

## CONTROL DE UN SISTEMA ELECTRONEUMÁTICO DISEÑADO EN GRAFCET E IMPLEMENTADO EN LABVIEW USANDO EL PUERTO PARALELO DEL PC

### Control of a electropneumatic system designed by Grafcet and implemented in LabView using the parallel port

#### RESUMEN

Este artículo muestra como el control de un proceso electro neumático modelado en Grafcet puede ser implementado usando biestables en el software Labview.

**PALABRAS CLAVES:** Labview, Grafcet, biestable,

#### ABSTRACT

*This article show the electro pneumatic process modeled in Grafcet. That model, could be implemented using flip-flops with the Labview software.*

**KEYWORDS:** Labview, Grafcet, flip\_flops.

**JOSÉ AGUSTÍN MURIEL ESCOBAR**

Ingeniero Mecánico U.T.P,  
Instructor Sena Industria.  
Dosquebradas  
jamuriel@sena.edu.co

**MARCELA ARBELÁEZ BOTERO**

Ingeniera Electricista  
Profesora Asistente  
Universidad Tecnológica de Pereira  
maboar@utp.edu.co

**RICARDO LEÓN SILVA CÁRDENAS**

Ingeniero Electricista  
Instructor Sena Industria  
Dosquebradas  
rsilva@sena.edu.co

## 1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día la automatización de los procesos industriales se convierte en una realidad para nuestras empresas, por tal razón se hace necesario contar con una herramienta metodológica para el diseño de automatismos con el fin de apoyar los procesos de formación técnica, al igual que en las empresas. Es así como el uso de técnicas de descripción, análisis, modelado y simulación de procesos industriales con base en las Redes de Petri (RdP) es el estado del arte de los sistemas de control automáticos.

El advenimiento de los sistemas informáticos, como de la Microelectrónica hacen que técnicas tan poderosas como las RdP se puedan combinar con técnicas inteligentes (redes neuronales, Fuzzy) para el modelamiento de sistemas industriales.

La implementación de un sistema de control automático realizado a través de las RdP en estos momentos se hace con la ayuda de los computadores, ya que la implementación en hardware es bastante compleja.

Existen técnicas no tan poderosas como las RdP respecto al modelado, análisis y simulación de procesos industriales, pero que igual de igual manera son herramientas de sistemáticas y su implementación en hardware y / o software es más sencillo que las RdP. Una de éstas herramientas es el Grafcet.

diseño de automatismos secuenciales con base en Grafcet (Gráfico Funcional de Comandos, Etapas y Transiciones) se hace de manera sistemática, ya que éste es un método de descripción funcional de sistemas (procesos) en el curso de su operación, al establecer una correspondencia secuencial (sucesión de etapas) entre las entradas (información) y las salidas (acciones), el cual sólo requiere del conocimiento del proceso que se quiere automatizar y las reglas básicas de la herramienta en la cual se va a implementar el diseño del automatismo (Grafcet).

Una de las ventajas del Grafcet es que, es un gráfico por medio del cual se puede plasmar la solución de un problema de lógica secuencial, de una manera ordenada y muy sencilla.

Una vez se tenga la solución al problema de automatización en Grafcet, se escoge la tecnología en la cual va a ser implementada dicha solución, siendo esta característica, una de las mayores ventajas del Grafcet, es decir, su independencia de la tecnología en el diseño de las soluciones de automatismos.

En este artículo no se pretende ahondar el Grafcet ni en la electrónica digital, solo mostrar una manera de implementar una solución dada en Grafcet en electrónica digital con base en Flip Flop. [5], [1]

## 2. CONTENIDO

### 2.1 Los Flip Flops, Biestables o Basculas

Los sistemas secuenciales [1]son la base de los sistemas de control automático y cuya característica principal, es que para una misma combinación de entrada, pueden aparecer diferentes estados de salida. Esto es debido a que el estado de las salidas depende del estado actual de las entradas y también de su estado anterior.

Esto quiere decir que los circuitos secuenciales deben tener cierta capacidad de memoria, puesto que tienen que actuar según estados de entrada anteriores y que, por tanto, ya no están presentes.

Los Biestables, también conocidos como Flip-Flops y basculas, son circuitos secuenciales elementales. Su función básica consiste en la memorización de informaciones binarias; mantienen la última información enviada, aunque ésta haya ya desaparecido.

Como su nombre indica, tiene dos estados estables; la salida se puede encontrar en forma estable en 0 o 1, según haya sido excitado.

**Biestado SR:** Es un Biestado sencillo y fundamental; constituye la mínima expresión de un sistema secuencial asíncrono[5]. También se puede considerar como una célula elemental de memoria (figura 1)

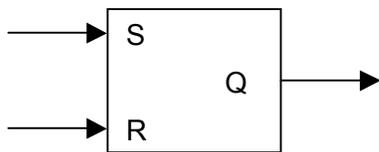


Figura 1. Célula elemental de memoria.

La tabla de verdad que expresa su funcionamiento es la siguiente: Tabla 1

S	R	Q <sub>n+1</sub>
0	0	Q <sub>n</sub>
0	1	0
1	0	1
1	1	X

Tabla 1. Tabla de verdad slip flop SR

Donde Q<sub>n</sub> y Q<sub>n+1</sub> son el estado actual y futuro de la salida del Biestado respectivamente.

La ecuación lógica que describe su funcionamiento es:

$$Q_{n+1} = S + Q_n * \bar{R} \quad (1)$$

### 2.2. Grafcet:

El gráfico secuencial de funciones (Grafcet) es un lenguaje gráfico que proporciona una representación en forma de diagrama las secuencias del programa [1]. En este se pueden representar selecciones alternativas de

secuencia y secuencias paralelas. Los elementos básicos son etapas y transiciones [2].

**Las Etapas** que representan cada uno de los estados del sistema. El símbolo para una etapa es un cuadrado con un número o una letra en su interior que la identifica.

**Etapa Inicial** aquella en que se posiciona el sistema al iniciarse por primera vez y se representa por un cuadrado con doble línea. (Figura 2)

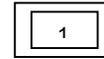


Figura 2. Etapa Inicial

**Las Líneas de Evolución** que unen entre sí las etapas que representan actividades consecutivas. Las líneas se entenderán siempre orientadas de arriba hacia abajo, a menos que se represente con una flecha en sentido contrario. (Figura 3)

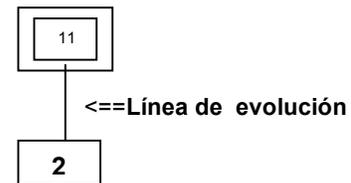


Figura 3. Línea de Evolución

**Las Transiciones** que representan las condiciones lógicas necesarias para que finalice la actividad de una etapa y se inicie la etapa o etapas inmediatamente consecutivas. Las transiciones se representan gráficamente por una línea cruzada sobre las líneas de evolución. (Figura 4)

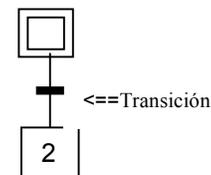


Figura 4. Etapa de Transición

**Los Reenvíos** son símbolos en forma de flecha que indican la procedencia o destino de las líneas de evolución. Las flechas de reenvío permiten fraccionar un gráfico o evitan dibujar líneas de evolución con excesivos cruces. (Figura 5)

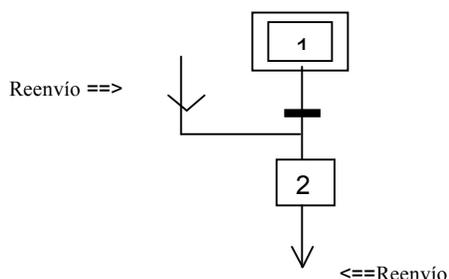


Figura 5. Etapa de Reenvío

Las acciones asociadas a cada etapa indican cual es la actividad a desarrollar cuando ésta se active. (Figura 6)

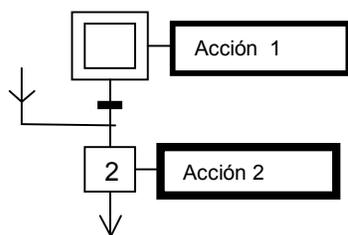


Figura 6. Cuadros de Acción

**2.3. Reglas de evolución del Grafcet:** Para interpretar la evolución temporal del Grafcet se han planteado una serie de reglas, las cuales se detallan a continuación [1].

**2.3.1. Regla 1: etapa inicial.**

La situación inicial del sistema se define por medio de una etapa inscrita en un doble cuadrado. Esta etapa siempre está activa en la iniciación del sistema y después su activación / desactivación depende de la evolución del mismo.

**2.3.2. Regla 2: Franqueo de una transición.**

El franqueo de una transición no se produce hasta que dicha transición sea validada y además su receptividad asociada sea verdadera (se verifique o cumpla). Se dice que una transición está validada cuando la etapa (o las etapas) precedente está activa.

**2.3.3. Regla 3: Evolución de las etapas activas.**

El franqueo de una etapa provoca simultáneamente

- La desactivación de la etapa (o de las etapas, en caso) anterior.

- La activación de la etapa (o de las etapas) siguiente.

**2.3.4. Regla 4: Activación / Desactivación de las etapas.**

En el curso de funcionamiento de un automatismo:

- Si una etapa debe ser simultáneamente activada y desactivada, dicha etapa permanecerá activada (prioridad a la activación).

- Una etapa no inicial se activará cuando esté activa la etapa anterior y se cumplan las condiciones de transición entre ambas.
- Cualquier etapa se desactivará cuando se cumplan las condiciones de transición a la siguiente etapa y dicha etapa se haya activado.

**2.4. Etapas del Grafcet y los Biestables**

Asociando cada etapa del Grafcet a un Biestable y atendiendo a las reglas evolución del mismo, se puede lograr una ecuación que describa el proceso de activación y desactivación de cada etapa del Grafcet.

La condición de activación de una etapa del Grafcet depende de que la etapa anterior esté activa (En-1) y que se cumpla la transición correspondiente (Tn-1).

Condición de Activación de la etapa En = En-1 \* Tn-1

La condición de desactivación es que la etapa siguiente esté activa.

Condición de desactivación de la etapa En = En+1.

En un Biestable SR, la condición de activación es S (set) y la condición de desactivación es R (reset), cada etapa del Grafcet también tiene su condición de activación En-1 \* Tn-1 y su condición de desactivación En+1. Reemplazando estas condiciones en la ecuación que caracteriza el funcionamiento de Biestable SR.

$$E_n = E_{n-1} * T_{n-1} + E_n * \overline{E_{n+1}} \quad (2)$$

La cual cumple con la regla de evolución del Grafcet que dice que para la activación de una etapa (En) se debe cumplir que la etapa anterior esté activa (En-1). También con la condición de desactivación que dice que una etapa se desactiva cuando la siguiente se activa (En+1).

El término Qn de la ecuación del Biestable SR se reemplaza por el término En, el cual representa o funciona como el término que memoriza el estado de la etapa cuando desaparece la condición de activación en la ecuación. El término En de la ecuación es el que hay que anular (hacer cero) para que el estado de la etapa En pase de activado a desactivado, por la acción del término

$$\overline{E_{n+1}}$$

La ecuación que rige el funcionamiento de la activación y la desactivación de una etapa en el Grafcet y la ecuación que rige el funcionamiento de un Biestable SR [3] son iguales salvo para el caso de que la orden de activación y desactivación se presenten al mismo tiempo (S=1 y R=1). Ya que para el caso del Biestable esto no es permitido, pero para el Grafcet es condición que permanezca en la etapa actual.

Para eliminar esta situación en un Biestable SR se le adiciona un circuito combinacional a las entradas del mismo, de tal forma que no permita la simultaneidad de S y R. (Figura 7)

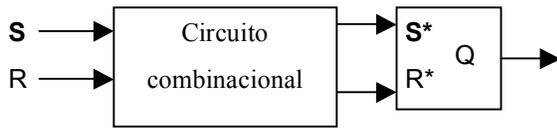


Figura 7. Flip Flop SR sin situación prohibida

La siguiente tabla de verdad elimina la simultaneidad de S y R:

S	R	S*	R*	Qn+1
0	0	0	0	Qn
0	1	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	1	0	X

Tabla 2. Tabla de verdad de flip flop SR.

La forma de eliminar el estado prohibido en el Biestable SR es haciendo que éste tenga prioridad a la activación, de acuerdo a la regla de evolución del Grafset. (Figura 9)

$$S^* = S \quad (4)$$

$$R^* = R * S \quad (5)$$

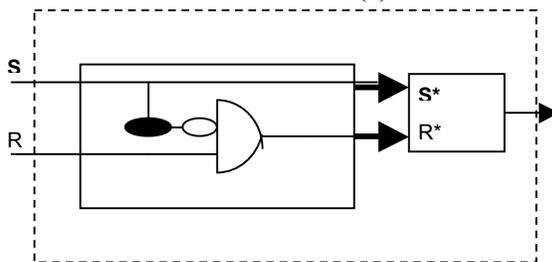


Figura 8. Parte interna del circuito combinacional.

Con ésta modificación se puede asociar perfectamente un Biestable SR a una etapa del Grafset. (Figura 11)

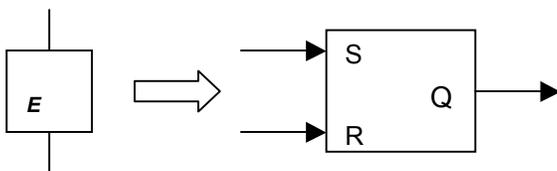


Figura 9. Biestable SR

### 3. DISEÑO DE UN AUTOMATISMO CON BASE EN GRAFCET.

En los automatismos encontramos habitualmente una diversidad de componentes o subsistemas de tipo mecánico, hidráulico, neumático, eléctrico o

fisicoquímico. Se trata pues, de sistemas que combinan múltiples tecnologías, haciendo necesario un lenguaje común para la coordinación e integración óptima de todas ellas en el sistema.

A nivel físico, la unión entre dichos subsistemas tecnológicamente diversos, la realizan los sensores e interfaces. Pero, a nivel de caracterizar su comportamiento, el diseñador necesita un modelo independiente de la tecnología que le permita tratar a todos ellos con una metodología común, sea cual sea su principio tecnológico.

Para clarificar el concepto de modelo independiente de la tecnología podemos poner un ejemplo. Para el especialista en relés, el esquema eléctrico de un automatismo es un modelo a partir del cual es capaz de predecir el comportamiento del sistema ante determinadas entradas. Pero este modelo carece de significado para un especialista en hidráulica y neumática, que a su vez utiliza otro tipo de esquemas. Sin embargo, ambos tiene en común que emplean elementos todo o nada (encendidos o apagados, abiertos o cerrados), que pueden representarse con el modelo común del álgebra de Boole que sería el modelo independiente de la tecnología que permite tratar ambos tipos de sistema bajo un mismo punto de vista.

**3.1. Automatismo a implementar:** Como estudio de caso, se pretende realizar el automatismo para el sistema electro neumático mostrado en la siguiente figura: 10.

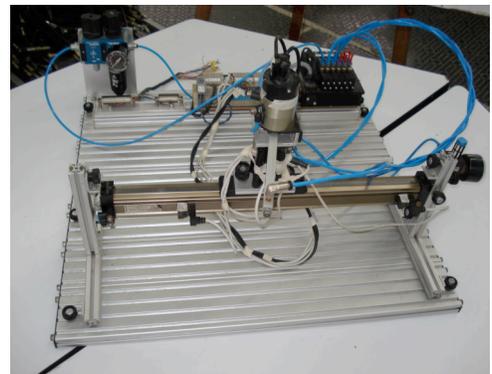


Figura 10. Sistema Electro Neumático

El funcionamiento que se quiere para el sistema es el siguiente:

- Cuando se inicie el proceso el sistema se reposicione con el brazo adentro y el carro en la posición derecha
- Al presionar un pulsador Start, gira el brazo hacia fuera
- Al llegar afuera, baje para recoger el objeto a transportar accionando la ventosa
- Una vez recogida la pieza, subir nuevamente
- Al subir, se debe desplazar a la izquierda para llevar el objeto a la posición de descarga

- Cuando llega a la posición final, debe bajar y soltar la pieza
- Cuando la pieza se ha soltado, se debe posicionar el brazo adentro para su regreso a la posición inicial

Grafcet del sistema se simuló usando el software Automation Studio V3.05 [4] (Figura 11)

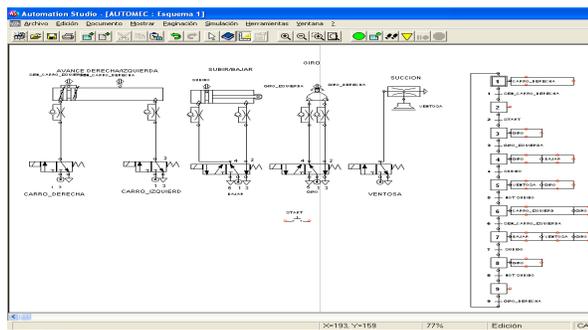


Figura 11. Simulación del Circuito Neumático y su Funcionamiento

#### 4. IMPLEMENTACIÓN DEL GRAFCET EN LABVIEW.

Este diseño en Labview se realizó de tal manera que existiera una relación directa entre el Grafcet y los Flip-Flops en Labview, debido que a la hora de depurar o hacer un seguimiento al sistema hubiese una correspondencia entre el Grafcet y la forma en que fue implementado, aspectos que difícilmente se pueden lograr cuando no se trabajan con técnicas sistemáticas para el diseño e implementación de automatismos.

Para la implementación de la solución del problema por medio del Grafcet en Labview, se tuvo que diseñar una serie de subvis (instrumentos virtuales) para su implementación.

#### 4.1. Flip-Flop RS de activación prioritaria estado inicial desactivado: (Figura 13)



Figura 13. Flip-Flop Estado Inicial

Las entradas S,R son las de activación y desactivación respectivamente, la entrada i, es el índice para determinar el estado inicial.

#### 4.2. Flip-Flop RS de activación prioritaria estado inicial activado: (Figura 14)

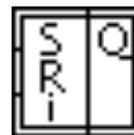


Figura 14. Flip-Flop Estado Inicial Activado

Las características de éste son las mismas que el anterior, sólo que su estado inicial es activo.

**4.3. Variable global:** se realizó una variable global, para determinar el estado inicial de los FFP's; ésta operación se puede hacer también alimentando la entrada i de cada FFP con el contador de la estructura while, pero el inconveniente es que resultan demasiados cables, los cuales hace difícil la interpretación del programa.



Figura 15. Variable global en Labview

**4.4. Variables locales:** a cada una de las salidas de los FFP's se asignó un indicador, para saber su estado y las realimentaciones se hicieron por medio de variables locales de lectura, con lo cual se eliminó la necesidad de usar los shift register y así tener una comprensión más clara del programa, ya que no tiene tanto cableado.

**4.5. Panel frontal:** el panel frontal muestra las señales que van a los actuadores, las señales recogidas de los sensores todo a través del puerto paralelo del PC. En la siguiente figura se muestra la simulación realizada en el software Labview de National Instruments. (Figura 16)

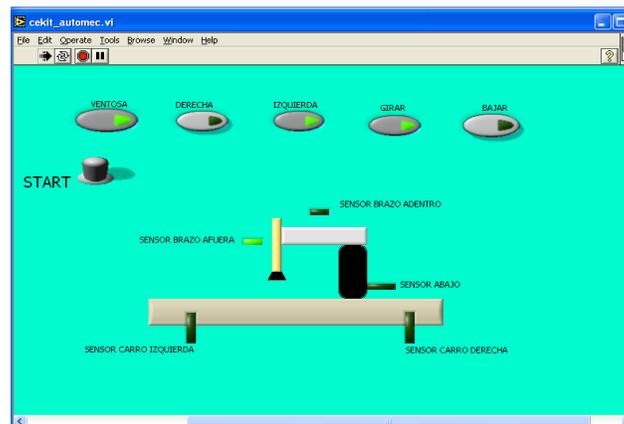


Figura 16. Panel frontal en Labview

A continuación se presentan las figuras con la programación en Labview del grafcet y los subvi's.

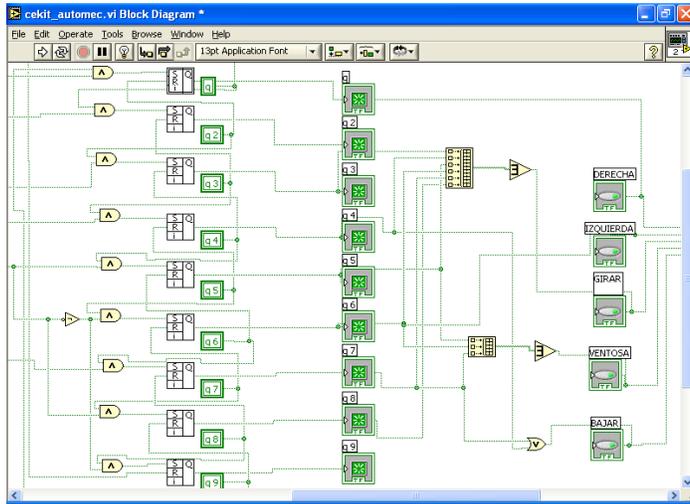


Figura 17. Ventana de diagramación en Labview

Los datos leídos desde el puerto paralelo se hacen de la siguiente forma: (Figura 18)

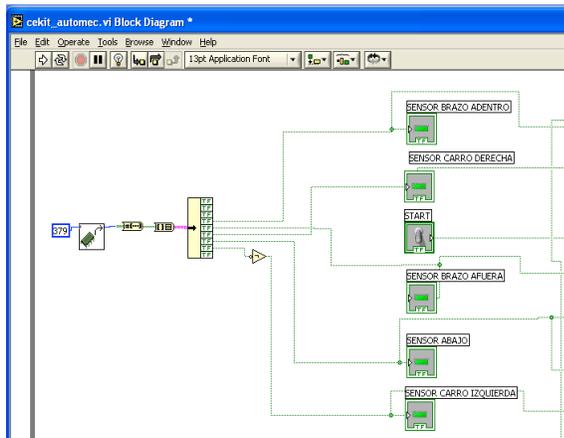


Figura 18. Lectura de los datos del Puerto Paralelo en Labview.

Los datos que son enviados al puerto paralelo se envían de la siguiente forma: (Figura 19)

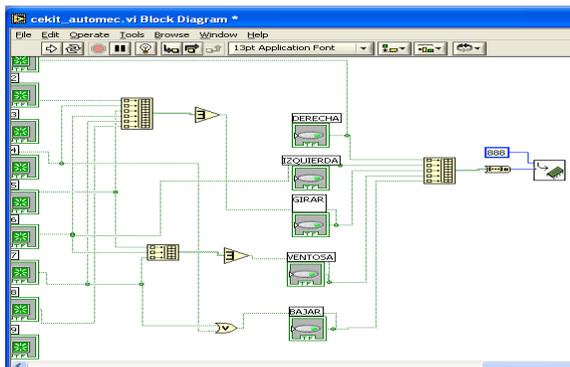


Figura 19. Transmisión de los datos al Puerto Paralelo del pc.

## 5. CONCLUSIONES

El Grafcet es una excelente herramienta para el diseño y modelado de sistemas automáticos de eventos discretos ya que permite visualizar el funcionamiento detallado del sistema (Análisis funcional, bloqueos etc.).

El diseño de un automatismo con Grafcet es independiente de la tecnología en la cual se va a implementar dicho automatismo.

La implementación del Grafcet en diferentes tecnologías, se puede hacer de forma directa partiendo de éstos gráficos y resultan ser una muy buena solución si se piensa en la implementación por lógica programada, pero no muy buena si se hace por lógica cableada, ya que es mas elaborada la ruta para detección de fallas.

## 6. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] AUTÓMATAS PROGRAMABLES. Balcells. Editorial Marcombo. Barcelona.
- [2] LA MECATRÓNICA EN TEORÍA Y PRÁCTICA. Dr Koriath Joachim Hans, Romer Mathias. Bosch Rexroth. The Drive & Control Company. 2002.
- [3] SIMPLES CIRCUITOS CON MEMORIA Y CIRCUITOS LÓGICOS: Manual Festo Didactic.
- [4] AUTOMATION STUDIO. User Manual. Bosch Rexroth. Germany. 2004.
- [5] ANÁLISIS Y DISEÑO DE CIRCUITOS LÓGICOS DIGITALES: Nelson Nagle Y Carroll Irwin. Editorial Prentice Hall. 1996.