

Automatización de Máquina Industrial Dosificadora con 3 PLC: Siemens S7 1200, Unitronix V120 UA2, y USA PLC1

Max S. Herrera

Universidad Sergio Arboleda, Bogotá, Colombia, max.herrera@correo.usa.edu.co

Mentor: Ignacio F. Acero, M. Sc.

Universidad Sergio Arboleda, Bogotá, Colombia, ignacio.acero@usa.edu.co

Resumen— El presente trabajo muestra la automatización de un dosificador volumétrico, con el que cuenta la Universidad Sergio Arboleda, usando tres autómatas diferentes, S7 1200 de Siemens, Unitronix V120-UA2, y USA PLC, identificando el diagrama de estados de la máquina, la implementación en cada uno de ellos, y los resultados en las diferentes plataformas. Esto permite validar este tercer autómata que fue desarrollado en el programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad Sergio Arboleda, así mismo permite hacer el ejercicio de automatización en diferentes plataformas, lo cual resulta enriquecedor para la práctica profesional de un Ingeniero.

Palabras clave—Automatización, IEC61131, PLC, Dosificador Volumétrico.

ejecución. Toda la maquinaria industrial de hoy día debe llevar consigo un controlador programable, generalmente conocido como PLC.

Por supuesto existen diversos fabricantes y distribuidores de PLC que ofrecen variedad de modelos con características específicas que le permiten adaptarse a una máquina o proceso.

En el presente trabajo se presenta la automatización de una máquina industrial con tres PLC diferentes, uno de ellos diseñado en el programa de ingeniería electrónica de la Universidad Sergio Arboleda de Bogotá, Colombia.

I. INTRODUCCIÓN

El 98% de las empresas existentes en Colombia son Mipymes, de las cuales cerca del 11% desarrollan actividades económicas del sector de la industria. Aproximadamente el 50% de las empresas quiebran por problemas relacionados con las ventas, un 45% lo hacen por situaciones financieras, y apenas un 5% por causas administrativas. Dentro del grupo de ventas, la mayor problemática está relacionada con la falta de innovación del producto o del servicio. Otros aspectos son la mala ubicación o fallas en los canales de distribución y la debilidad frente a la competencia en términos de precios, calidad de servicio y/o condiciones. (Stangl Herrera, 2011)

Así mismo CONAMYPE (Comisión Nacional de la Micro y Pequeña Empresa. El Salvador) en una lista de causas de fracaso de empresas resaltó: Problemas para producir y operar, falta de capacidad técnica para manejar la producción y las operaciones, altos costos de operación, falta de sistemas de información eficaces, y deficiencias graves en los procesos internos entre otras. (Soriano, 2005)

Para reducir estos riesgos de carácter productivo, las mipymes del sector de la industria deben mejorar sus procesos, su eficiencia, y aumentar su productividad. Entonces la automatización toma un papel importante ya que estos son precisamente sus objetivos.

En la automatización de procesos industriales, es de carácter fundamental e indispensable un controlador, representan el segundo nivel de la pirámide de automatización ubicados sobre la instrumentación. (Higuera, 2007) Se encargan de controlar los procesos industriales, secuencias, tiempos de

II. EL ESTÁNDAR

Debido al gran tamaño del sector de la industria mundial, la IEC (International Electrotechnical Commission) publicó el estándar IEC 61131 que consta de nueve partes. Se aplica a controladores lógicos programables (PLCs) y sus periféricos como las herramientas de programación y depuración (PADTs), interfaces humano máquina (HMI), etc. Los cuales tienen la tarea de ejecutar control sobre máquinas y procesos industriales. (PLCopen, 2014)

A continuación se presenta una descripción de cada una de las partes del estándar.

A. IEC 61131-1

Trata las características principales de los controladores lógicos programables y sus periféricos. Divide su estructura en seis partes principales.

Funciones de tratamiento: Analiza los usos de memoria, que pueden ser el almacenamiento de programa que tiene en cuenta los valores periódicos de cada instrucción, tabla de E/S de datos, y posición de memoria. Define tipo de memoria capacidad y utilización.

Funciones de interfaz con sensores y actuadores: Tiene en cuenta los tipos de señales de E/S que pueden ser digitales, analógicas, o especiales, y las características del sistema de E/S.

Funciones de comunicación: Tareas de verificación de dispositivos, adquisición de datos, transferencia de programa, aplicación y gestión de la conexión a la unidad de procesamiento de señales del PLC desde o hacia dispositivos.

Función de interfaz HMI: Tiene el propósito de proporcionar a un operador la información necesaria para el control de funcionamiento de la máquina, y permite que interactúe con las variables de control y los ajustes del PLC.

Funciones de programación: Define el lenguaje de programación del PLC y realiza la selección e iteración para representar el programa.

Función de Alimentación: Evalúa la disponibilidad y fiabilidad a partir de la arquitectura del controlador y la arquitectura del sistema automatizado.

B. IEC61131-2

El propósito de esta sección del estándar es establecer definiciones e identificar las principales características relevantes de la selección y aplicación de PLCs y sus periféricos, así como especificar los requisitos de funcionamiento, tanto eléctricos como mecánicos y las características del entorno.

Se enfoca específicamente en: los requisitos funcionales del PLC y sus periféricos, requisitos de seguridad, la información que el fabricante debe suministrar, y las pruebas de verificación de cumplimiento del PLC y sus periféricos con mencionados requisitos. (PLCopen, 2007)

En cuanto a la información que el fabricante debe proporcionar se incluyen aplicaciones, instalación, puesta en marcha, funcionamiento y mantenimiento, puede brindar formación o capacitación al usuario. Existen 3 tipos de documentos: Catálogos y hojas de datos, para descripciones y especificaciones de los equipos; manual de usuario, que explica la instalación, mantenimiento, programación y accesorios de los equipos; documentación técnica, donde se presenta los esquemáticos y las características físicas de los equipos. (Robles Cañon, 2014)

C. IEC61131-3

Define y explica la sintaxis y la semántica de cada uno de los lenguajes de programación. Presenta pruebas y medios para que los fabricantes puedan ampliar y adaptar sus propios bloques de programación. En esta parte se incluye el modelo del software y la estructura del lenguaje, se divide en dos lenguajes textuales como son la lista de instrucciones (IL) y el texto estructurado (ST); dos lenguajes gráficos, diagrama de contactos (LD) y diagrama de bloques funcionales (FBD); finalmente un diagrama de función secuencial (SFC) que puede ser empleado en conjunto con cualquiera de los lenguajes previamente mencionados. Aquí también se definen las características que facilitan la comunicación entre los PLCs y los demás componentes de los sistemas automatizados. (PLCopen, 2014)

Se divide en dos grandes secciones: elementos comunes, y lenguajes de programación.

El IEC 61131-2 es visto como una guía para la programación de PLCs, no como un conjunto rígido de reglas. El enorme número de detalles definidos implica que los sistemas de programación pueden solo cumplir parte del estándar, pero no su totalidad. Los fabricantes de PLCs deben documentar este conjunto: Si quieren estar conforme al estándar, deben probar en que partes cumplen o no el estándar. (Tiegelkamp & John, 2010)

D. IEC61131-4

Esta sección consiste de un reporte técnico (TR) que está dirigido a los usuarios finales de un PLC, pretende introducir a estos usuarios al estándar 61131, y asistirlos en la selección y especificación de los requisitos del equipo que necesitan.

El estándar procura que los fabricantes de PLCs suministren información apropiada del producto a su cliente o comprador, así como este usuario debe comunicarle los requisitos y especificaciones del producto que desea al fabricante para así obtener un adecuado servicio. El objetivo de este reporte es informar al usuario del estándar para así poderle suministrar a su proveedor la información adecuada del producto que requiera.

E. IEC61131-5

Esta quinta sección describe la forma en la que un PLC puede comunicarse. Un PLC como se usa en el contexto de la norma IEC 61131 puede ser un controlador real o un SoftPLC o cualquier dispositivo que soporta los lenguajes de programación de IEC 61131-3 y la comunicación se define en la norma IEC 61131-5. Esto significa desde el PLC a PLC, a HMI, control de plantas, e incluso robots y CNC. Incluso puede proporcionar una comunicación a dispositivos inteligentes a través de un bus de campo. (PLCopen, 2014)

IEC 61131-5 no describe un sistema de bus de comunicación, define servicios independientes a un nivel más alto que se puede utilizar en las redes y sistemas de comunicación existentes. (PLC Companion Standard).

F. IEC61131-6

Especifica los requisitos para los autómatas programables (PLCs) y sus periféricos asociados, teniendo en cuenta la seguridad funcional de sistemas eléctricos/ electrónicos / electrónicos programables (E/E/PE), si el controlador cumple con esto puede ser identificado como controlador lógico programable de seguridad (FS-PLC) que está subdividido en una parte de hardware y software incluyendo bloques de funciones predefinidas. (IEC International Electrotechnical Commission, 2012)

Tiene como objetivo establecer el ciclo de vida seguro de los elementos de un FS-PLC, según el ciclo de vida seguro general

identificado en la norma IEC 61508 -1, -2 y -3. También pretende establecer y describir los requisitos para hardware y software de un FS-PLC que se relacionen con la seguridad funcional y a integridad de sistemas E/E/EP. (PLCopen, 2014)

G. IEC61131-7

El objetivo de esta sección es ofrecer a los fabricantes y a los usuarios información de los medios básicos para integrar aplicaciones de control difuso en lenguajes de Controlador Programable de acuerdo con la sección 3 del estándar, así como la posibilidad de intercambiar programas de control difuso portátiles entre diferentes sistemas de programación.

El control difuso está emergiendo como una tecnología que puede mejorar las capacidades de la automatización industrial, y es adecuado para ejecutar tareas de control que se realizan generalmente en controladores programables.

H. IEC61131-8

Es un informe técnico que proporciona directrices para la implementación de los lenguajes de programación, descritos en la tercera sección del estándar, en sistemas de controladores programables y sus entornos de apoyo de programación.

Se encuentra subdividido según la característica de la persona que tenga acceso a la norma, puede ser un usuario final quien programa, configura, instala, etc., o los implementadores de lenguajes de programación, vendedores de software y hardware que tienen en cuenta la preparación y el mantenimiento de los programas y sistemas. (PLCopen, 2014)

III. METODOLOGÍA

La Universidad Sergio Arboleda actualmente cuenta con 3 tipos de PLC de diferentes fabricantes. Con base en el estándar se pretende hacer una comparación de las plataformas, para el desarrollo de esta comparación se realizará la automatización de una máquina industrial con los tres diferentes autómatas, siguiendo el siguiente procedimiento:

- Descripción de la máquina.
- Descripción de cada uno de los tres autómatas a utilizar.
- Diseño del proceso a automatizar para la máquina y su respectiva programación con las pruebas en cada uno de los tres autómatas.

IV. DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA

La máquina es un dosificador volumétrico y está instalada en el laboratorio B102 del programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad Sergio Arboleda, Bogotá, Colombia. El dosificador volumétrico es una máquina que deposita líquido en envases plásticos o de vidrio. Tiene dos jeringas suspendidas sobre una banda transportadora, junto a la banda

tiene unos émbolos neumáticos que detienen un envase que esté sobre la banda, justo debajo de las jeringas. Posee dos sensores fotoeléctricos junto a los émbolos para detectar el paso de una botella, y un sensor de posición del émbolo al cual están sujetadas las jeringas, este émbolo lleva las jeringas dentro de las bocas de los envases. A la espalda de la máquina hay un tanque en el centro que distribuye su contenido a dos pequeños tanques, ubicados a los lados, a través de electroválvulas activadas por el controlador. Los dos pequeños tanques a su vez tienen émbolos que desocupan el contenido de cada tanque hacia las jeringas.

En la siguiente tabla se presentan las entradas y salidas de la máquina, y se relacionan las pruebas que se realizaron.

TABLA 1
PRUEBA DEL ESTADO DE LAS ENTRADAS

PRUEBAS ENTRADAS				
	DISPOSITIVO	ACCIÓN	RESULTADO	ESTADO
I0	Botón ON/OFF	Interrumpir	Toda la máquina enciende y apaga	OK
I1	Botón START	Pulsar	Al pulsar el botón se genera una señal de 24v en el terminal y la máquina se inicia	OK
I2	Botón STOP	Pulsar	Sin pulsar el botón genera una señal de 24v, al pulsarlo cambia a 0v. Detiene el proceso de la máquina	OK
I3	Paro de emergencia	Presionar	Al presionar el botón se genera una señal de 24v. Detiene por completo todos los actuadores de la máquina	OK
I4	Sensor 1	Interrumpir	Al interrumpir el sensor se genera una señal de 24V en el terminal. Detecta el paso de una botella.	OK
I5	Sensor 2	Interrumpir	Al interrumpir el sensor se genera una señal de 24V en el terminal. Detecta el paso de una botella.	OK
I6	Sensor tanque 2	Sensar posición	Al accionar manualmente el cilindro del tanque dos se produce una señal de 24v en el terminal. Detecta la posición del embolo del tanque	OK
I7	Sensor dosificador	Sensar posición	Al accionar manualmente el cilindro del dosificador se produce una señal de 24v en el terminal. Detecta la posición de los inyectores.	OK

I11	Sensor tanque 1	Sensar posición	Al accionar manualmente el cilindro del tanque uno se produce una señal de 24v en el terminal. Detecta la posición del embolo del tanque	OK
-----	-----------------	-----------------	--	----

TABLA 2
PRUEBA DE ESTADO DE SALIDAS

PRUEBAS SALIDAS				
	DISPOSITIVO	ACCIÓN	RESULTADO	ESTADO
O0	Banda	Marcha	Al aplicar 24v a esta salida se produce el movimiento de la banda	OK
O1	Llena tanque 2	Sale/Entra	Al aplicar 24v a esta salida se produce el movimiento del embolo	OK
O2	Llena tanque 1	Sale/Entra	Al aplicar 24v a esta salida se produce el movimiento del embolo	OK
O3	Desocupa tanque 1	Sale/Entra	Al aplicar 24v a esta salida se produce el movimiento del embolo	OK
O4	Desocupa tanque 2	Sale/Entra	Al aplicar 24v a esta salida se produce el movimiento del embolo	OK
O5	Embolo 1	Sale/Entra	Al aplicar 24v a esta salida se produce el movimiento del embolo	OK
O6	Embolo 2	Sale/Entra	Al aplicar 24v a esta salida se produce el movimiento del embolo	OK
O7	Dosificador	Sale/Entra	Al aplicar 24v a esta salida se produce el movimiento del embolo	OK
0	PWM	Señal de voltaje de 0 - 10v	Si se varia el voltaje en este pin la banda varia de velocidad	OK
O10	GND	Señal de tierra	Si este terminal no está conectado a tierra la banda no funciona	OK

Funcionamiento de la máquina: A continuación se presenta un caso general y simplificado del proceso de funcionamiento de la máquina.

La maquina debe conectarse a una toma trifásica de 60Hz, la toma de aire debe estar entre 1-8 Bar de presión, y de ser necesario se debe desenclavar el paro de emergencia. Presionando el botón START la máquina inicia su proceso, la banda se pone en movimiento, cuando los sensores fotoeléctricos detectan botellas los émbolos de parada deben activarse, y la banda parar después de un corto tiempo. Una

vez la banda pare y las botellas estén en posición, el controlador acciona el émbolo de las jeringas, y cuando el sensor indique que estén abajo se accionan los émbolos de los tanques para vaciar su contenido hacia los envases. Posteriormente se devuelven los émbolos de los tanques, se vuelven a llenar, y se suben las jeringas, se retiran los émbolos de parada y se pone la banda nuevamente en movimiento. En caso de que llegue solo una botella el controlador debe accionar solo un embolo de tanque para evitar derrames.

En la siguiente figura se muestra la respectiva máquina de estados:

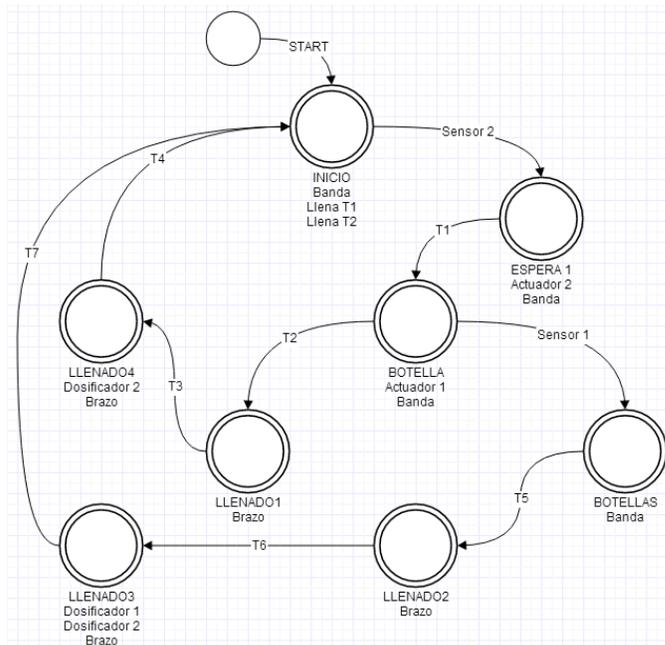


Figura 1. Diagrama de estados de la máquina

V. DESCRIPCIÓN DE LOS AUTÓMATAS

Para la automatización de la máquina se utilizaron tres PLCs, Unitronix V120-UA2, Siemens S7 1200, y USA PLC1. A continuación se relacionan las características de los mismos, se da una breve descripción del controlador y sus herramientas de programación, también se incluyen sus respectivas pruebas para validar el estado de los autómatas.

1. Unitronix V120-UA2

El controlador Unitronix Vision 120-22-UA2 ha sido diseñado para tareas de control de mediano y alto nivel. Estas tareas se programan a través de un PC conectado al controlador por medio de sus puertos de comunicación serial (COM). Los programas y módulos de programa se crean en diagrama de contactos (KOP) con la ayuda del software de programación Visilogic.

TABLE 3
CARACTERISTICAS DEL PLC V120-UA2

Alimentación	24Vdc
Entradas	12 entradas pnp o npn Dos entradas configurables High speed counter Dos entradas configurables para termocupla Dos entradas análogas configurables(4mA-20mA o 0Vdc-10Vdc)
Salidas	10 salidas pnp Dos salidas análogas configurables(4mA-20mA o 0Vdc-10Vdc)
Operandos	192 temporizadores 24 contadores 256 registros HMI Displays up to 255 Strings y Buffer para almacenamiento de información
Puertos	2 puertos RS232/485

Visilogic es una herramienta que permite crear y descargar proyectos de control para los PLCs de la familia Vision. Posee cuatro editores distintos para la creación del proyecto de control cada uno en ventanas independientes. El primero es una ventana de configuración de Hardware, donde seleccionamos el modelo de PLC a utilizar y configuramos las entradas y salidas, digitales y análogas. En otra ventana creamos la rutina del PLC en Ladder. Los otros editores permiten la modificación de la HMI del PLC, y modificar las variables utilizadas en el proyecto.

Prueba del estado del autómeta:

TABLE 4
PRUEBA DEL ESTADO DE SALIDAS DEL PLC V120-UA2

Escritor del Test: Max Herrera						
Nombre del Test	Prueba de entradas y salidas			Test ID		
Descripción	Prueba el correcto funcionamiento de todas las entradas y las salidas digitales del PLC Unitronix V120			Tipo	White box	
Información del Tester						
Nombre del Tester	Prueba de funcionamiento en V120-UA2			Fecha	22/04/15	
Versión de Hardware	Unitronix V120-UA2			Hora	3:00pm	
Configuración	Se ha programado una rutina en el PLC que conecta las entradas digitales con las salidas respectivas, haciendo que cuando se encienda una entrada, la salida también lo haga					
Test	Acción	Salida Esperada	Paso	Fallo	N/A	Comentarios
O0	Set I0	O0 set	X			(Ninguno)
O1	Set I1	O1 set	X			(Ninguno)
O2	Set I2	O0 set	X			(Ninguno)
O3	Set I3	O1 set	X			(Ninguno)

O4	Set I4	O0 set	X			(Ninguno)
O5	Set I5	O1 set	X			(Ninguno)
O6	Set I6	O0 set	X			(Ninguno)
O7	Set I7	O1 set	X			(Ninguno)
O8	Set I8	O0 set	X			(Ninguno)
O9	Set I9	O1 set	X			

2. Siemens S7-1200:

El sistema de automatización SIMATIC S7-1200 es un pequeño controlador modular mini para el menor rango de rendimiento. Una amplia gama de módulos están disponibles para una adaptación óptima a la tarea de automatización. El controlador S7 se compone de una CPU está equipada con entradas y salidas para señales digitales y analógicas. Módulos de entrada y salida adicionales (módulos IO) se pueden instalar si las entradas y salidas integradas no son suficientes para la aplicación deseada. El S7-1200 cuenta con una interfaz TCP / IP integrada. Si es necesario, es posible agregar módulos de comunicación para RS232 o RS485.

TABLE 5
CARACTERISTICAS DEL PLC S7-1200

Alimentación	120VAC
Entradas	8 entradas digitales Dos entradas análogas
Salidas	6 salidas digitales 1 salida análoga (Modulo Signal Board)
	4 high speed counter Ampliación para 3 módulos de comunicación Ampliación para 2 módulos de señales 1 Signal Board
Puertos	Puerto Ethernet

Con el programa de S7, el controlador lógico programable (PLC) vigila y controla una máquina o un proceso, mediante el cual los módulos IO se sondan en el programa S7 por medio de las direcciones de entrada (% I) y las direcciones de salida (% Q).

El sistema está programado con el software STEP 7 Basic V10.5.

Con STEP 7 Basic V10.5, las siguientes funciones se pueden utilizar para automatizar una planta:

- Configuración y parametrización del hardware.
- Definición de la comunicación.
- Programación.
- Pruebas, puesta en marcha y servicio con las funciones de diagnóstico y de operación.
- Documentación.
- La generación de las pantallas visuales para los paneles SIMATIC básicos.

Pruebas del estado del autómata:

TABLA 6
PRUEBA DEL ESTADO DE SALIDAS DEL PLC S7-1200

Escritor del Test: Max Herrera						
Nombre del Test	Prueba de entradas y salidas				Test ID	
Descripción	Prueba el correcto funcionamiento de todas las entradas y las salidas digitales del PLC S7-1200				Tipo	White box
Información del Tester						
Nombre del Tester	Prueba de funcionamiento en S7 1200			Fecha	22/04/15	
Versión de Hardware	Siemens S7 1200			Hora	4:00pm	
Configuración	Se ha programado una rutina en el PLC que conecta las entradas digitales con las salidas respectivas, haciendo que cuando se encienda una entrada, la salida también lo haga					
Test	Acción	Salida Esperada	Paso	Fallo	N/A	Comentarios
Q0	Set I0	Q0 set	X			(Ninguno)
Q1	Set I1	Q1 set	X			(Ninguno)
Q2	Set I2	Q0 set	X			(Ninguno)
Q3	Set I3	Q1 set	X			(Ninguno)
Q4	Set I4	Q0 set	X			(Ninguno)
Q5	Set I5	Q1 set	X			(Ninguno)

3. USA PLC1:

El autómata, diseñado en el programa de Ingeniería Electrónica de la universidad Sergio Arbolada, está construido con un microcontrolador STM32F4 de arquitectura Cortex M4 de STMicroelectronics. Este microcontrolador posee gran capacidad de procesamiento y periféricos, además de un bajo consumo energético. Partiendo del microcontrolador, se ubicaron los diferentes módulos que serían necesarios en el autómata.

Módulo comunicaciones: Se usa una UART que tiene disponible el microcontrolador.

Módulo Alimentación: Este módulo está comprendido por dos reguladores. Uno de 3.3V – 800mA que suministrara voltaje al microcontrolador y otro de 5V – 3A que regula el voltaje de todo el sistema de procesamiento.

Módulo potencia entradas y salidas: Este módulo se divide en dos, por un lado se tienen las entradas de 24V que son reducidas de voltaje a 3.3V. Por otro lado se tienen las salidas, para estas se usan transistores MOSFET tipo N.

CPU: Se usó el microcontrolador STM32F407VGT6 para el control general de la máquina. Así mismo se incluye un módulo de programación para el microcontrolador.

Módulo HMI externo: Medio donde se ejecuta una aplicación Android. Desde esta es posible controlar el proceso de la máquina, ya que se encuentra conectada a una base de datos de variables de la máquina.

En la siguiente tabla se presentan características técnicas del PLC.

TABLA 7
CARACTERISTICAS DEL PLC USA PLC1

	USA PLC1
Voltaje	24V
Memoria de programa	Configurable
Entradas Digitales	Configurable
Salidas Digitales	Configurable
Entradas Análogas	Configurable
Salidas Análogas	Configurable
Comunicaciones	Bluetooth/serial
Tarjetas de Expansión	Si
Descripción	El USA PL1 es un PLC que utiliza un procesador ARM M3 de 32 bits que provee al sistema de una gran velocidad, dado a que utiliza

El software usado para programar este PLC, dado que tiene arquitectura ARM, es Keil uVision donde se usa un lenguaje de texto estructurado.

También existe la posibilidad de un lenguaje gráfico para este PLC específicamente, donde al software se inserta el diagrama de la máquina de estados y se especifican las variables. [10]

VI. PROGRAMACIÓN DE LOS AUTÓMATAS Y RESULTADOS

Con base en la máquina de estados de la figura 1 se desarrolló un programa en ladder para los PLCs V120 de unitronix y S7 1200 de Siemens, y un programa en lenguaje C para el USA PLC1.

TABLA 8
RESULTADOS DE PROGRAMACIÓN DE LOS PLC SOBRE EL DOSIFICADOR VOLUMETRIC

Escritor del Test: Max Herrera				
Nombre del Test	Prueba de programación		Test ID	
Descripción	Prueba el correcto funcionamiento de la máquina de estados programada en los autómatas		Tipo	White box
Información del Tester				

Nombre del Tester		Prueba de funcionamiento de la máquina			Fecha	24/04/15
Versión de Hardware		S7 1200, V120-UA2, USA PLC1			Hora	4:00pm
Configuración		Se ha programado en los tres PLCs la máquina de estados que ejecuta la rutina de control para la máquina dosificadora				
Step	Acción	Salida Esperada	V120	S7 1200	USA PLC1	Comentarios
1	START	La banda se pone en marcha y se llenan los tanques	OK	OK	OK	(Ninguno)
2	STOP	La banda detiene su avance	OK	OK	OK	(Ninguno)
3	Emstop	La banda se detiene y se resetea el estado de la máquina	OK	OK	OK	(Ninguno)
4	Start HMI	La banda se pone en marcha y se llenan los tanques	N/A	N/A	OK	Posibilidad de la HMI en Android
5	Stop HMI	La banda detiene su avance	N/A	N/A	OK	Posibilidad de la HMI en Android
6	Emstop HMI	La banda se detiene y se resetea el estado de la máquina	N/A	N/A	OK	Posibilidad de la HMI en Android
7	Incr. vel. HMI	Se incrementa la velocidad de la banda	OK	N/A	N/A	Posibilidad de la HMI incorporada en el PLC
8	Decr. vel. HMI	Se disminuye la velocidad de la banda	OK	N/A	N/A	Posibilidad de la HMI incorporada en el PLC
9	Sensor 1	No debe haber respuesta en primera instancia	OK	OK	OK	(Ninguno)
10	Sensor 2	Se activa el actuador de paro y la banda se detiene luego de un tiempo si no se perturba el sensor 1, se desocupa solo un tanque	OK	OK	OK	(Ninguno)
11	Sensor1	La banda se detiene, bajan los inyectores y se desocupan los dos tanques	OK	OK	OK	(Ninguno)

Se observa en la tabla que los tres PLC funcionan correctamente con las acciones de los botones START, STOP y Paro de Emergencia. La HMI de Android se desarrolló solo

para el USA PLC1, que cuenta con una conexión a una base de datos, mientras que las funciones de aumentar y reducir la velocidad de la banda se programaron para la HMI incorporada del PLC Unitronix V120-UA2. En cuanto a las acciones que deben tomar según las señales de los sensores, los tres PLC responden de manera adecuada siguiendo el proceso diseñado.

VII. CONCLUSIONES

El diseño del autómatas USA PLC1 cumple con la función fundamental de un PLC comercial como se pudo comprobar en las pruebas, comparando su funcionamiento con los PLCs Siemens S7 1200 y Unitronix V120, es capaz de soportar el diseño de máquinas de estado para automatización industrial, incluyendo interfaz humano máquina (HMI).

El lenguaje de programación del USA PLC1 requiere más conocimiento sobre la arquitectura del PLC por parte de su programador, que la requerida para los PLCs S7 1200 y V120, ya que es un lenguaje de nivel medio y se programa directamente el microcontrolador, pero permite un código más óptimo y su extensión se ve limitada por la memoria de programa del microcontrolador, mientras que los software de programación del V120 y S7 1200 tienen un número limitado de nodos.

Se validó el diseño de la máquina de estados en tres autómatas diferentes comprobando el correcto funcionamiento de la máquina dosificadora volumétrica. Así mismo se validó, con las pruebas iniciales y la prueba en máquina, el diseño del autómatas USA PLC1, comprobando que su funcionamiento no difiere de los demás autómatas.

REFERENCIAS

- [1] H. F. Stangl Herrera, «Principales causas de quiebra,» *Portafolio*, 2011.
- [2] C. Soriano, Noviembre 2005. [En línea]. Available: <http://www.gestiopolis.com/canales5/emp/ochentapy.htm>.
- [3] A. G. Higuera, Cim: el computador en la automatización de la producción, Cuenca: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, 2007.
- [4] PLCopen, «PLCopen for efficiency in automation,» 2014. [En línea]. Available: http://www.plcopen.org/pages/tc1_standards/iec61131-1/index.htm. [Último acceso: 25 Marzo 2015].
- [5] L. E. Robles Cañon, «Diseño de una metodología de vigilancia tecnológica y aplicación al caso de autómatas programables,» Universidad Sergio Arboleda, Bogotá D.C., 2014.
- [6] M. Tiegelkamp y K.-H. John, IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems, Berlin: Springer, 2010.
- [7] MICRO PNEUMATIC S.A., «Dosificador Volumetrico, manual de usuario,» Bogotá D.C., 2010.
- [8] SIEMENS AG, «SIMATIC S7 Controlador programable S7-1200, manual del sistema,» Nürnberg, 2012.
- [9] UNITRONIX, «V120-22-UA2 Graphic Operator Panel & Programmable Logic Controller,» 2004.
- [10] C. A. M. Herrera, Lenguaje de programación gráfico para desarrollar sistemas de automatización basado en dispositivos ARM, Bogotá D.C., 2013.

- [11] J. S. Moreno Morales y D. Torres García, Modernización de maquina electroneumática con aplicación en maquina llenadora de envases, Bogotá D.C.: Universidad Sergio Arboleda, 2013.