams. IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, EFTA '96 (Volume:2 ), Kauai, HI, pp. 649-655.
- Venkateswaran, P., Bhat, J. Meenatchisundaram S. (2009). Formalism for Fuzzy Automation Petri Nets to Ladder Logic Diagrams. Asian Research Publishing Network (ARPN) Journal Engineering and Applied Sciences, Vol. 4, No. 10, pp. 83-92.
- Wu, W., Su, H., Hu, J. Chu, J. Zhai, H. Wu, H. (2001). Petri Net Controller Synthesis for Discrete Event Systems Using Weighted Inhibitor Arc. IEEE International Conference on Robotics & Automation, Seoul, Korea, pp. 3582-3587.
- Wu, W., Su, H., Hu, J. Chu, (2002). Supervisory Control of Discrete Event Systems Using Enabling Arc Petri Nets. IEEE International Conference on Robotics & Automation, USA, pp. 1913-1918.