

Diseño del Control de Motor Trifásico Usando PLC Aplicado en Garajes Automáticos

Félix Toala Santos⁽¹⁾, Sixifo Falcones Zambrano⁽²⁾.
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
fintoala@hotmail.com ⁽¹⁾ sixifo@espol.edu.ec ⁽²⁾.

Resumen

En este proyecto se implementa el control automático de una puerta de garaje usando un controlador lógico programable (PLC) y sensores para hacer funcionar un motor trifásico, y así automatizar el sistema. Los procesos complejos en la industria y otras áreas de aplicación requieren de controladores modernos para conseguir una operación eficiente y de acuerdo a los requerimientos del sistema; de ahí la importancia del conocimiento del funcionamiento del controlador, de la simulación del circuito de control, y su verificación para uso en las aplicaciones actuales. La descripción de los componentes a emplearse en el diagrama de control convencional sirve para diseñar el diagrama escalera, por consiguiente se presenta, brevemente, el controlador de configuración fija, el lenguaje de programación y las instrucciones básicas. También se presentan la secuencia de eventos y el diagrama correspondiente que sirven para visualizar los procesos. El diagrama escalera diseñado se utiliza en el programa Zelio Soft 2, grabado en un PC, para su simulación y ajuste de parámetros; posteriormente se aplica el circuito en el controlador programable para verificar el funcionamiento correcto y hacer observaciones.

Palabras Claves PLC, controlador lógico programable, diagrama escalera, simulación.

Abstract

In this project the automatic control of a garage door is implemented using a programmable controller (PLC) and sensors to operate a three-phase motor, and automate the system. The complex processes in industry and other application areas need modern controllers for efficient operation and according to the requirements of system; hence the importance of knowledge of the operation of the controller, the control circuit simulation and subsequent verification for use in current applications. The description of the components used in conventional control diagram is shown to design the ladder diagram therefore the fixed configuration controller, the programming language and basic instructions are briefly described. The sequence of events and the corresponding diagram used to visualize processes are also presented. The designed ladder diagram is used in the Zelio Soft 2 program recorded on a PC for simulation and parameter setting, and then the circuit is applied to the programmable controller to verify proper operation and make comments.

Keywords: PLC, programmable logic controllers, ladder diagram, simulation.

1. Introducción

El proyecto requiere de una secuencia de eventos, automáticos y repetitivos, con un mínimo de control humano; por esta razón se presenta una aplicación sencilla del controlador con diagramas de circuito de control y secuencia, además de la simulación. Los siguientes pasos se consideran en el proyecto:

- Descripción de los dispositivos de entrada al PLC
- Circuitos de adelanto y reversa del motor trifásico
- Programa y diagrama escalera a implementarse

- Simulación del programa en un PC
- Aplicación del diagrama en el controlador

Existen muchos procesos secuenciales y repetitivos que dependen de relés, temporizadores, entre otros elementos, para ejecutar dichos procesos; pero estos dispositivos tienen algunas desventajas, entre otras, inconvenientes en la reprogramación y mantenimiento.

Al ingresar el sistema de control PLC se manifestó una gran ventaja en los procesos, ya que es un programa de secuencia (software) el que controla el funcionamiento.

Las aplicaciones complejas y diversas que incluyen el PLC, como en sistemas centralizados de control, lo convierten en un elemento importante, no solo en la industria, sino también en las redes inteligentes y en el control de sistemas de generación de potencia, para citar algunos.

2. Metodología y solución tecnológica

Se realiza el proyecto siguiendo un enfoque sistemático de diseño; esto requiere una descripción del sistema y sus componentes, entender las funciones del controlador y las condiciones que deben cumplirse para la programación y la simulación posterior.

2.1. Selección del sistema

El esquema del sistema se muestra en la figura 1. donde se aprecian los elementos de entrada: sensor ultrasónico, sensor fotoeléctrico y limitadores de carrera; el elemento de salida a controlar es el motor.

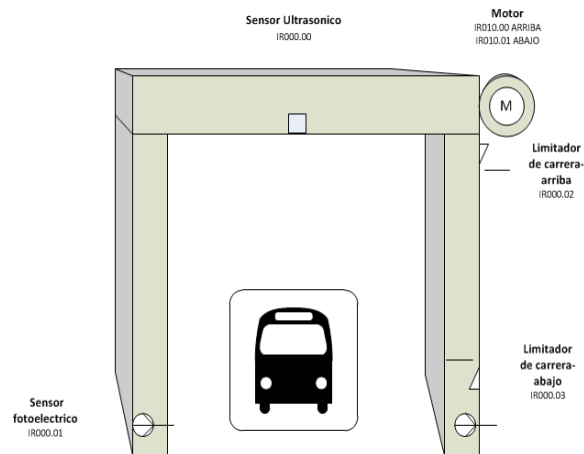


Figura 1. Esquema de puerta y dispositivos

2.2. Especificar dispositivos de entrada y salida

Las entradas pueden ser interruptores, limitadores de carrera, sensores de nivel o temperatura, etc.; los dispositivos de salida pueden ser solenoides, válvulas electromagnéticas, motores, relés, arrancadores magnéticos o instrumentos para señalización de sonido y luz. Generalmente se asignan las entradas con el prefijo "I" seguido del número del bit asignado, y las salidas con el prefijo "O" y el bit asignado.

2.3. Diagrama escalera

Entre los métodos que ayudan en el diseño están el uso de lógica booleana y mapas de Karnaugh que sintetizan un sistema complejo; además se pueden utilizar diagramas de flujo o de estado. El proyecto

presenta el diagrama de tiempo y continúa con el diagrama escalera el cual cumple con la secuencia de operaciones que esta especificada en la descripción del proceso.

2.4. Descripción del PLC

El PLC es un computador especializado que usa un lenguaje de programación apropiado a las demandas presentes en control de maquinarias y equipos. Una ventaja particular del PLC es su construcción ya que soporta los ambientes exigentes en la industria como ruido, vibraciones, temperaturas. Tiene la capacidad de controlar diferentes procesos y es reprogramable de acuerdo a los requerimientos. El uso completo de la memoria para la aplicación es otra característica importante; las diferentes áreas y direcciones de la memoria están totalmente definidas y no necesita almacenamiento de disco. El diagrama de bloque típico del PLC [3] se muestra en la figura 2.

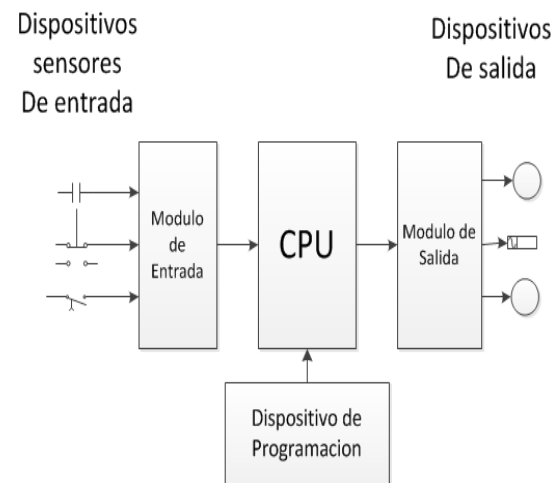


Figura 2. Diagrama de bloque del PLC

El CPU es el microprocesador que, en este caso, reemplaza a los relés, contadores, temporizadores, etc. Este componente lee los datos de entrada de varios sensores, ejecuta las instrucciones de la memoria y envía los comandos apropiados de salida a los dispositivos de control. Contiene además varios terminales de conexión y partes eléctricas que incluyen un selector de operación para tres funcionamientos: OFF apagado, RUN funcionamiento sin programar, y PROGRAM solo para programar deshabilitando las salidas.

EL PLC trabaja escaneando constantemente el programa. El ciclo empieza con auto-diagnostico, luego actualiza el estado de las entradas, los sensores; después ejecuta el programa, una instrucción a la vez. De acuerdo a esta información se procede a modificar el estado del sistema. Los resultados de la ejecución los guarda para ser usados en el próximo paso. Este ciclo se repite una y otra vez durante el proceso.

2.5. Lenguaje de Programación

La lógica de escalera (LAD) es un lenguaje de programación usado con PLCs; tiene componentes similares a los usados en el diagrama unifilar de alambrado de control. Además de los componentes básicos se encuentran los bloques como temporizadores, contadores y operadores matemáticos y lógicos.

2.6. Instrucciones

Algunas instrucciones típicas se detallan a continuación. La Instrucción load (LD) es representada por un contacto normalmente abierto (NO Normally Opened). La instrucción LoadNot es un contacto normalmente cerrado (NC Normally Closed). También se usan bloques temporizadores o contadores. Otras instrucciones avanzadas son importantes de mencionar como la instrucción de pulso (one – shot) [4], se denominan DIFU/ DIFD (differentiate up/down) respectivamente. Un esquema típico del diagrama escalera y su nomenclatura se muestran en la figura 3.

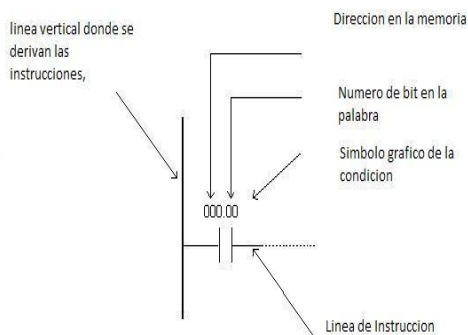


Figura 3. Diagrama básico escalera del PLC

2.7. Módulos de entrada/salida

Los sensores y actuadores se conectan con el PLC mediante módulos de entrada/salida (I/O), los cuales establecen el aislamiento eléctrico con el procesador y constituyen la interface con el mismo. Cada módulo de entrada contiene un puente rectificador, así el voltaje alterno se convierte en voltaje continuo apropiado para circuitos lógicos y el controlador (5 v, c.c.); los módulos de salida utilizan un fototransistor para aislamiento eléctrico.

En general, toda máquina usa una secuencia de pasos repetitivos que pueden ser definidos claramente. De esta manera, la lógica del circuito escalera sigue estos pasos;

1. Entender el proceso.

2. Escribir los pasos de operación en secuencia y asignar un número a cada paso.
3. Para cada paso asignar un bit.
4. Escribir la lógica escalera para encender/apagar los bits al progresar el proceso por los diferentes estados.
5. Escribir la lógica para que la máquina o actuador efectúe las funciones para cada paso.
6. Si el proceso es repetitivo, se continúa con el primer paso.

El diagrama de conexiones en la figura 4 muestran los dispositivos que se conectan al PLC, en el caso de control semiautomático del motor.

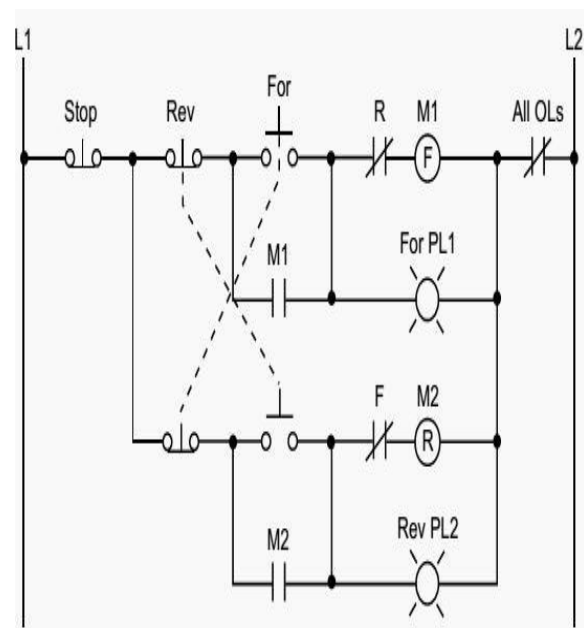


Figura 4: Diagrama de conexiones para control del motor

Al botón de paro (Stop) se asigna dirección 000, y los botones normalmente cerrados de adelante (For) y reversa (Rev) tienen dirección 001 y 002, respectivamente; estos botones serán reemplazados, posteriormente, por limitadores de carrera. Los contactos de sobrecarga (OLs) están conectados al módulo de entrada en 003. El avance del motor (M1) se detiene pulsando el botón de paro o por sobrecarga. Los dispositivos de salida, avance (M1) y reversa (M2) tienen direcciones 030 y 032, respectivamente. Además se incluyen las luces pilotos de avance (For PL1) y reversa (Rev PL2) con direcciones 031 y 033, respectivamente.

Se han adicionado luces indicadoras de sobrecarga con direcciones 034 (OL Fault Fwd) y 035 (OL Fault Rev) para determinar si ocurre tal sobrecarga en avance o en reversa. Las direcciones de los contactos

de enclavamiento R y F son las direcciones de salida de los arrancadores (030 y 032).

Un aspecto importante en el diseño del circuito, que asegura las condiciones de sobrecarga, es el de programar estos dispositivos antes de los circuitos de avance y reversa, de otra manera, el programa nunca reconocerá dicha señal durante el escaneo [2].

En la tabla 1 se presentan las conexiones de entradas y salidas del PLC para funcionamiento del motor. Es de notar que la siguiente tabla corresponde a un determinado PLC; la nomenclatura difiere de acuerdo al fabricante pero el principio es el mismo, es decir, cada conexión corresponde a un bit en el controlador.

Tipo de Modulo	Rack	Grupo	Terminal	Detalle
Entrada	0	0	0	Paro PB
	0	0	1	fwdPB
	0	0	2	RevPB
	0	0	3	OL
	0	0	4	ACK
Salida	0	3	0	M1fwd
	0	3	1	PL1
	0	3	2	M1rev
	0	3	3	PL2
	0	3	4	OLfwd
	0	3	5	OLrev

Tabla 1: Direcciones entrada/salida (I/O)

La figura 5 presenta el diagrama semiautomático del sistema usando botones de adelante y reversa. En el diseño se incorporan la condición de sobrecarga, que detiene el motor sin importar la dirección de giro, y las luces de falla; para el efecto se incluye el uso de instrucciones asegurar/soltar (latch/unlatch), para dejar las luces de alarma prendidas aunque se vuelva a condiciones normales y un botón ACK para reconocer las fallas.

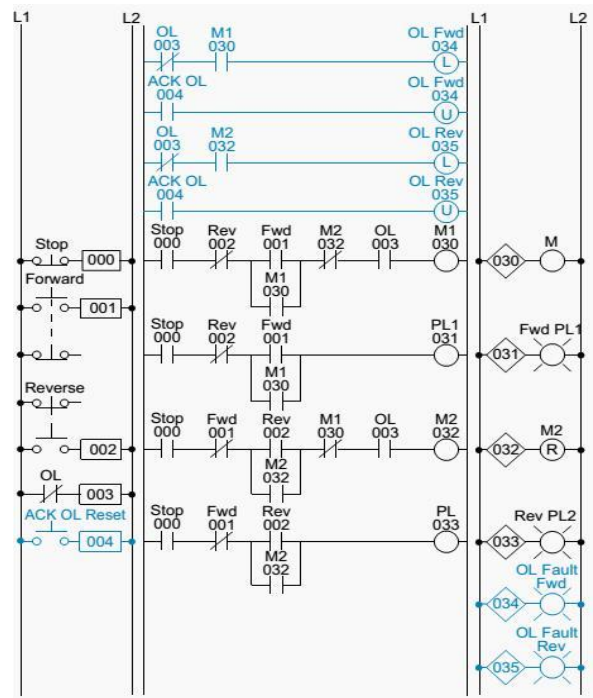


Figure 5: Implementación del circuito de la figura 4.

2.8. Secuencia del proceso

El método a seguir consiste de los siguientes pasos;

- 1 Proceso en espera. Al aproximarse un vehículo un sensor ultrasonido envía señal al motor para abrir la puerta [8]. El limitador de carrera superior detiene el motor.
- 2 El vehículo ingresa activando la fotocélula al interrumpir el circuito.
- 3 Al entrar completamente el vehículo desactiva la fotocélula, al mismo instante activa un pulso.
- 4 Dicho pulso envía señal al motor para bajar la puerta (reversa)
- 5 El limitador de carrera inferior determina la parada del motor.
- 6 proceso en espera, vuelve a estado 1.

El sensor ultrasonido envía una señal al motor y activa el bit IR000.00, internamente la salida IR010.00; además de esta condición, no debe accionarse el mecanismo de bajar la puerta (IR010.01 bajar) y no debe estar en posición arriba (IR000.02 limitador de carrera superior).

El contacto auxiliar de sello se activa para que el motor siga funcionando (010.00 NO). El limitador superior, en condición N.C., al subir la puerta cambia el estado de OFF a ON y cesa la condición del bit IR010.00 y el motor se detiene.

El siguiente evento es la detección del vehículo mediante el interruptor fotoeléctrico. Este dispositivo registra el vehículo que está pasando, y cambia el estado de un indicador (flag IR200.00) que utiliza la instrucción DIFD. Esta instrucción se activa cuando la condición que la precede cambia de encendido a apagado (ON a OFF segmento 2); Al cambiar el estado del indicador (flag) de apagado a encendido (OFF a ON), establece una condición para bajar la puerta (segmento 3), en tanto la puerta no esté subiendo (enclavamiento eléctrico), y que no esté en posición inferior (limitador inferior apagado).

El bit que opera la alimentación para bajar la puerta IR010.01 es automático, así que las puertas empiezan a bajar hasta accionar al limitador de carrera inferior el cual está en posición NC, cambiando de apagado a encendido (OFF-ON) e interrumpe la condición de bajar la puerta. Al aproximarse más vehículos, el ciclo se repite. A continuación se presenta el diagrama de secuencia de tiempo del proceso, figura 6.

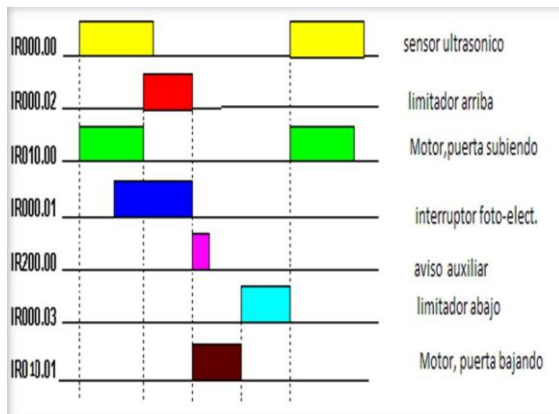


Figura 6: Diagrama de secuencia de estado [3]

3. Resultados

En el proyecto se han presentado los diagramas de circuitos y lógicos del sistema para el controlador CPM1A. Posteriormente se utilizó el controlador Schneider puesto que se disponía del programa y del controlador y así se pudo comprobar su operación mediante simulación. Las luces de señalización en la salida del PLC indicaron el correcto estado del sistema.

En el diagrama de la figura 7 se presenta el circuito básico para el funcionamiento del motor.

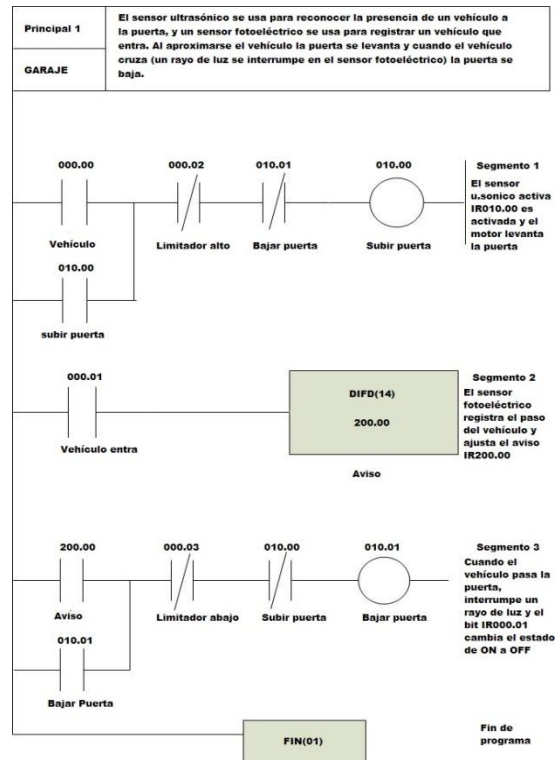


Figura 7: Diagrama escalera de puerta, OMRON PC

3.1. Programa Específico

Los programas de este controlador pueden ser creados o editados en una consola de Programación o en un PC con la aplicación SYSMAC soporte de Software (SSS). El programa o código mnemónico, ver tabla 2, ya no es frecuente y ha sido reemplazado por el diagrama escalera.

Tabla 2: Código mnemónico

Dirección	Instrucción	Operandos
00000	LD	00000
00001	OR	01000
00002	AND NOT	00002
00003	AND NOT	01001
00004	OUT	01000
00005	LD	00001
00006	DIFD(14)	20000
00007	LD	20000
00008	OR	01001
00009	AND NOT	00003
00010	AND NOT	01000
00011	OUT	01001
00012	END(01)	—

3.2. Accionamiento automático del motor

Finalmente, en las condiciones de paro y marcha del motor trifásico se muestran dos botones para accionarlo. En su lugar deben existir dos señales diferentes para avanzar el motor, en este caso del bit 010.00 (2), y otra señal para poner en reversa el motor en el bit 010.01 (2) NOTA: 010.00 (2) NO. en PLC sustituye a FOR y 010.01 (2) NO. en PLC sustituye a REV.

3.3. Información de pruebas

La información del programa diseñado se muestra en la figura 8, El diagrama incluye redes de emergencia, sobrecarga, generador de pulso, alarmas y reconocimiento de fallas. También se muestra en la tabla 3 las entradas, salidas y funciones. En la figura 9 se muestra el ancho del pulso mínimo para este tipo de PLC. Finalmente las fotografías, figuras 10 y 11, presentan el momento de la programación del PLC y la simulación de los sensores.

En otra sección se presenta parte de la hoja de datos del fabricante en el que se observan las características de duración del controlador para cargas resistivas e inductivas, para diferentes voltajes; se observa la mayor duración en bajos voltajes.

puertaN.zm2 - v0.0



Program diagram

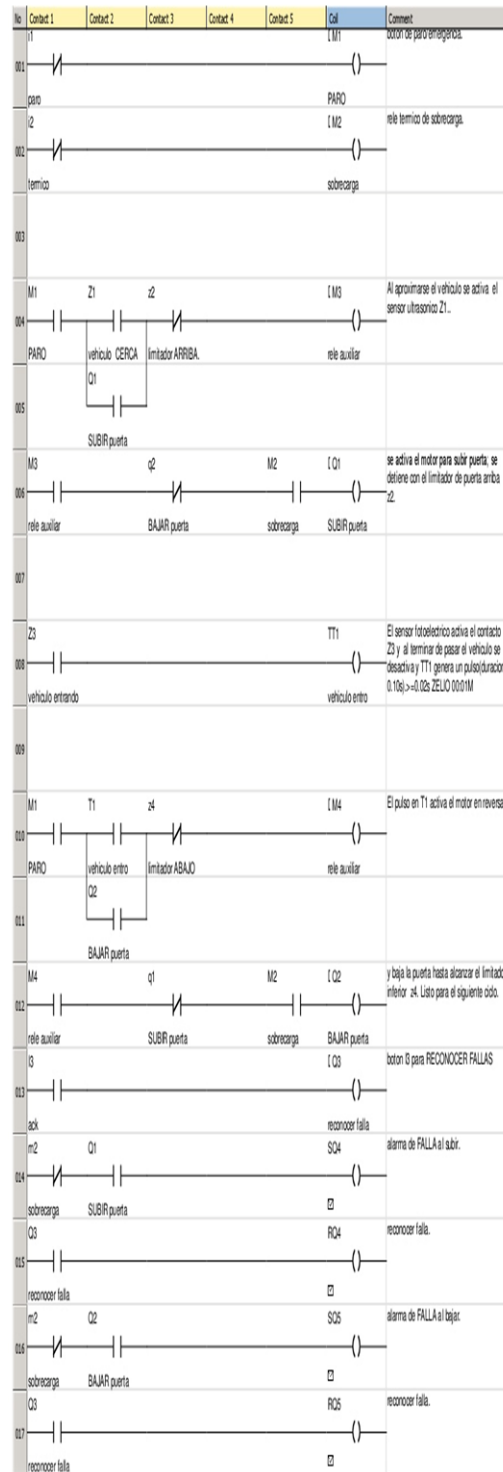



Figura 8: Simulación modo edición

Tabla 3: Entradas y salidas

puerto de salida 2 - 100



PLC SR2A

Physical inputs

No.	Symbol	Function	Lock	Parameters	Location of (I/O)	Comment
I1		Discrete Input	--	No parameters	(1/1)	PARO EMERGENCIA
I2		Discrete Input	--	No parameters	(2/1)	TERMINO OIBO BREGARDA
I3		Discrete Input	--	No parameters	(3/1)	REDO NO CERR FALLA

Module Inputs

No.	Symbol	Function	Location of (I/O)	Comment
Z1		Z1 key	(4/2)	SENSO R U LTRABO M IDO
Z2		Z2 key	(4/3)	LIMITADO R ARRIBA
Z3		Z3 key	(8/1)	SENSO R FOTO EL ECTRICO
Z4		Z4 key	(10/3)	LIMITADO R ABAJO

Physical outputs

No.	Symbol	Function	Latching	Location of (I/O)	Comment
Q1		Discrete output	No	(5/2) (6/5) (12/3) (14/2)	SUBIR
Q2		Discrete output	No	(8/3) (11/2) (12/5) (16/2)	BAJAR
Q3		Discrete output	No	(13/5) (15/1) (17/1)	REDO NO CERR FALLA
Q4		Discrete output	Yes	(14/5) (15/5)	FALLA AL SUBIR
Q5		Discrete output	No	(16/5) (17/5)	FALLA AL BAJAR

Configurable functions

No.	Symbol	Function	Lock	Latching	Parameters	Location of (I/O)	Comment
M1		Auxiliary relays	--	No	No parameters	(1/5) (4/1) (10/1)	paro
M2		Auxiliary relays	--	No	No parameters	(2/5) (5/5) (10/5) (14/1) (15/1)	sobrecarga
M3		Auxiliary relays	--	No	No parameters	(4/5) (5/1)	relé auxiliar
M4		Auxiliary relays	--	No	No parameters	(10/5) (12/1)	relé auxiliar
T1		Timers	No	No	See details below	(8/5) (10/2)	vehículo en to



Figura 11. Programación directa del PLC

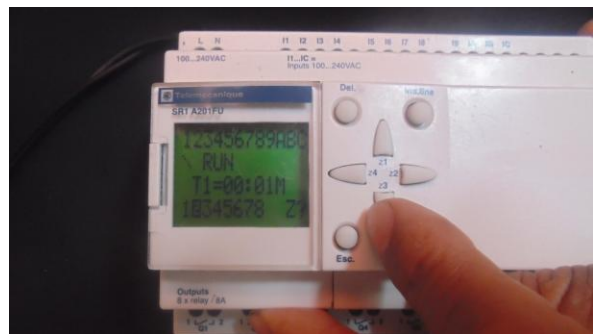
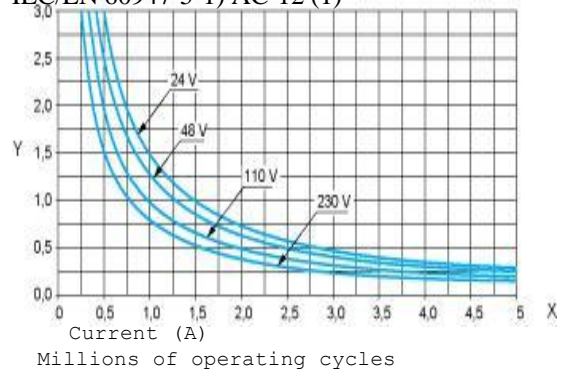


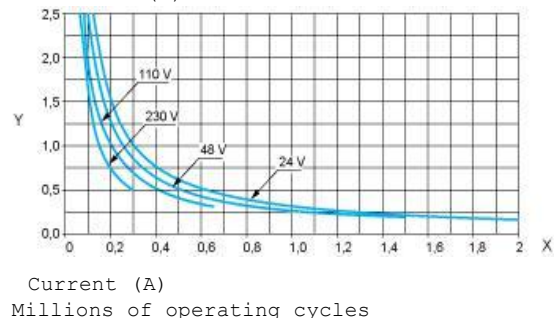
Figura 12. Simulando entrada de vehículo

Hoja de datos del PLC SR2A201FU
Characteristics compact smart relay Zelio Logic -
20 I/O -100..240 V AC - no clock – display
Compact and Modular Smart Relays

Electrical Durability of Relay Outputs
(in millions of operating cycles, conforming to
IEC/EN 60947-5-1) AC-12 (1)



(1) AC-12: switching resistive loads and opto-coupler isolated solid-state loads, $\cos \geq 0.9$. AC-14 (1)



Timer

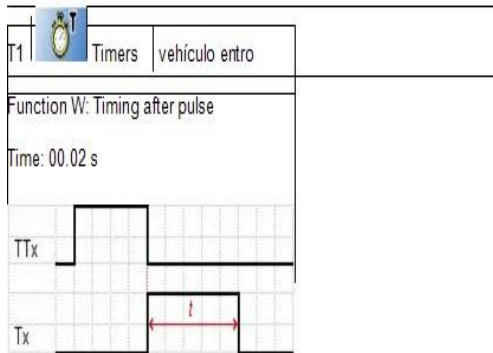
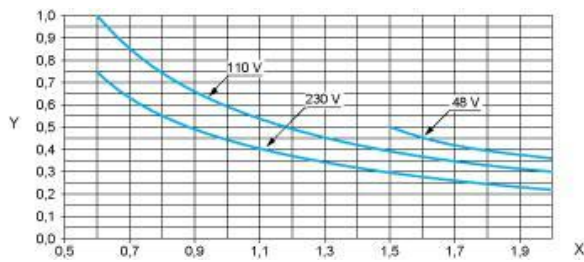


Figura 9. Pulso al desactivar temporizador

(1) AC-14: switching small electromagnetic loads ≤ 72 VA, make: $\cos = 0.3$, break: $\cos = 0.3$. AC-15 (1)



X:

Y:

Z: Current (A)

AA: Millions of operating cycles

(1) AC-15: switching electromagnetic loads ≥ 72 VA, make: $\cos = 0.7$, break: $\cos = 0.4$.

Figura 13. Hoja de datos del PLC (Schneider)

4. Conclusiones

El proyecto ha presentado una solución al control automático de un proceso secuencial como la apertura y cierre de la puerta de un garaje. El circuito de control del motor trifásico, figura 8, fue comprobado en el software Zelio Soft 2 aplicable al PLC modelo SR2A201FU.

Se ha tomado en consideración un evento importante, tal es el tiempo de escaneo del controlador, ya que una señal de pulso del sensor debe durar lo suficiente para que el controlador detecte la señal; además, es importante la coincidencia de las señales de entrada en el escaneo.

El PLC tiene limitaciones porque es un modelo inicial de configuración modular con un CPU relativamente lento lo cual incide en el tiempo de escaneo. Para la ejecución exitosa del proyecto se deben conectar y comprobar los circuitos y conexiones en los dispositivos y terminales del controlador programable. En la actualidad se usan PLCs de configuración modular que emplean CPUs más veloces y avanzados, lo cual permite el control de sistemas más complejos.

Es importante mencionar que en el análisis y diseño de dichos sistemas se pueden utilizar otros métodos como diseño lógico estructurado, diagramas de flujo y, el más notable, el diagrama de estado.

Antes de la ejecución del diseño en el controlador programable es recomendable verificar paso a paso el proceso, tanto en la simulación como en la aplicación.

Este proyecto ha presentado una aplicación sencilla de los controladores lógicos programables; aunque se podría extender el diseño en sistemas de varias puertas de entrada y salida de vehículos, contadores, señalización, etc. El beneficio de entender su funcionamiento y aplicación será de enorme utilidad en diferentes áreas de la industria y sistemas automatizados.

5. Agradecimientos

A Gabriela Murillo y al Lcdo. Peter Loor por su ayuda en la edición y revisión del texto, y a toda la familia por su apoyo. Especial mención merece mi director de tesis Ph.D. Sixifo Falcones por la motivación a mejorar en el aspecto técnico del proyecto.

6. Referencias

- [1] Emanuel Pericles, *Motors, Generators, Transformers, and Energy*, NJ: Prentice Hall Inc., 1985, pp. 100-101?
- [2] EEP portal, *Basics of PLCs*. Disponible en <http://electrical-engineering-portal.com>.
- [3] daeNotes *Programmable logic controllers-PLC*. Disponible en <http://www.daenotes.com>.
- [4] Plcs.net, *one-shots*. Disponible en <http://www.plcs.net/contents.shtml>.
- [5] Automation.com. Disponible en <http://www.controleng.com>.
- [6] Introduction to PLC controllers. Disponible en <http://www.mikroe.com>.
- [7] Omron automation systems. Disponible en <http://industrial.omron.eu>.
- [8] Automating manufacturing systems with PLCs. Disponible en <http://webbooks.net/>.
- [9] Zelio Logic Smart Relay. Disponible en <http://docs-europe.electrocomponents.com/>.