

AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE FISCHERTECHNIK DEL LABORATORIO
DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL UTILIZANDO UN PLC SIEMENS S7-1500

JOSÉ RICARDO ROSALES MORENO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2021

AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE FISCHERTECHNIK DEL LABORATORIO
DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL UTILIZANDO UN PLC SIEMENS S7-1500

JOSÉ RICARDO ROSALES MORENO

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Electrónico

DIRECTOR:

JAIME GUILLERMO BARRERO PÉREZ

Magíster en potencia eléctrica

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2021

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado lo dedico primeramente a Dios como el autor de toda dádiva y de la fuerza para llevar a cabo esta labor.

En segundo lugar, a mis padres, Alí José y Dorian por sus sacrificios y apoyo incondicional en los buenos y malos momentos, así como a mis hermanos Elizabeth y Angel Mauricio y demás familiares y amigos que con su consejo y acciones promovieron el cumplimiento de este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la familia UIS, a los docentes David Eugenio Forero Martínez, Jaime Guillermo Barrero Pérez y Ricardo Alzate Castaño, así como a los ingenieros y laboratoristas Liliana y Guillermo, cuyos aportes fueron imprescindibles para encontrar la solución a los distintos problemas presentados.

A todos los compañeros de estudio y colegas, entre ellos Sebastián Benjumea y Noé Riaño por aporte de tiempo y conocimientos.

Finalmente, a mis amigos, entre ellos Martha Parra y Ramiro Pérez, quienes fueron una guía en distintas etapas de desarrollo del proceso académico, así como humano.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. OBJETIVOS.....	16
1.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
2. CUERPO DEL TRABAJO	17
2.1 MARCO REFERENCIAL.....	17
2.1.1 Descripción general del proyecto.....	18
2.1.2 Descripción detallada del proyecto	19
2.1.2.1 Circuito interfaz.	20
2.1.2.1.1 Circuito típico para el fototransistor.....	23
2.1.2.1.2 Circuito típico para el led.....	25
2.1.2.1.3 Circuito típico del final de carrera.....	25
2.1.2.1.4 Circuito típico para el control del sentido de giro de un motor DC (6-9 [Vdc], 0,65 [A] max).....	26
2.1.2.1.5 Circuito típico regulador de tensiones.....	30
2.1.2.1.6 Circuito típico <i>Encoder</i> (para 5 motores DC de 9 [Vdc] y 0,5 [A]) con Efecto Hall.....	30
2.1.2.1.7 Circuito típico del compresor y de la electroválvula.	33
2.1.2.1.8 Circuito típico Led controlado.....	34
2.1.2.1.9 Circuito típico para sensor de color Fischertechnik.....	35
2.1.2.2 PCB.....	36
2.1.2.3 Programación.....	38
3. CONCLUSIONES	44

4. RECOMENDACIONES.....45

BIBLIOGRAFÍA.....46

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Caracterización de los elementos que componen la planta Fischertechnik	20
Cuadro 2. Máximo número de elementos de la planta Fischertechnik respecto a todas las etapas de la línea de producción.....	21
Cuadro 3. Niveles de tensión entregados en la salida, por el sensor de color Fischertechnik.....	36

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de conexión interna del optoacoplador PC817	23
Figura 2. Circuito típico que comunica el fototransistor con el PLC.	24
Figura 3. Circuito típico del Led que acompaña el fototransistor.	25
Figura 4. Circuito típico del final de carrera.	26
Figura 5. Circuito típico para aislar tensiones y corrientes entre el PLC y el motor DC.....	28
Figura 6. Circuito típico integrado L293D, puente H para inversión de giro del motor DC.....	29
Figura 7. Circuito típico Regulador de tensiones de 9 [Vdc] a 5[Vdc]	30
Figura 8. Circuito típico encoder (para 5 motores) con efecto Hall.	32
Figura 9. Diagrama de conexión interna del sensor infrarrojo CNY70 e imagen real del mismo identificando sus partes.	33
Figura 10. Circuito típico del Compresor, de la electroválvula y Led controlado....	35
Figura 11. Cara superior de la PCB, con el circuito interfaz entre la planta y el PLC, diseñada en Kicad.	37
Figura 12. Cara inferior de la PCB, con el circuito interfaz entre la planta y el PLC, diseñada en Kicad.	37
Figura 13. Sección de graficet del almacén elevado automatizado de piezas.....	40
Figura 14. Sección del Ladder del almacén de elevado automatizado de piezas (Se activan los estados).	41
Figura 15. Sección del <i>Ladder</i> del almacén de elevado automatizado de piezas (Se ejecutan las acciones y se activan temporizadores y contadores).....	42

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Planta Fischertechnik, señalando sus cinco etapas	19
Fotografía 2. Fototransistor tipo NPN	24
Fotografía 3. Led a 9 [Vdc] que acompaña el fototransistor.	25
Fotografía 4. Final de carrera.....	26
Fotografía 5. Motor DC (6-9 [Vdc], 0,65 [A] máx.).....	29
Fotografía 6. Motor DC (9 [Vdc] y 0,5 [A]), con sensor magnético interno y cable de conexión de tres polos.	31
Fotografía 7. Compresor (9 [V], 200 [mA], 0,8 [bar]) y electroválvula 3/2 (9-12 [Vdc], 133 [mA]) Fischertechnik.	34
Fotografía 8. Sensor analógico de color Fischertechnik.	36

LISTA DE ANEXOS

“Ver anexos adjuntos y pueden visualizarse en la base de datos de la Biblioteca UIS”

Anexo A. Diseño de la PCB en Kicad

Anexo B. Programación en Lenguaje Ladder Para PLC Siemens S7-1500

Anexo C. Diagramas o Representación Gráfica de la Secuencia Lógica Grafcet

Anexo D. Datasheetde cada uno de los Dispositivos Que Integran la PCB

GLOSARIO

CIRCUITO INTERFAZ: es el conjunto de elementos electrónicos, dispositivos, fuentes de tensión, conexiones, etc. Que al interconectarse adecuadamente realizan la función de puente o conexión entre dos partes o secciones.

ENABLE: Puerto o pin físico de un dispositivo o sistema, el cual, si se encuentra en un nivel lógico alto, hace dicho dispositivo o sistema operacional, es decir lo activa.

GRAFSET: diagrama o representación gráfica de una secuencia lógica, basada en estados, transiciones, entradas y salidas.

LADDER: Lenguaje de programación que hace parte del software TIA portal, se basa en lógica de contactos y bobinas, se parte del grafset para diseñar el ladder de una secuencia lógica, para nuestro caso de la línea de producción.

PCB: Es la tarjeta física que contiene todo el circuito impreso en ella. Para este proyecto cumple la función de enlazar la parte de control y la parte que ejecución y sensado, en otras palabras, conecta el PLC y la planta.

PLANTA FISCHERTECHNIK: En el presente documento también se nombran como línea de producción, planta o fábrica; se refiere a todos los componentes de sensado y accionamiento que permiten llevar a cabo un proceso industrial, en este caso, en una planta a escala, que simula un proceso real.

PLC: controlador lógico programable o por sus siglas en inglés (programmable logic controller) o también autómatas programables. Es un computador utilizado en automatización industrial, para poner en funcionamiento independiente un sistema electro mecánico, electro neumático, electro hidráulico, entre otros.

SENSAR (SENSADO): Aunque esta palabra no es reconocida formalmente por la real academia española, es correcto usarla en este contexto, ya que está asociada al sustantivo sensor (dispositivo que detecta una determinada acción externa, como temperatura, presión, luz, etc., y la transmite adecuadamente). Es, por tanto, un verbo que indica medir cierta cantidad física.

RESUMEN

TITULO: AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE FISCHERTECHNIK DEL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL UTILIZANDO UN PLC SIEMENS S7-1500*

AUTOR: JOSÉ RICARDO ROSALES MORENO**

PALABRAS CLAVE: PLC SIEMENS S7-1500, PCB, LADDER, GRAFCET, PLANTA FISCHERTENIK, CIRCUITO INTERFAZ, SENSAR.

DESCRIPCIÓN:

La planta a escala Fischertechnik adquirida por la Universidad industrial de Santander (UIS), viene subdividida en varias estaciones, por cada una de las cuales pasa una pieza de madera siguiendo una secuencia automatizada, simulando las transformaciones que sufre un objeto al ser sometido a un proceso industrial real. En el presente proyecto de grado se diseñó y construyó el hardware y software necesario para la comunicación entre la línea de producción (Planta Fischertechnik) y un PLC (Siemens S7-1500).

El hardware consta de una PCB con un circuito específico que hace de interfaz física entre la parte de mando y la sección de control, posee circuitos que tienen la capacidad de aislar y reducir las tensiones entregadas por el PLC, con respecto a las tensiones manejadas por los distintos elementos de sensado y accionamiento de la planta. La interconexión se diseñó y construyó como una tarjeta universal, debido a que permite la comunicación entre la planta Fischertechnik y el PLC Siemens S7-1500, para cualquiera de las cinco etapas de la fábrica, integrando todos los circuitos típicos de cada uno de los elementos de la línea de producción.

El software consiste en la programación en la plataforma TIA Portal en lenguaje escalera (*Ladder*) para el control automatizado de la fábrica. Se trazó una secuencia lógica para cada una de las etapas, que permite verificar el correcto funcionamiento del diseño y la cuál puede ser adaptada para diferentes secuencias, según se desee. La lógica descrita previamente está basada en una representación gráfica de una secuencia lógica (Grafcet).

Mediante los resultados entregados por este proyecto de grado, los estudiantes van a poder programar soluciones de automatización para una secuencia industrial a escala.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones Director: Jaime Guillermo Barrero Pérez. Magíster en Potencia Eléctrica.

ABSTRACT

TITLE: AUTOMATION OF THE FISCHERTECHNIK PLANT OF THE AUTOMATION AND CONTROL LABORATORY USING A SIEMENS S7-1500 PLC*

AUTHOR: JOSÉ RICARDO ROSALES MORENO**

KEYWORDS: SIEMENS S7-1500 PLC, PCB, LADDER, GRAFCET, FISCHERTENIK PLANT, INTERFACE CIRCUIT, SENSAR.

DESCRIPTION:

The Fischertechnik scale plant acquired by the Industrial University of Santander (UIS), is subdivided into several stations, each of which passes a piece of wood following an automated sequence, simulating the transformations that an object endures when subjected to a real industrial process. In this degree project, the hardware and software necessary for communication between the production line (Fischertechnik Plant) and a PLC (Siemens S7-1500) were designed and built.

The hardware consists of a PCB with a specific circuit that acts as a physical interface between the command part and the control section, it has circuits that have the ability to isolate and reduce the voltages delivered by the PLC, with respect to the voltages handled by the different sensing and actuating elements of the plant. The interconnection was designed and built as a universal target, since it allows communication between the Fischertechnik plant and the Siemens S7-1500 PLC, for any of the five stages of the factory, integrating all the typical circuits of each of the elements of the production line.

The software consists of programming on the TIA Portal platform in ladder language for automated control of the factory. A logical sequence was sketch for each of the stages, which allows to verify the correct operation of the design and which can be adapted for different sequences, as desired. The logic described previously is based on a graphical representation of a logic sequence (Grafcet).

Through the results presented by this degree project, students will be able to program automation solutions for an industrial sequence at scale.

* Degree work

** Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering Director: Jaime Guillermo Barrero Pérez. Electrical Power

INTRODUCCIÓN

La planta de Fischertechnik se adquirió para usarse en prácticas de laboratorio, esta permite simular cinco procesos o etapas: almacén automatizado elevado de piezas, estación de manipulación con brazo neumático por aspiración al vacío, sección de horneado, sección de fresado y finalmente etapa de clasificación de piezas mediante un sensor analógico de color.

La misma viene con controladores propios del Fischertechnik, mostrados en su página oficial, sin embargo, se determinó aumentar su versatilidad aprovechando esta infraestructura para controlarla desde un PLC de referencia Siemens S7-1500, puesto que son los que se encuentran en el laboratorio de automatización y control E3T. Lo anteriormente descrito también se realizó debido a que las secuencias realizadas por la planta mediante el control con el PLC seleccionado, se aplican a determinados procesos reales requeridos en la industria.

Para hacer el cambio en la parte de control de la planta, es decir reemplazar los controladores originales y conectarla al PLC Siemens S7-1500, garantizando una comunicación segura (eléctricamente) se diseñó una interfaz, identificando el número de entradas y salidas tanto analógicas como digitales del PLC, así como un inventario detallados de los elementos que compone la planta.

La interfaz que se diseñó y construyó como una PCB universal, posee circuitos que tienen la capacidad de aislar y reducir las tensiones entregadas por el PLC, con respecto a las tensiones manejadas por los distintos elementos de sensado y accionamiento de la planta. Se programó una secuencia lógica para cada una de las etapas mediante la plataforma TIA Portal, en lenguaje escalera *Ladder*, que permitió verificar el correcto funcionamiento del diseño.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Construir el sistema de automatización de la planta de Fischertechnik del laboratorio de automatización y control utilizando un PLC siemens S7-1500.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Volver a conectar cada elemento de la planta a los pines del controlador original de Fischertechnik, siguiendo el orden mostrado en el proyecto de grado citado en la referencia de la bibliografía, con el fin de realizar un listado I/O de la planta y determinar las señales de control para cada uno de los elementos de la misma¹.
- A partir del listado I/O, en primer lugar, diseñar los esquemáticos de una interfaz electrónica entre la planta Fischertechnik y un PLC Siemens S7-1500 y posteriormente a partir del esquema electrónico construir una PCB, con todos los dispositivos y elementos físicos requeridos.
- Programar las secuencias lógicas de operación para cada una de las cinco etapas de la planta Fischertechnik, mediante la plataforma TIA Portal, en lenguaje *Ladder* utilizando un PLC Siemens S7-1500, basados en diagramas *grafcet*.
- Verificar el funcionamiento y operación de la planta Fischertechnik a partir del control con el PLC seleccionado, comparada con la secuencia original, mostrada en el video de la página oficial de Fischertechnik, citado en la referencia bibliográfica².

¹ DÍAZ SERRANO Camila Andrea, GÓMEZ QUINTILLA Jhon Alexander, "Diseño e implementación de 5 prácticas de laboratorio en la asignatura de automatización de procesos por medio del sistema simulación de fábrica de Fischertechnik", 2017.

² Fischertechnik, con el video guía de funcionamiento original de la Planta mencionada previamente. Consultado el 22 de marzo de 2019. Disponible en: <https://www.fischertechnik.de/en/simulating/industry-4-0>

2. CUERPO DEL TRABAJO

2.1 MARCO REFERENCIAL

Para comprender el funcionamiento de la línea de producción fue necesario acudir a la página oficial que diseña estas estructuras didácticas y educativas: Fischertechnik; adicionalmente al proyecto de grado³, donde se hace una explicación detallada de cada componente de la planta, así como de las señales de comunicación entre el microcontrolador y los elementos de la fábrica.

Por otra parte, fue necesario tener los manuales del PLC Siemens S7-1500, para conocer su funcionamiento, pero sobre todo la ubicación, cantidad y niveles de tensión y corriente entregados por los pines analógicos y digitales del mismo. El PLC mencionado cuenta con un módulo con ocho entradas analógicas de 0-10 [Vdc], un módulo con ocho salidas analógicas de 0-10 [Vdc], un módulo con dieciséis entradas digitales a 24 [Vdc] y un módulo con dieciséis salidas digitales a 24 [Vdc].

Así mismo fue necesario saber emplear el software TIA portal, mediante el cual se programa el PLC seleccionado, en lenguaje *Ladder*, cuya lógica está basado en diagrama *grafcet*. Esta es la parte de mando o control, para su uso fue necesario tener los permisos necesarios, los cuales posee la UIS.

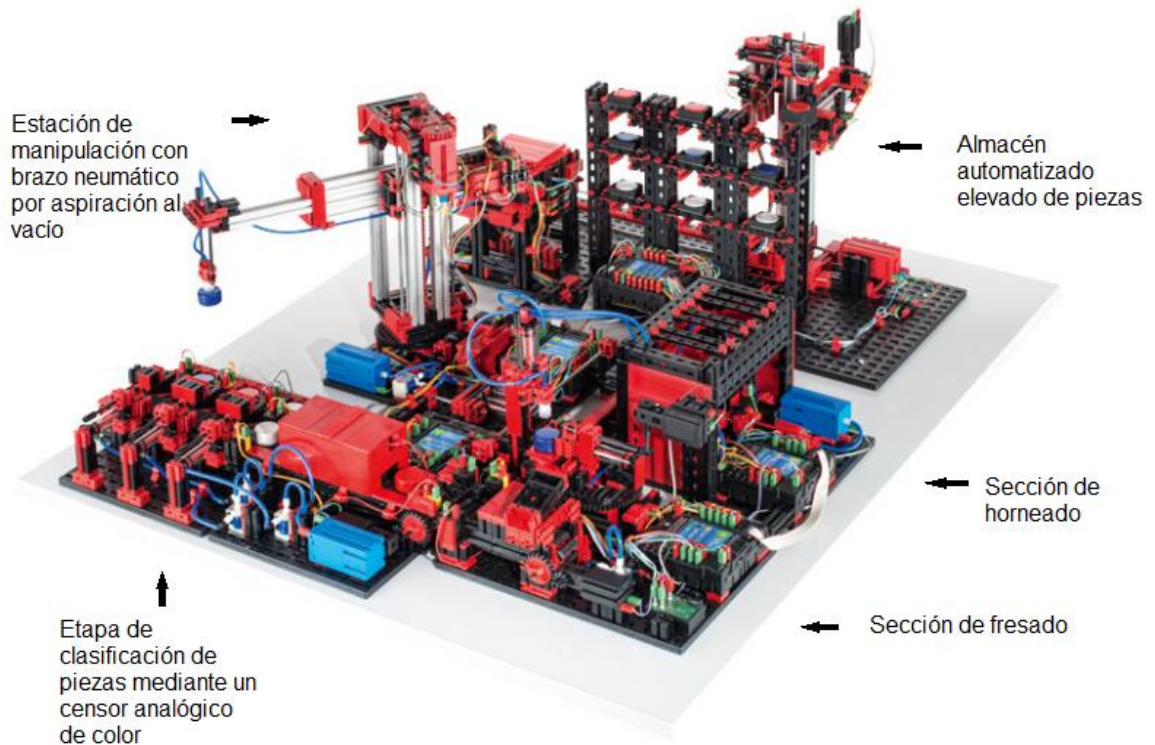
Para el diseño de circuito interfaz entre el PLC y la planta se usaron varios informes proporcionados por estudiantes que trabajaron en semestres previos en este mismo proyecto, así como asesoría por parte de docentes UIS en el área de electrónica. Para diseñar el circuito y luego pasarlo a PCB se hizo uso del software libre Kicad.

³ DÍAZ SERRANO Camila Andrea, GÓMEZ QUINTILLA Jhon Alexander, "Diseño e implementación de 5 prácticas de laboratorio en la asignatura de automatización de procesos por medio del sistema simulación de fábrica de Fischertechnik", 2017.

2.1.1 Descripción general del proyecto. Se deseó construir un circuito que comunicara el PLC siemens S7-1500 con los distintos elementos que conforman la Planta Fischertechnik, para hacerlo fue necesario conocer la clase de señales que podían recibir y entregar, los pines analógicos y digitales que componen el PLC, así como el tipo de señales que controlan cada uno de los elementos que componen la línea de producción. También se sabía que los elementos de la planta manejan tensiones y corrientes distintas a las utilizadas por el PLC, lo cual podría causar daños en los componentes de la misma, si no se aislaban correctamente.

Por otra parte, por defecto la planta venía dividida en cuatro etapas, es decir la sección de horneado y fresado estaban combinadas como una sola gran etapa, pero dirigidas por dos microcontroladores, lo cual constituyó un reto de diseño, porque si se hacía una sola PCB esta ocuparía demasiado espacio superficial, y si se hacían dos PCB, se debía establecer la línea divisoria de cuando acababa una etapa y cuando empezaba la otra, tanto para el correcto diseño de los circuitos físicos, así como, para la programación de la secuencia de operación.

Fotografía 1. Planta Fischertechnik, señalando sus cinco etapas



Fuente: DÍAZ SERRANO. “Diseño e implementación de 5 prácticas de laboratorio en la asignatura de automatización de procesos por medio del sistema simulación de fábrica de Fischertechnik”, 2017.

Se concluyó que la mejor opción fue separar las dos etapas mencionadas previamente, por tanto la planta Fischertechnik quedó organizada en cinco etapas fundamentales: almacén automatizado elevado de piezas, estación de manipulación con brazo neumático por aspiración al vacío, sección de horneado, sección de fresado y finalmente etapa de clasificación de piezas mediante un sensor analógico de color, como se muestra en la fotografía número uno; dentro de cada una de las estaciones, se hallan distribuidos los elementos de sensado y accionamiento que intervienen en el proceso de fabricación.

2.1.2 Descripción detallada del proyecto Primero se estudió el funcionamiento de cada uno de los elementos de sensado y accionamiento que intervienen en la línea

de producción de la planta Fischertechnik, para conocer los tipos de señales que entregan y que reciben los mismos en relación al microcontrolador “Robotics TXT” que viene por defecto con la fábrica. A partir de esta información se diseñó el circuito interfaz entre la planta y el PLC seleccionado, debido a que este último será el nuevo controlador.

Al mismo tiempo se estudiaron los pines digitales y analógicos que componen el PLC Siemens S7-1500, con el fin de conocer qué señales se espera del sensado y cuáles se entrega a los actuadores, así se determinó qué dispositivos debe poseer el circuito que conecta este último y la planta y de cuales se puede prescindir con la adecuada programación del PLC.

2.1.2.1 Circuito interfaz. Para determinar cómo están distribuidos los elementos que conforman la planta de Fischertechnik, se hizo un inventario de cuáles y cuántos hay por cada una de las cinco etapas del proceso de fabricación, además, se clasificaron como entrada o salida, respecto al PLC, que es la sección de mando o control. Finalmente se hizo la distinción si el componente responde a una señal analógica o digital. Toda esta información se registró en la tabla número uno, en ella solo se hace mención de los elementos que hacen parte de la fábrica, la descripción detallada de cada uno de ellos se hace más adelante.

Cuadro 1. Caracterización de los elementos que componen la planta Fischertechnik

ETAPA	CANTIDAD	ELEMENTO	IN/OUT (TARJETA INTERFAZ)	DIGITAL/ ANALOGICA
1	2	Fototransistor	Entrada	Digital
	2	Led	Entrada	Digital
	4	Final de carrera	Entrada	Digital
	2	<i>Encoder</i>	Entrada	Digital
	4	Motor dc	Salida	Digital
2	3	Final de carrera	Entrada	Digital
	4	Fototransistor	Entrada	Digital
	4	Led	Entrada	Digital
	3	<i>Encoder</i>	Entrada	Digital
	3	motor dc	Salida	Digital
	1	Compresor	Salida	Digital

ETAPA	CANTIDAD	ELEMENTO	IN/OUT (TARJETA INTERFAZ)	DIGITAL/ ANALOGICA
	1	Electroválvula	Salida	Digital
3	4	Final de carrera	Entrada	Digital
	1	Led	Entrada	Digital
	1	Fototransistor	Entrada	Digital
	2	Motor dc	Salida	Digital
	4	3 electroválvulas 1 Led controlado	Salidas	Digital
	1	Compresor	Salida	Digital
4	4	Final de carrera	Entrada	Digital
	1	Led	Entrada	Digital
	1	Fototransistor	Entrad	Digital
	3	Motor dc	Salidas	Digital
	1	Compresor	Salida	Digital
	1	Electroválvula	Salida	Digital
5	5	Led	Entrada	Digital
	5	Fototransistor	Entrada	Digital
	1	Sensor de color (tres cables)	Entrada	Analógica
	1	Compresor	Salida	Digital
	3	Electroválvula	Salida	Digital
	1	Motor dc	Salida	Digital

Fuente: Elaboración propia

Luego de conocer todos los elementos que integran la planta, se hizo un resumen del máximo de cada uno de ellos respecto a todas las etapas de la línea de producción, como se muestra en la tabla número dos. De esta manera diseñar una PCB, tipo universal, que sea útil para cualquiera y cada una de las etapas de la fábrica y al final luego de especificar el circuito interfaz, presentar la tarjeta de circuitos finalizada.

Cuadro 2. Máximo número de elementos de la planta Fischertechnik respecto a todas las etapas de la línea de producción

Cantidad	Elemento de la planta Fischertechnik
4	Finales de carrera
4	Motores dc
3	Encoder
5	Electroválvula, compresor, Led controlado.
5	Fototransistor
5	Led

Fuente: Elaboración propia

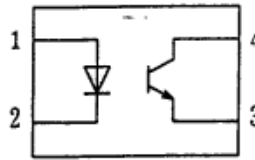
Nota: La electroválvula, el compresor y el Led controlado van en la misma casilla porque el circuito que conecta a cada uno de estos elementos con el PLC es idéntico, el mapa electrónico respectivo se mostrará más adelante.

Por otro lado, es importante resaltar que la lógica de los elementos de la planta Fischertechnik es de 9 [Vdc], de allí que la fuente de alimentación externa para los elementos activos de la fábrica es de este valor de tensión, en cambio los pines digitales tanto de salida como de entrada del PLC entregan y reciben 24 [Vdc] respectivamente; de allí la importancia de un circuito interfaz planta-PLC.

En la gran mayoría de los circuitos típicos que conectan un elemento de la fábrica con el PLC hay un optoacoplador, debido a que este funciona como aislador de corriente y tensión entre la parte de mando y la de proceso, garantizando protección a los dispositivos de la fábrica y adicionalmente cumple la función de interruptor, ya que ante una señal de tensión típica de 1,2 [Vdc] en la entrada establece un nivel lógico alto a la salida y en caso de no recibir una señal de tensión (o si es muy baja respecto a los 1,2 [Vdc]) en la entrada establece un nivel lógico bajo a la salida.

El optoacoplador seleccionado fue el PC817 varias razones: es fácil de encontrar en el mercado, es económico, tiene 4 pines, que son los estrictamente necesarios para nuestro caso reduciendo espacio superficial, se puede adaptar fácilmente resistencia en la entrada donde está ubicado un diodo y en la salida donde se encuentra un transistor (como se muestra en la figura número uno) para que soporte los niveles de tensión mencionados en párrafos anteriores (9 [Vdc] de la planta y 24 [Vdc] del PLC) .

Figura 1. Diagrama de conexión interna del optoacoplador PC817



Nota: Hay otro integrado de 8 pines, el MCT6, internamente lleva dos optoacopladores, sin embargo, la corriente típica que pasa por el colector es 20 [mA] menor que la del PC817, lo cual no es conveniente para algunos circuitos del proyecto.

2.1.2.1.1 Circuito típico para el fototransistor. Según la descripción del producto dada en la página oficial de Fischertechnik, el fototransistor es un “sensor” que reacciona al brillo, y según la hoja de datos del producto, es un transistor bipolar NPN que opera junto con un Led. Cuando la luz del Led incide en el fototransistor, permite el flujo de corriente y establece un nivel lógico alto. Cuando un objeto pasa entre el fototransistor y el Led, interrumpe el paso de luz, por lo que no fluye corriente, estableciendo un nivel lógico bajo.

El comportamiento descrito previamente se considera como una lógica negativa, por lo tanto, dentro del circuito que comunica el fototransistor con el PLC se incluyó una etapa de inversión, logrando que, al pasar el objeto por el sensor, establezca un nivel lógico alto, de tal forma que envíe una señal al PLC, de que el objeto está pasando en ese momento; para lo cual se usaron algunas resistencias y un transistor tip41C como se muestra en la figura número dos. Se seleccionó este último debido a que es fácil de encontrar en el mercado, es económico y permite un paso de corriente a la salida suficiente para que el PLC reconozca un nivel lógico alto cuando a la entrada se dé la señal.

Nota: Otro integrado posible que se pensó usar en lugar del tip41C fue el 2N2222, pero esta entrega una corriente en el colector de 800 [mA], menor a la requerida,

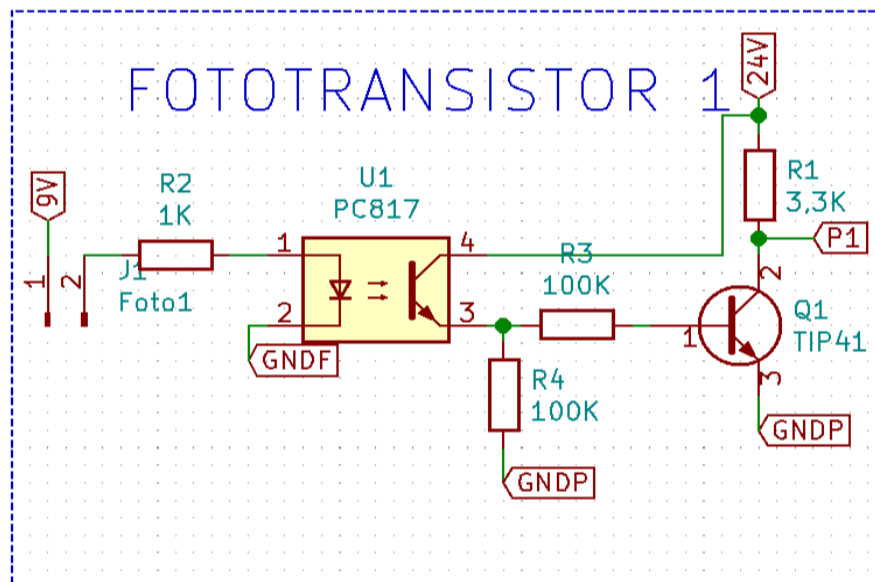
comparado al tip41C permite una corriente de colector de 4 a 6 [A] de manera continua.

A partir de la información previa, se establece la conexión de este dispositivo semiconductor, por tanto, respetando la polaridad, la marca roja indica el colector que va conectado al punto de mayor tensión, es decir a una fuente externa de 9 [Vdc] y la marca blanca al de menor tensión (en la fotografía número dos se pueden ver las marcas de polaridad) y se conecta en serie, entre los pines uno y dos abiertos (mostrados en la figura número dos), para permitir o bloquear el flujo de corriente en el momento del sensado, como se muestra en la figura número dos.

Fotografía 2. Fototransistor tipo NPN



Figura 2. Circuito típico que comunica el fototransistor con el PLC.

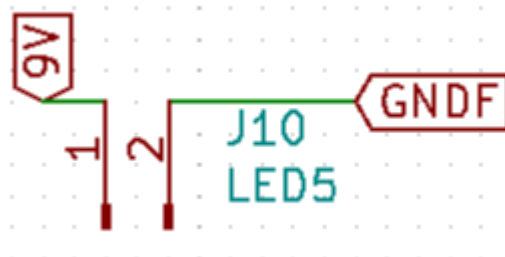


2.1.2.1.2 Circuito típico para el Led. El Led crea un haz de luz que lanza directamente al fototransistor, para hacerlo funcionar, uno de sus terminales va a 9 [Vdc] y el otro a tierra de nueve voltios (GND 9 [Vdc]). A pesar de su simplicidad se hace mención ya que, dentro de la PCB, se tuvieron en cuenta pines físicos para conectarlo.

Fotografía 3. Led a 9 [Vdc] que acompaña el fototransistor.



Figura 3. Circuito típico del Led que acompaña el fototransistor.



2.1.2.1.3 Circuito típico del final de carrera. Es un dispositivo electromecánico, que permite determinar el posicionamiento de un objeto, debido a que este último a medida que se desplaza, oprime directamente un pulsador rojo que posee el final de carrera (mostrado en la fotografía número cuatro). Funciona como un interruptor normalmente abierto, es decir, que cuando se acciona, se cierra el circuito y permite el flujo de corriente. Uno de los terminales del final de carrera va a 9 [Vdc] y se conecta en serie con el circuito, entre los pines uno y dos como se muestra en la figura número cuatro.

Fotografía 4. Final de carrera.

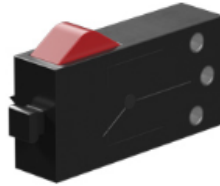
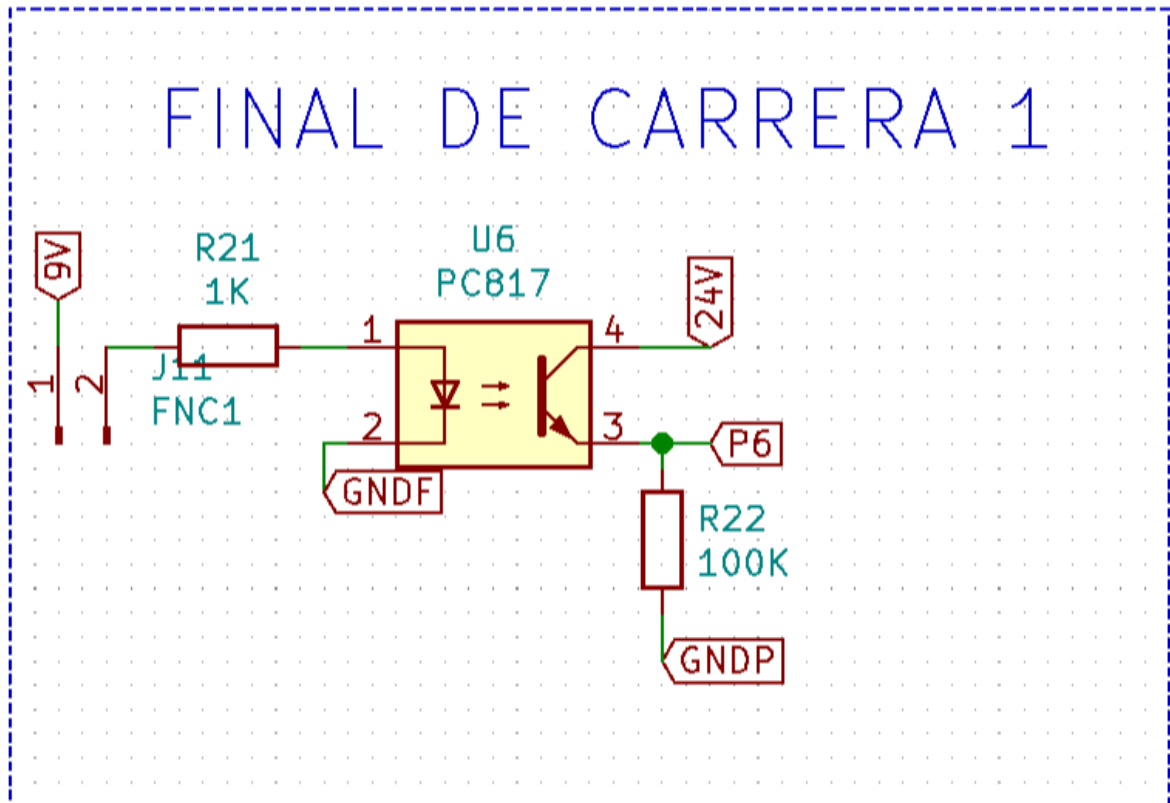


Figura 4. Circuito típico del final de carrera.



2.1.2.1.4 Circuito típico para el control del sentido de giro de un motor DC (6-9 [Vdc], 0,65 [A] máx.). Para controlar este motor desde el PLC, en primer lugar, se diseña un circuito aislante de tensiones y corrientes mediante dos optoacopladores, (como se muestra en la figura número cinco) debido a que, para manejar el sentido de giro, se necesitan dos señales independientes provenientes del PLC.

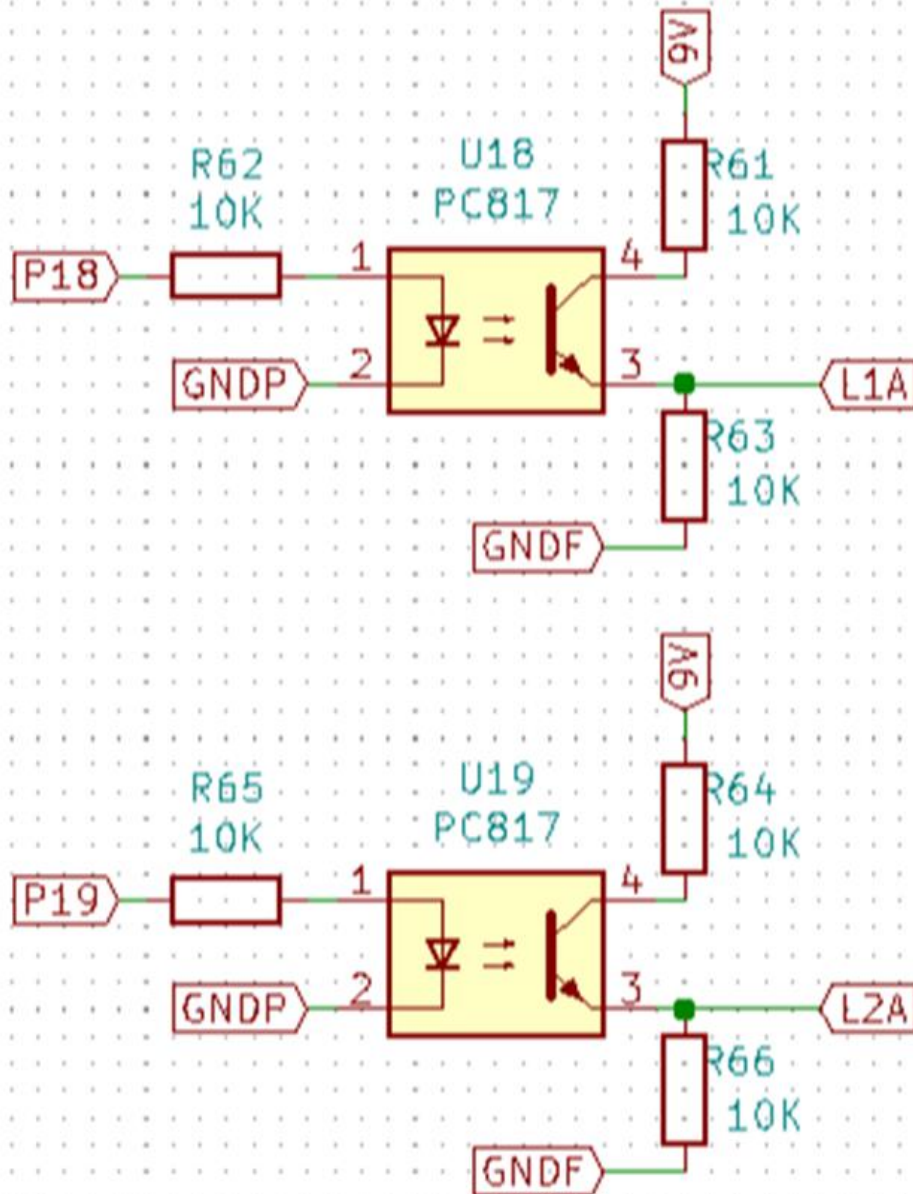
Posteriormente para lograr invertir el sentido de giro, en caso de ser necesario, como en algunas etapas del proceso, se dispone del integrado L293D, que hace de puente H (posee dos circuitos integrados de puente H, es decir se puede usar para dos motores independientes). En la figura número seis se muestra el esquema eléctrico del L293D y a continuación se da una explicación detallada de cómo se debe conectar.

Las señales de entrada son: una fuente externa de 5 [Vdc] para *enable*, una fuente externa de 9 [Vdc] para alimentar el motor y dos indicaciones de control provenientes del PLC a través de los optoacopladores. Estas últimas señales funcionan de la siguiente forma: si una está en nivel lógico alto y la otra en nivel lógico bajo, el motor gira en un sentido, si se invierten, el motor gira en el otro sentido y en caso de estar las dos en nivel lógico bajo o alto no se mueve el motor. Las señales entregadas por los dos pines de salida finalmente van directamente al motor a ser controlado.

Nota: Se pensó en otras opciones de puente H, como por ejemplo, el L298, sin embargo este necesita una fuente de alimentación de entre 46 a 50 [Vdc] y entrega una corriente de salida entre 2 y 4 [A], a diferencia del L293D, que requiere un fuente de alimentación de entre 4.5 a 36 [Vdc], apropiado para este caso, ya que el PLC Siemens S7-1500 suministra 24 [Vdc] de uno de pines, además el puente H seleccionado entrega una corriente a la salida de 600 [mA], mucho más próximo a la corriente típica con la que funciona el motor (650 [mA]).

Figura 5. Circuito típico para aislar tensiones y corrientes entre el PLC y el motor DC.

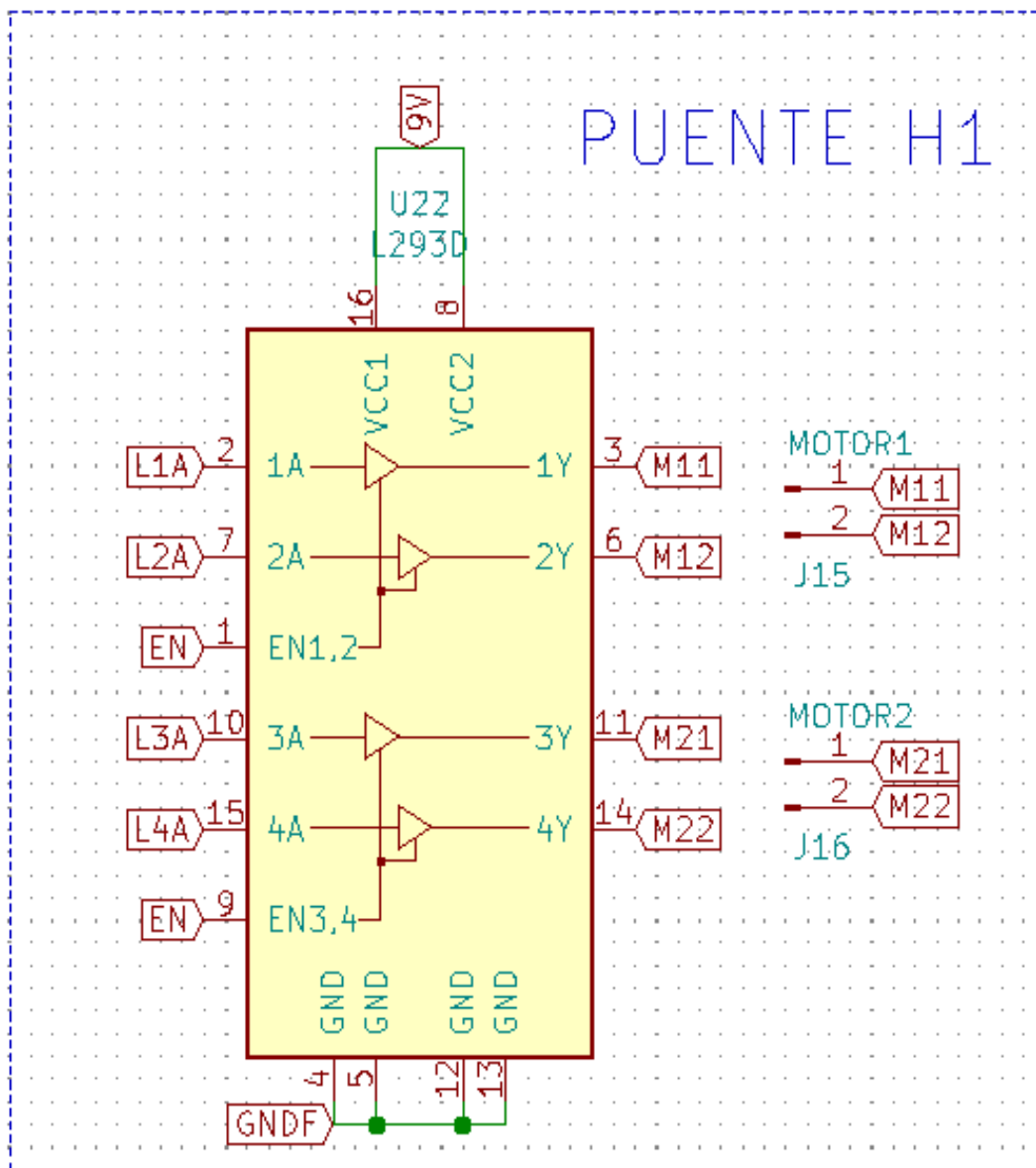
CONTROL MOTORES



Fotografía 5. Motor DC (6-9 [Vdc], 0,65 [A] máx.)

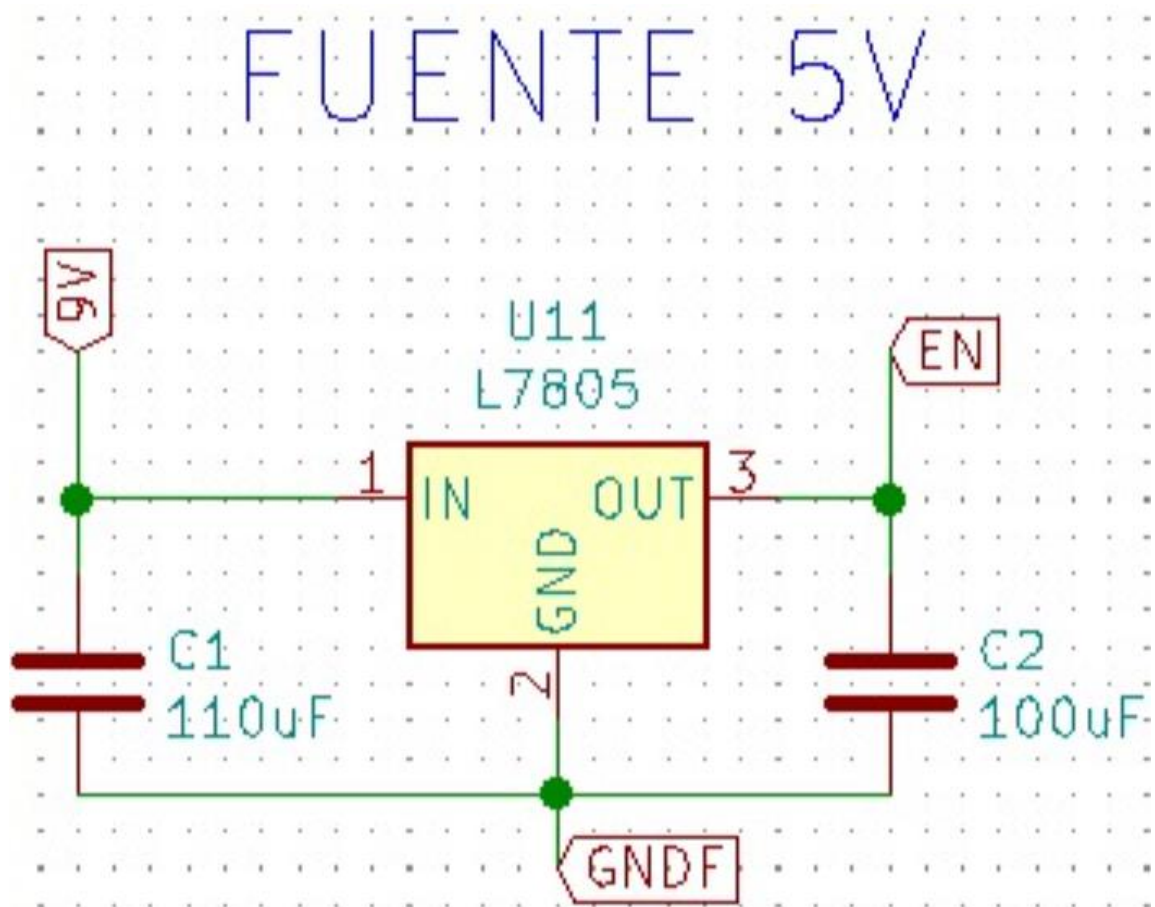


Figura 6. Circuito típico integrado L293D, puente H para inversión de giro del motor DC.



2.1.2.1.5 Circuito típico regulador de tensiones. Este circuito cumple la función de regular dos niveles de tensión, toma los nueve voltios de la fuente que alimenta los elementos de la planta y luego genera cinco voltios para alimentar los pines de *enable* del L293D. Es importante aclarar que las tierras de nueve y cinco voltios se unen o conectan (como se muestra en la figura número siete), sin ningún inconveniente, gracias a este regulador.

Figura 7. Circuito típico Regulador de tensiones de 9 [Vdc] a 5 [Vdc]



2.1.2.1.6 Circuito típico *Encoder* (para 5 motores DC de 9 [Vdc] y 0,5 [A]) con Efecto Hall. Para este motor de corriente continua, el control por parte del PLC e inversión de giro se realiza con los mismos circuitos del motor DC. En su funcionamiento normal, genera movimientos precisos, gracias al conteo que realiza

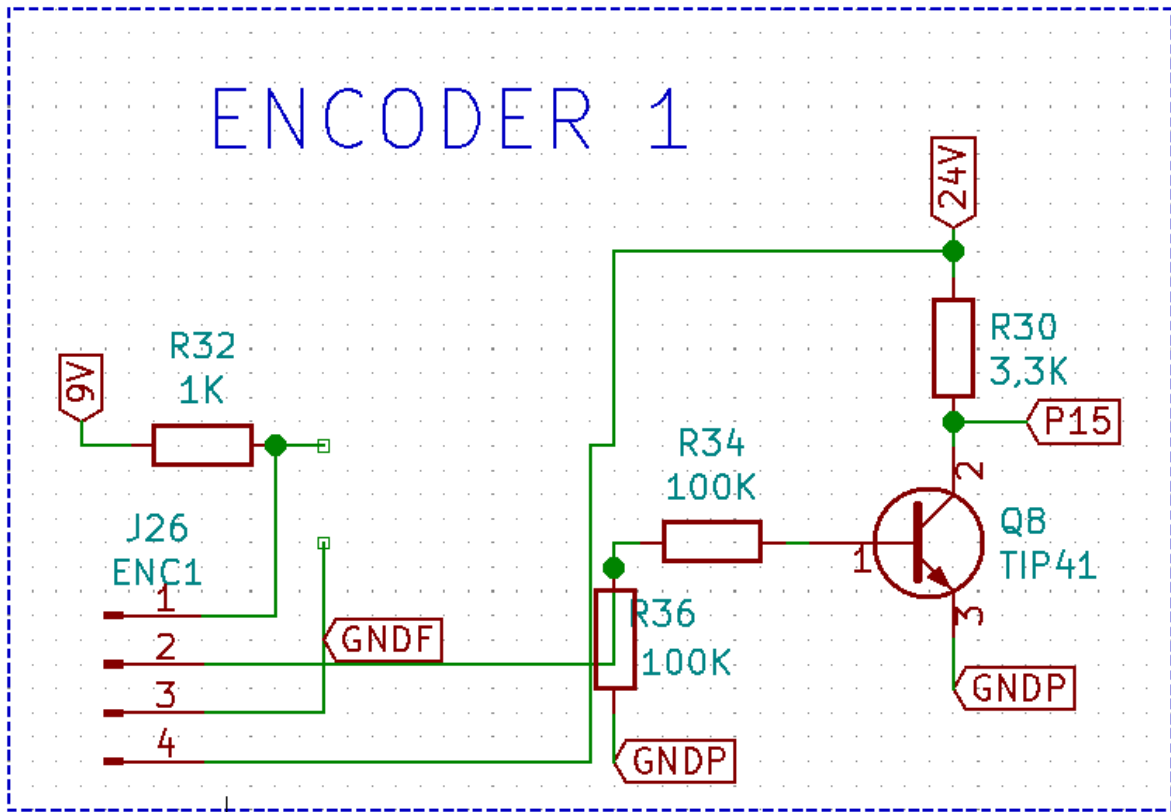
de las revoluciones del motor, mediante el sensor magnético interno y al cable de conexión de tres polos, mostrado en la fotografía número seis.

Sin embargo, al analizar mediante un osciloscopio, la señal que generaba este dispositivo, se observó que es muy inestable y difícil de manipular y transmitir al PLC para tomarlo como punto de referencia en el posicionamiento del motor. Por tanto, se decidió construir un circuito que hiciera de Encoder o Sensado del número de vueltas y mediante programación del PLC, llevar el conteo y así posicionar los motores donde se desea para el proceso requerido.

Fotografía 6. Motor DC (9 [Vdc] y 0,5 [A]), con sensor magnético interno y cable de conexión de tres polos.



Figura 8. Circuito típico encoder (para 5 motores) con efecto Hall.

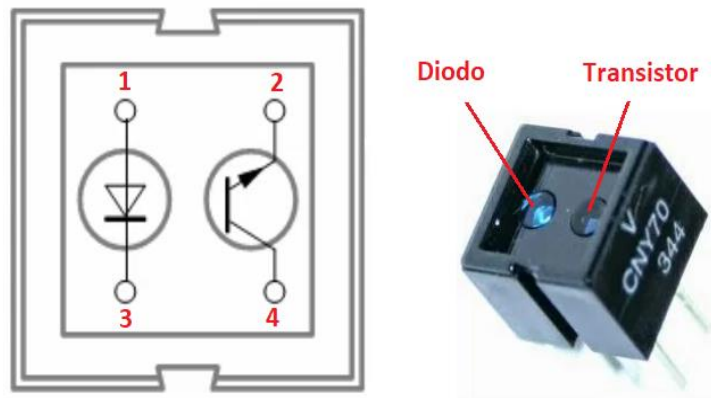


En los cuatro pines de la figura número ocho va conectado el sensor infrarrojo CNY70, que se muestra en la figura número nueve, el cual, cada vez que detecta un punto negro, establece un nivel lógico bajo a la salida (pin número dos). En el eje de rotación del motor se pega un trozo de cinta negra, de tal forma, que cada vez que el motor gire un ciclo completo, el sensor establezca un nivel lógico bajo.

El comportamiento descrito previamente se considera como una lógica negativa, por lo tanto, al pin número dos del esquemático mostrado en la figura número ocho, se conectó una etapa adicional de inversión (idéntica a la diseñada para fototransistor), con un par de resistencias y un transistor tip41C, logrando que, al pasar el punto negro por el sensor, envíe un nivel lógico alto al PLC y así este último ya programado lleve el conteo del número de vueltas.

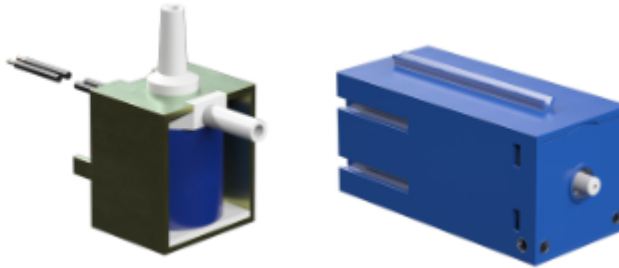
Se seleccionó el CNY70 debido a que además de realizar el sensado, descrito previamente, cumple la función de aislar las tensiones y corrientes entre la sección de control y la parte del proceso.

Figura 9. Diagrama de conexión interna del sensor infrarrojo CNY70 e imagen real del mismo identificando sus partes.



2.1.2.1.7 Circuito típico del compresor y de la electroválvula. El compresor Fischertechnik que viene con la planta, debe ser alimentado por una fuente externa de 9 [Vdc] y consume 200 [mA], genera una presión que asciende de 0,7 a 0,8 [bar], suficiente para controlar los elementos neumáticos. La electroválvula (válvula electromagnética o solenoide) de 3/2 vías, también viene por defecto con la fábrica, debe ser alimentada por una fuente externa entre 9-12 [Vdc] y consume 133 [mA], cumple la función de direccionar el aire a los cilindros neumáticos. Las imágenes tanto del compresor como de la electroválvula se muestran en la fotografía número siete.

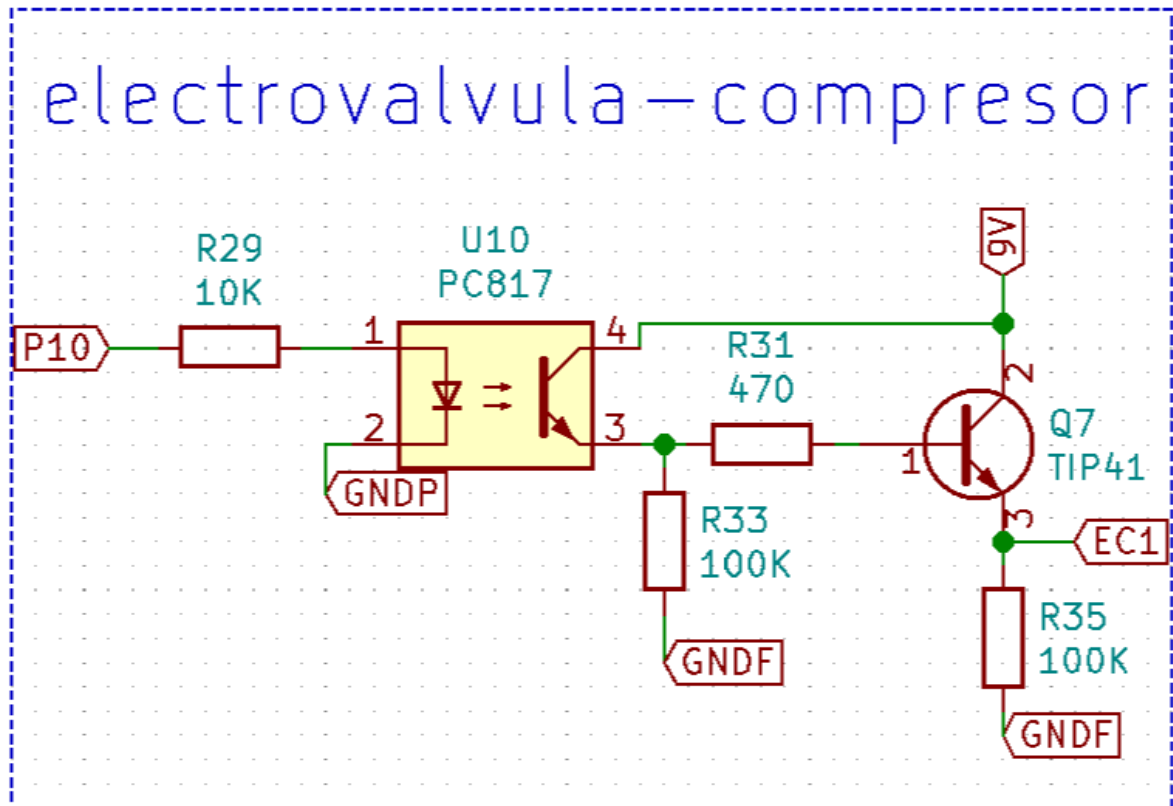
Fotografía 7. Compresor (9 [V], 200 [mA], 0,8 [bar]) y electroválvula 3/2 (9-12 [Vdc], 133 [mA]) Fischertechnik.



El circuito típico para estos dos elementos es el mismo (como se muestra en la figura número diez), consta de un optoacoplador para aislar las tensiones y corrientes, entre la parte de proceso y la parte de control; posteriormente se conectó una etapa adicional, con algunas resistencias y un transistor tip41C, con el fin de alcanzar un paso de corriente a la salida suficiente para alimentar los actuadores, ya que la corriente típica que entrega el colector del optoacoplador es de 50 [mA] en cambio la corriente típica que entrega el colector del tip41C es de 6 [A].

2.1.2.1.8 Circuito típico Led controlado. Es un Led idéntico a los mencionadas anteriormente, excepto en que, este no va a estar activo siempre durante todo el proceso, únicamente durante la etapa de horneado de la pieza, es decir cuando la pieza de madera, que simula el material sometido a los distintos procesos, entra en el horno y permanece un tiempo determinado, luego de ello, el Led se apagará. El circuito típico de este elemento, es el mismo del compresor y de la electroválvula (mostrado en la figura número diez), ya que además de permitir el control desde el PLC, le entrega la tensión de alimentación requerida, 9 [Vdc].

Figura 10. Circuito típico del Compresor, de la electroválvula y Led controlado.



2.1.2.1.9 Circuito típico para sensor de color Fischertechnik. Es un sensor óptico de color (se muestra en la fotografía número ocho), que viene por defecto integrado a la planta. Mide la intensidad de la luz de una superficie o fuente de luz, las lecturas medidas varían según la iluminación del ambiente, la distancia del sensor a la superficie en observación y a la forma del elemento a analizar. Es un sensor activo, es decir necesita una fuente de alimentación entre 6-10 [Vdc] y consume una corriente de 15 [mA] para que el Led que envía la señal de luz se active, posee además un receptor de este rayo de luz reflejado. Su funcionamiento se basa en el principio físico de que los materiales absorben distintos niveles de luz según el color y textura de su superficie.

El aspecto más importante, que permitió la comunicación con el PLC, es que es un sensor analógico de 10 [Vdc], lo cual es muy acertado para nuestra necesidad, ya

que el PLC Siemens S7-1500 en sus pines analógicos maneja el mismo nivel máximo de tensión, es decir el rango del sensor y del PLC es de 0-10[V], en otras palabras no requiere un circuito interfaz que conecta estos dos elementos, puesto que se pueden comunicar directamente mediante cables físicos, luego la recepción y análisis de los datos entregados se hace mediante la programación apropiada del PLC.

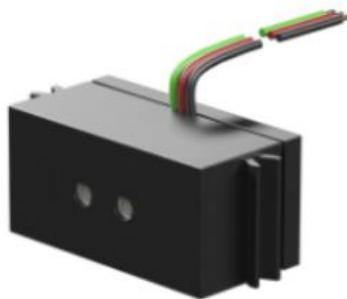
Al realizar pruebas con el multímetro de los niveles de tensión entregados por el sensor a partir de los tres colores que poseen las piezas que pasan por la línea de producción (azul, rojo y blanco) se construye la tabla número tres.

Cuadro 3. Niveles de tensión entregados en la salida, por el sensor de color Fischertechnik.

CARACTERÍSTICA	SALIDAS DE TENSIÓN [V]
Sin pieza	3,341
Pieza Azul	3,371
Pieza Roja	2,6
Pieza Blanca	2,5

Fuente: Elaboración Propia

Fotografía 8. Sensor analógico de color Fischertechnik.



2.1.2.2 PCB. Lo primero que se tuvo en cuenta a la hora de diseñar la PCB, fue la necesidad de tener dimensiones reducidas, por lo tanto, esta se bosqueja a dos capas y además se ubicaron algunos elementos de manera superficial. A

continuación, se mostrarán dos imágenes: la figura número once es la cara superior y la figura número doce es la cara inferior, ambas diseñadas en kicad, software libre.

Figura 11. Cara superior de la PCB, con el circuito interfaz entre la planta y el PLC, diseñada en Kicad.

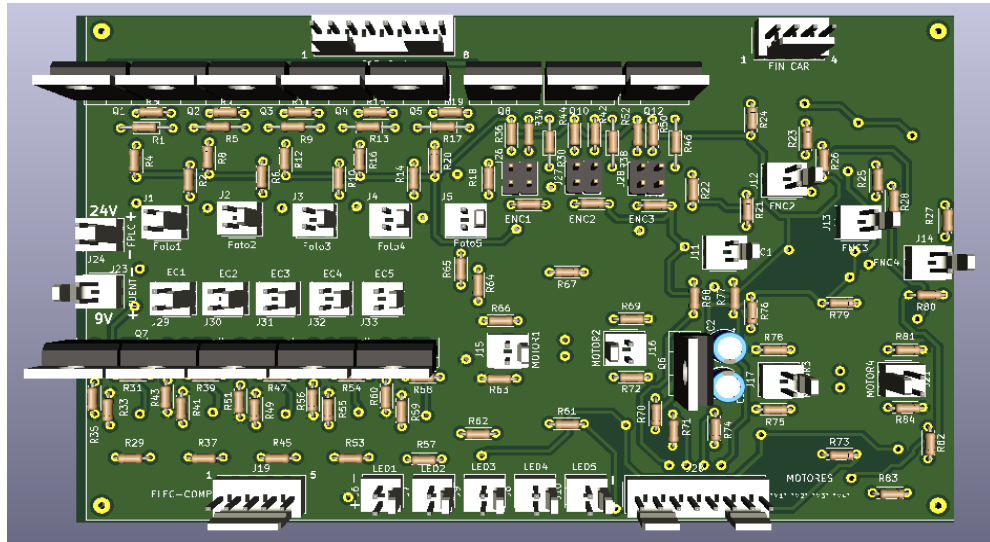
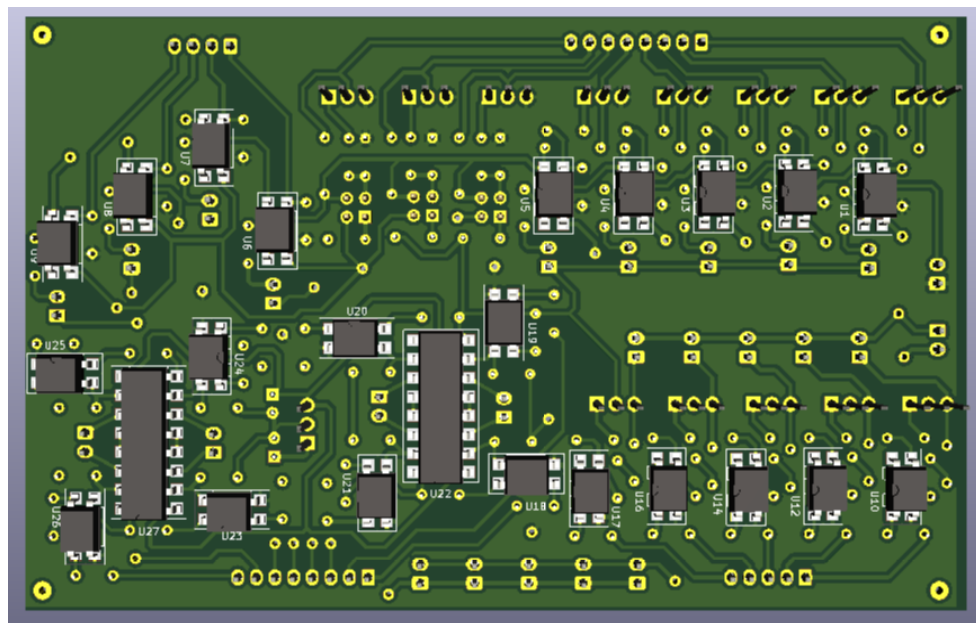


Figura 12. Cara inferior de la PCB, con el circuito interfaz entre la planta y el PLC, diseñada en Kicad.



El segundo aspecto, tiene que ver con las conexiones o pines físicos, los cuales se ordenaron secuencialmente, ya que la PCB se va a trabajar en un entorno académico y es necesario que se pueda conectar y desconectar fácilmente para las pruebas previas y luego permanecer fijas para posteriores prácticas de laboratorio. Se eligieron conectores Molex porque aparte de satisfacer las necesidades descritas previamente, reducen considerable el tamaño que ocupan en la superficie, comparados con otros conectores.

Finalmente es importante destacar la señalización mediante serigrafía, para facilitar las conexiones a los pines relacionados con los circuitos típicos, los cuales también cuentan con aislamiento óptico, con el fin de proteger tanto al PLC como a la planta, evitando cualquier riesgo, por tal razón dicha PCB cuenta con dos tierras independientes: la tierra de la sección control (GND 24 [Vdc]) y la tierra de la parte del proceso (GND 9 [Vdc]).

2.1.2.3 Programación. La lógica de programación se basó en dos métodos o lenguajes, los cuales son muy gráficos. El primero fue *grafcet*, el cual se apoya en una secuencia de estados y transiciones, a partir del cual se puede obtener el segundo, el *Ladder*, este último viene dado por una secuencia basada en contactos y bobinas.

Para obtener ambos se debe observar el proceso y hacer un esquema mental de que secuencia u orden se desea o es la que debe ejecutar cada uno de los elementos de la línea de producción (sensores y actuadores) y desde la perspectiva del controlador definir cuáles son las entradas y las salidas respectivamente.

Las entradas del controlador, para este caso, el PLC, vienen dadas por los elementos de sensado (finales de carrera, fototransistores, *encoders*, etc.) y las salidas son los componentes de ejecución (motores, compresores, electroválvulas, etc.). En este orden de ideas, las entradas serán las transiciones para el *grafcet* y

los contactos para el *Ladder* y las salidas serán las acciones a ejecutar en cada estado para el *grafcet* y las bobinas a activar o desactivar en cada estado del *Ladder*.

Del *grafcet* y del *Ladder* de la primera estación o etapa del proceso, almacén automatizado elevado de piezas, se Tomará una sección o parte y se explicaran paso a paso en la figura trece, catorce y quince, con el fin de mostrar un ejemplo; sin embargo, la lógica completa en ambos lenguajes se incluyó en los anexos, para cada una de las cinco estaciones de la planta.

En la figura número trece, se muestra un extracto del *grafcet* de la etapa: almacén automatizado y elevado de piezas, se agregaron algunas flechas y textos explicativos junto a estas, para aclarar qué ocurre en las transiciones (líneas o rayas con las entradas o receptores) y en los estados (cuadros con números y cuadros con las salidas o actuadores). Es importante aclarar que la secuencia tiene distintas posibilidades o ramas, toma uno de estos caminos, según las entradas que estén activas.

En la figura número catorce, se muestra un extracto del *Ladder* de la misma etapa anterior, de igual manera se utilizan flechas y textos explicativos junto a estas, para aclarar qué contactos deben estar activos o inactivos para que se accione una bobina (estado a ejecutar).

Figura 13. Sección de graficet del almacén elevado automatizado de piezas

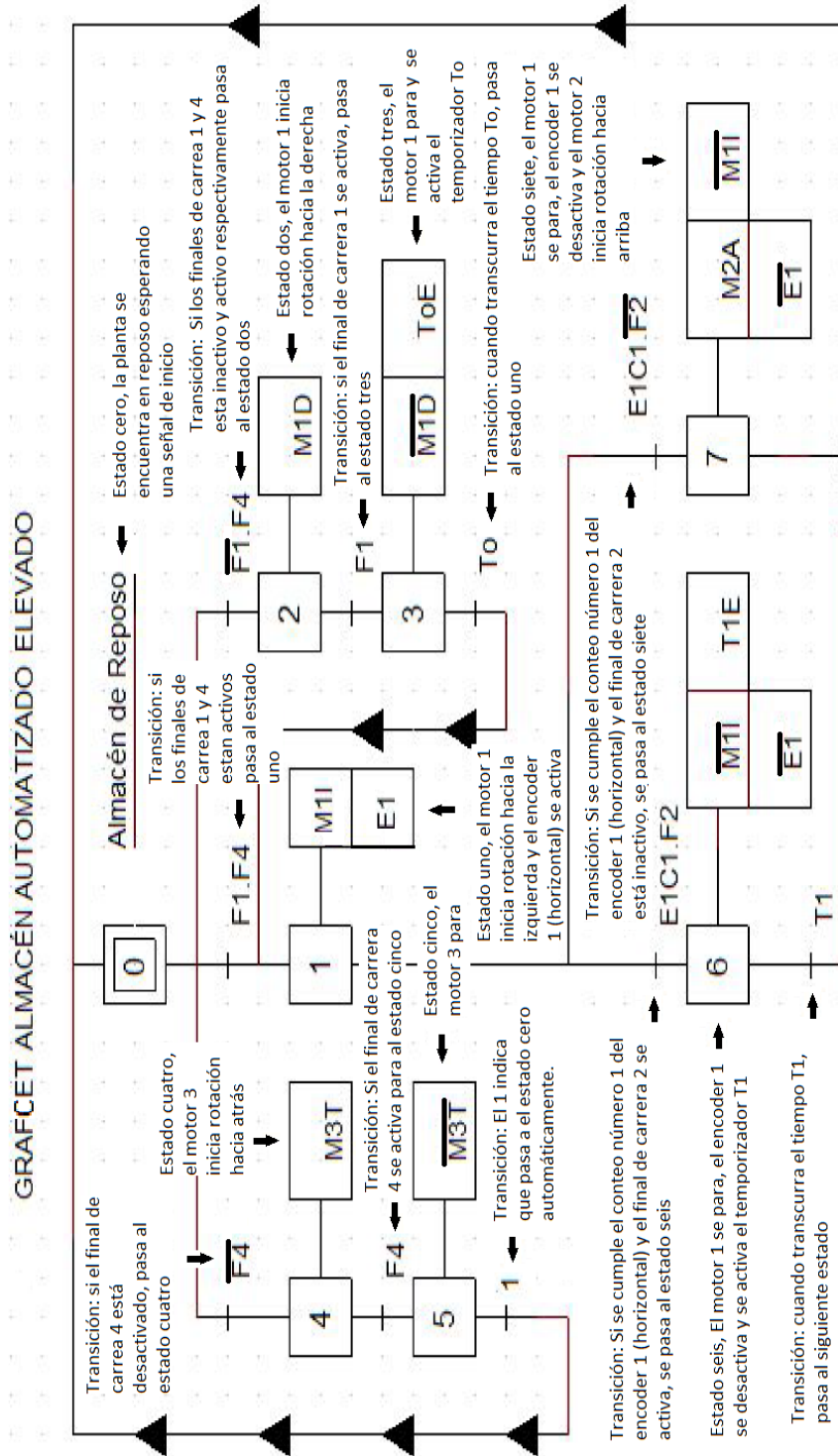
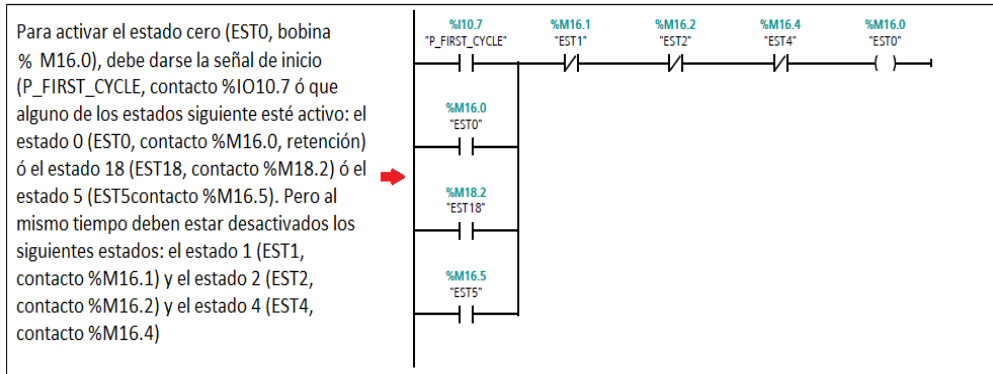
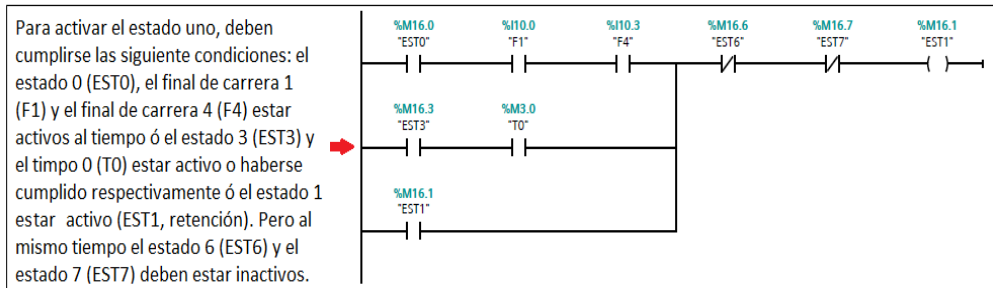


Figura 14. Sección del Ladder del almacén de elevado automatizado de piezas (Se activan los estados).

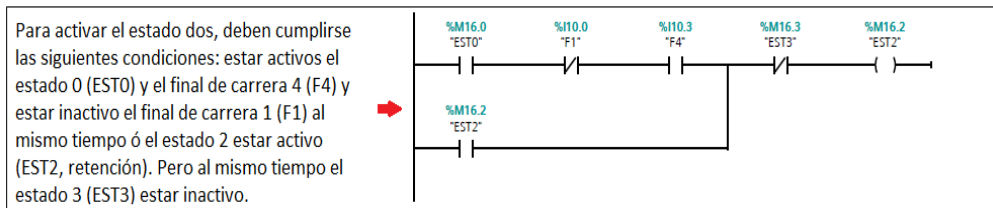
Segmento 1: ESTADO 0



Segmento 2: ESTADO 1



Segmento 3: ESTADO 2



Segmento 4: ESTADO 3

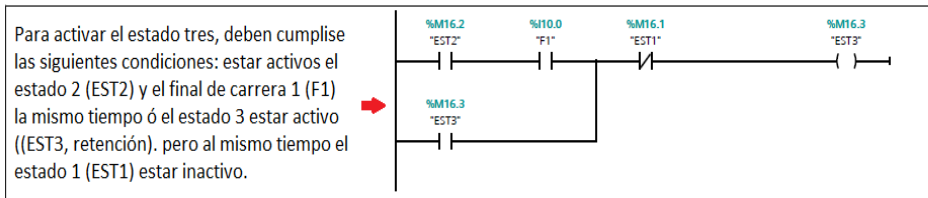
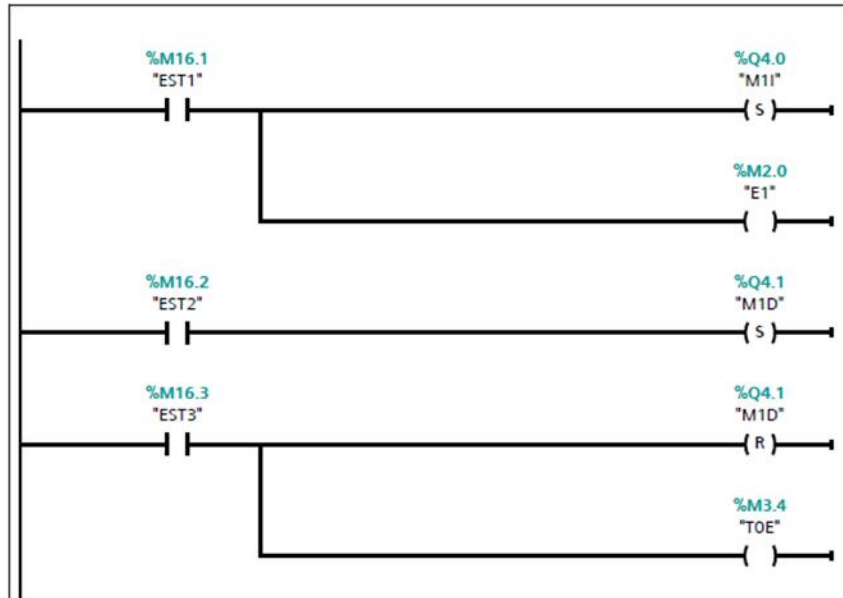


Figura 15. Sección del *Ladder* del almacén de elevado automatizado de piezas (Se ejecutan las acciones y se activan temporizadores y contadores).

Segmento 20: ACTIVACION DE SALIDAS



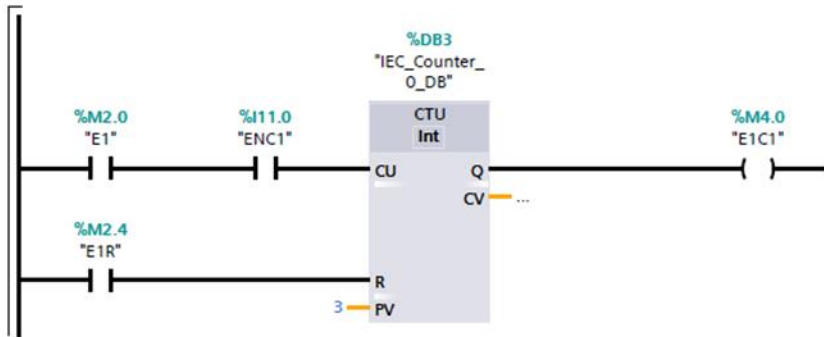
Segmento 21: TEMPORIZADORES

CONFIGURACION



Segmento 22: CONTADORES

CONFIGURACION DE LOS CONTADORES PARA DETERMINAR LA DISTACIA DE DESPLAZAMIENTO



Finalmente, en la figura número quince, se muestra un extracto del *Ladder* de la etapa: almacén automatizado y elevado de piezas, pero a diferencia de la figura catorce, en este caso se representa algunos segmentos adicionales:

- Las activaciones de salida: aquí se accionan las bobinas directamente relacionadas con cada estado, por ejemplo, en el estado uno, el motor uno inicia rotación hacia la izquierda (M1I) y se activa el encoder uno (E1, horizontal), como se indica en la figura número trece.
- Temporizadores: aquí se da inicio al conteo de los temporizadores, que permiten hacer la transición entre algunos estados.
- Contadores: En este segmento se da inicio a los contadores para determinar las distancias de desplazamiento relacionadas con los encoders.

Nota: Como se aclara en las figuras número trece, catorce y quince, solo son extractos de todas las lógicas de programación, con el fin de dar una breve explicación del funcionamiento al lector.

3. CONCLUSIONES

La planta fue usada por dos semestres como proyecto de clase de Automatización, con el fin de implementar un control con PLC siemens S7-1500. Sin embargo, los estudiantes no alcanzaron los resultados esperados, por lo tanto, se tomó la decisión de asignarlo como proyecto de grado, para tener mayor control en el cumplimiento de los objetivos.

La comunicación entre la planta Fischertechnik y el PLC Siemens S7-1500 requirió una PCB con la integración de todos los circuitos típicos para cada uno de los elementos de la línea de producción, así como una debida programación del controlador (PLC) en Ladder, la cual puede ser adaptada para diferentes secuencias, según se desee.

Mediante los resultados entregados por este proyecto de grado, los estudiantes van a poder programar soluciones de automatización para una secuencia industrial a escala.

En la etapa de clasificación de piezas mediante el sensor analógico de color, no fue necesario un circuito típico interfaz que conectara el sensor con el PLC seleccionado, puesto que se pueden comunicar directamente mediante cables físicos y luego, la recepción y análisis de los datos entregados se hace mediante la programación apropiada del PLC.

4. RECOMENDACIONES

Dentro de los anexos, en la carpeta Kicad, se encuentra todos los archivos necesarios para abrir el diseño de la PCB en Kicad, por si se desea hacer algún cambio en el mismo o para mandar a hacer más réplicas de la tarjeta, para cada una de las cinco etapas de la planta, puesto que solo se mandó a hacer una sola, así que se deben imprimir cuatro más.

Dentro de los anexos, en la carpeta Ladder, se encuentra todos los archivos en lenguaje Ladder, para el software TIA portal, necesarios para abrir la programación del PLC Siemens S7-1500 del laboratorio de automatización y control E3T, por si se desea hacer algún cambio en dicha programación o tomarse como modelo para crear nuevas secuencias. Por otro lado, algunos bloques de programación de la última etapa, del sensor analógico de color, hay que hacerle algunas adecuaciones, ya que la programación que se presentó es general y hay que adaptarla para funcione correctamente a los niveles de tensión que entrega el sensor.

Los cables de cada uno los elementos de la Planta Fischertechnik deben poncharse con los conectores molex hembra, que encajan con los pines molex macho que posee la PCB. Luego guiándose por la serigrafía de la tarjeta y la información suministrada en este documento, hacer todo el montaje, es decir conectar la tarjeta tanto a la línea de producción como al PLC.

BIBLIOGRAFÍA

DÍAZ SERRANO Camila Andrea, GÓMEZ QUINTILLA Jhon Alexander, "Diseño e implementación de 5 prácticas de laboratorio en la asignatura de automatización de procesos por medio del sistema simulación de fábrica de Fischertechnik", 2017.

Fischertechnik, con el video guía de funcionamiento original de la Planta mencionada previamente. Consultado el 22 de marzo de 2019. Disponible en: <https://www.fischertechnik.de/en/simulating/industry-4-0>

Fischertechnik. Data sheets de elementos electrónicos de la planta. Imágenes de piezas. Consultar información adicional de la planta. Consultado el 12 de marzo de 2019. Disponible en: <https://www.fischertechnik.de/es-e>.

GARCÍA, MORENO Emilio. Automatización de procesos industriales, Alfaomega, 2001

Manual PLC SIMATIC S7-1500. Abril 4 de 2019. Disponible en: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/384/86140384/att_943202/v1/s71500_et200mp_manual_collection_en-US.pdf

PIEDRAFITA, MORENO Ramón. Ingeniería de la automatización industrial. Alfaomega, 2ed, 2004.