

**OBJETO DE APRENDIZAJE PARA EL DISEÑO DE AUTOMATISMOS
LÓGICOS SECUENCIALES BASADO EN GRAFCET. DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN**

**CRISTIAN ORLANDO MARTIN MORENO
JOSE ANTONIO SIERRA BUENO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2011

**OBJETO DE APRENDIZAJE PARA EL DISEÑO DE AUTOMATISMOS
LÓGICOS SECUENCIALES BASADO EN GRAFCET. DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN**

**CRISTIAN ORLANDO MARTIN MORENO
JOSE ANTONIO SIERRA BUENO**

**Trabajo de grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO**

**Director
JORGE ENRIQUE MENESES
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2011**

DEDICATORIA

*A Dios por esta bendición y todas las
que recibo día a día en mi vida.*

A mi madre, por ser mi regalo más grande.

A mis tíos, mi prima Bertha y toda mi familia

A mi novia y amigos

CRISTIAN MARTIN

A Dios por brindarme fortaleza,

A mis padres José Natividad y Carmen Rosa,

A mis hermanos Saúl Silverio, Daniel Alfonso y Martha Raquel,

A mis sobrinos Laura, Natalia, Alejandro y Sofía,

Por su apoyo y confianza incondicional.

JOSE SIERRA

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este proyecto agradecen a todas y cada una de las personas que tuvieron parte en la realización de este proyecto, y de manera particular:

Al profesor Jorge Enrique Meneses, director de proyecto, por su paciencia, apoyo y motivación para lograr la culminación de este trabajo de grado.

A los señores Henry, Gonzalo y Fredy encargados del taller de la escuela de Ingeniería Mecánica, por su colaboración a lo largo del proyecto.

A los integrantes del grupo de investigación *Electrónica y Robótica Aplicada (ERA)*, especialmente a Pablo Verbel por su aporte y cooperación.

A la Universidad Industrial de Santander, por los conocimientos adquiridos, momentos y experiencias compartidas en una de las mejores etapas de la vida.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	18
1. OBJETO DE APRENDIZAJE PARA EL DISEÑO DE AUTOMATISMOS LOGICOS SECUENCIALES BASADO EN GRAFCET	20
1.1. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA	20
1.2. JUSTIFICACION PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA	21
1.3. ESTUDIO PRELIMINAR	21
1.3.1. Alternativas de solución	21
1.3.2. Descripción de la propuesta seleccionada	23
1.4. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO	24
1.4.1. Objetivo general	24
1.4.2. Objetivos específicos	24
2. DESCRIPCION GLOBAL DEL CONJUNTO	27
2.1. PARAMETROS GENERALES DE FUNCIONAMIENTO	27
2.1.1. Descripción preliminar del objeto construido	27
2.1.2. Dimensiones	28
2.1.3. Materiales	29
2.1.4. Elementos motrices	30
2.1.5. Sistemas y accesorios eléctricos y electrónicos	30
2.2. ELEMENTOS DEL SISTEMA DE AUTOMATISMOS LOGICOS	31
2.2.1. Estructura general de un sistema automatizado	31
2.2.2. Modelo estructural del automatismo desarrollado	33
2.2.3. Parte operativa	36
2.2.4. Sensores y preactuadores	36
2.2.5. Parte de control	37

2.2.5.1. Autómata programable	37
2.2.5.2. HMI	38
2.2.6. Flujo de señales de control en el automatismo desarrollado	39
3. DISEÑO DEL OBJETO DE APRENDIZAJE	42
3.1. DISEÑO DE LA PARTE OPERATIVA	42
3.1.1. Estructura del sistema	42
3.1.2. Velocidad lineal de las vagonetas	44
3.1.3. Selección de motores	44
3.1.4. Sistema de guías y movimiento de las vagonetas	46
3.1.4.1. Descripción del sistema	46
3.1.4.2. Partes del sistema	47
3.1.5. Banda transportadora	52
3.1.6. Selección de sensores y accionamientos	55
3.2. PANEL Y SISTEMAS DE CONTROL DEL OBJETO	56
3.2.1. Tarjeta Controladora	56
3.2.2. Panel de mando	60
3.2.3. Sistemas de potencia eléctrica y cableado	62
3.2.3.1. Fuente de alimentación	62
4. CONTRUCCION Y MONTAJE DEL OBJETO DE APRENDIZAJE	67
4.1. ENSAMBLE DE LA ESTRUCTURA	67
4.2. SOPORTES	69
4.3. MECANIZADO Y ACABADO DE SUPERFICIES	69
5. CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES	73
BIBLIOGRAFIA	74
ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
FIGURA 1. Vagoneta de transporte	22
FIGURA 2. Secuencia de mecanizado	22
FIGURA 3. Control de nivel de un deposito	23
FIGURA 4. Banda transportadora	23
FIGURA 5. Esquema de la plataforma y sus elementos	26
FIGURA 6. Esquema general del objeto construido	28
FIGURA 7. Estructura de un sistema de control automatizado	32
FIGURA 8. Estructura del objeto de aprendizaje	33
FIGURA 9. Elementos, sensores y actuadores de la plataforma	35
FIGURA 10. Sensores del objeto de aprendizaje	36
FIGURA 11. Esquema de tarjeta controladora	37
FIGURA 12. Panel de mando	39
FIGURA 13. Flujo de las señales de control	40
FIGURA 14. Sección transversal perfil de la estructura	42
FIGURA 15. Sección transversal lado de la estructura	43
FIGURA 16. Vista superior estructura del banco	43
FIGURA 17. Sistema de desplazamiento vagonetas	47
FIGURA 18. Motorreductor sistema de desplazamiento vagonetas	47
FIGURA 19. Polea tipo A 2"	47
FIGURA 20. Eje polea conducida sistema de desplazamiento de vagonetas	48
FIGURA 21. Buje eje polea conducida	49
FIGURA 22. Collarín sistema de desplazamiento vagonetas	49
FIGURA 23. Soporte vagoneta	50
FIGURA 24. Vagoneta	51
FIGURA 25. Motorreductor sistema de banda transportadora	52
FIGURA 26. Soporte motorreductor sistema banda transportadora	53
FIGURA 27. Tambor tractor banda transportadora	53
FIGURA 28. Buje eje tambores de la banda transportadora	54

FIGURA 29. Acople eje de motorreductor tambor tractor	54
FIGURA 30. Soporte tensor banda transportadora	55
FIGURA 31. Opto-Acoplador 4N25S	57
FIGURA 32. Puente H L298	57
FIGURA 33. Micro-controlador MC9S08QE128	57
FIGURA 34. Tarjeta de Control	58
FIGURA 35. Circuito desglosado	58
FIGURA 36. Polaridad de la alimentación	59
FIGURA 37. Leds de alimentaciones	59
FIGURA 38. Entradas Motor 1	60
FIGURA 39. Salidas Motor 1	60
FIGURA 40. Caja panel de mando	61
FIGURA 41. Distribución panel de mando	62
FIGURA 42. Ensamble del contorno de la estructura	67
FIGURA 43. Fijación de la lámina superior en al contorno de la estructura.	68
FIGURA 44. Cubierta frontal en acero inoxidable.	68

LISTA DE TABLAS

	Pag.
TABLA 1. Relación de elementos en la estructura	35
TABLA 2. Relación de entradas y salidas del sistema	41
TABLA 3. Relación entre entradas y giro del motor	56
TABLA 4. Especificaciones técnicas fuente de poder	63

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Teoría básica de control automático	77
ANEXO B. Manual de operación y mantenimiento	84
ANEXO C. Paquete auxiliar teoría - problemario	91

GLOSARIO

Automatismo: también llamado sistema automático, es aquel dispositivo que libera al hombre en el control de determinada maquina o proceso en forma eficiente.

Automatismo lógico: aquel que trabaja con señales todo o nada, conocidas también como binarias (tipo on/off)

Automatismo secuencial: aquel cuyas salidas dependen tanto de las variables de entrada como del propio estado inicial del sistema.

Autómata programable: es un aparato electrónico que sustituye los circuitos auxiliares o de mando de los sistemas automáticos. Su sigla en literatura castellana es API y en anglosajona es PLC.

Objeto de aprendizaje: es aquel recurso físico diseñado para cumplir una función auxiliar en la formación académica de conocimiento y competencias en un campo específico.

RESUMEN

TITULO: OBJETO DE APRENDIZAJE PARA EL DISEÑO DE AUTOMATISMOS LOGICOS SECUENCIALES BASADO EN GRAFCET. DISEÑO Y CONSTRUCCION*

AUTORES: Cristian Orlando Martin Moreno. Jose Antonio Sierra Bueno. **

PALABRAS CLAVE: Objeto de aprendizaje, Diseño de automatismos, Grafcet, Control automático.

DESCRIPCIÓN:

El objetivo de este proyecto es dotar a la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander de un Objeto de aprendizaje que facilite la enseñanza del diseño de automatismos lógicos secuenciales mediante la metodología Grafcet, en asignaturas como autómatas programables y automatización industrial.

Para esto se ha construido un sistema que simula una planta compuesta por dos vagonetas de carga y una banda transportadora. Una de las vagonetas de carga cuenta con un sistema de volteo que permite depositar una carga en la banda transportadora. Este sistema cuenta con un panel de mando y se conecta mediante un puerto y sistema de cableado a un autómata programable, conformando el conjunto de un sistema automatizado y permitiendo a los estudiantes realizar prácticas de secuencias usando la metodología Grafcet. Las secuencias que se programan consisten en mover las vagonetas de izquierda a derecha y en sentido opuesto, al igual que una carga ubicada sobre la banda transportadora. De esta manera se obtienen movimientos secuenciales que pueden ser monitoreados por los estudiantes involucrados en el proceso.

El sistema construido es finalmente un elemento didáctico robusto, resistente y funcional que permite la apreciación visual del funcionamiento de las secuencias programadas y facilita el aprendizaje de los estudiantes, al tiempo que permite moverse con facilidad y es de fácil mantenimiento.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director Ing. Jorge Enrique Meneses Florez

ABSTRACT

TITLE: LEARNING OBJECT FOR SEQUENTIAL LOGIC ATOMATION SYSTEMS DESIGN BASED ON GRAFCET. DESIGN AND CONTRUCTION*

AUTHORS: Cristian Orlando Martin Moreno. Jose Antonio Sierra Bueno. **

KEYWORDS: Learning object, Automation design, Grafcet, Automation control.

DESCRIPCIÓN:

The objective of this project is to provide the school of Mechanical Engineering of the Industrial University of Santander with a Learning Object that facilitates the sequential logic automation design teaching using Grafcet methodology, in subjects such as programmable automation and industrial automation.

For this reason, has been built a system that simulates an Industrial plant composed by two wagon loads and a conveyor belt. One of the wagons has a dump system that allows dumping an object on the conveyor belt. This system includes a control panel and is connected though a port and a cable system with a PLC, completing a whole automation system and allowing the students making their practicals using Grafcet methodology. The sequences that are programmed, consist in moving the wagon loads form the left to the right and in the opposite way, at the same time that moving an object put on the conveyor belt. This way, sequential movements are obtained and those can be watched for students involved in teaching process.

The built system is finally a didactic element that is robust, resistant and functional, which permits the visual appreciation of programmed sequences and make easier the students their learning process, at the same time it is possible and easy to move it and make it its maintenance.

* Graduation project

** Physical-Mechanical Engineering Faculty. Mechanical Engineering School. Director Ing. Jorge Enrique Meneses Florez.

INTRODUCCIÓN

El perfil profesional del ingeniero mecánico ha tornado un desarrollo muy importante a través de los últimos años en el área correspondiente a la mecatrónica y el control automático de procesos industriales, evidenciando esta tendencia de implementación tecnológica como una necesidad en la formación de competencias que le permitan desenvolverse en su vida laboral en forma exitosa y estar al tanto de dicha innovación tecnológica en lo referente a temas puntuales como por ejemplo, el diseño y aplicación de automatismos lógicos secuenciales.

La escuela de ingeniería mecánica ha iniciado un proceso de actualización que incluye planes de mejoramiento en sus laboratorios e inclusión de nuevas asignaturas, siendo este un tema que concierne a directivos, profesores y alumnos que velarán siempre por la mejora continua de sus procesos de formación profesional.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, se ha desarrollado la presente tesis de grado titulada "Objeto De Aprendizaje Para El Diseño De Automatismos Lógicos Secuenciales Basado En Grafcet. Diseño Y Construcción". Dicho objeto de aprendizaje consta de una plataforma o parte operativa, además de un folleto impreso que incluye teoría y metodología de solución de problemas de control automático basados en Grafcet y un problemario con situaciones específicas a resolver.

La plataforma consiste específicamente en la construcción de un conjunto que permita simular la operación de un sistema de transporte de material, definido como la parte operativa en la estructura de un sistema automatizado, consistente en dos vagonetas de carga con desplazamiento lineal y una banda transportadora. Dicho sistema podrá interconectarse

con un autómata programable con el fin de emular diferentes situaciones por parte de los estudiantes de Ingeniería Mecánica.

El primer capítulo define la necesidad de la creación de este trabajo de grado, identificando el problema al cual se ofrece solución y enunciando también el objeto y alcance del proyecto mediante descripción de los objetivos.

El segundo capítulo pretende ofrecer una descripción general del objeto de aprendizaje como modelo de un sistema automatizado. Menciona las partes de todo el conjunto y permite entender lo que realmente se hizo.

El tercer y cuarto capítulo muestran el “Diseño” y “Construcción y montaje” respectivamente, en donde se detalla paso a paso el proceso que llevó al desarrollo total de las partes físicas de este proyecto.

1. OBJETO DE APRENDIZAJE PARA EL DISEÑO DE AUTOMATISMOS LOGICOS SECUENCIALES BASADO EN GRAFSET

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En referencia al proceso evolutivo de la carrera profesional Ingeniería Mecánica en el ámbito de mecatrónica y control de procesos industriales, la escuela ha iniciado un proceso de reforma que le presta especial atención a este tema, incluyendo asignaturas como electricidad y electrónica básica, sistemas mecatrónicos I, ingeniería de control, y materias electivas como sistemas mecatrónicos II, autómatas programables y automatización industrial, todo esto enfocado a desarrollar en el estudiante una serie de competencias relativas a los procesos mencionados.

La formación y desarrollo de dichas competencias en los estudiantes de ingeniería mecánica requieren de objetos de aprendizaje tales como bancos de pruebas, plataformas de simulación, autómatas programables, módulos didácticos y demás, objetos tales que facilitan convertir los conocimientos teóricos y conceptuales en una realidad entendible y medible que permita evaluar cualitativamente el logro de los objetivos de formación académica.

Sin embargo, la escuela de Ingeniería Mecánica no cuenta en sus laboratorios con suficientes objetos de aprendizaje de los mencionados anteriormente, lo que sumado al aumento progresivo en el número de estudiantes que cursan la carrera cada semestre se refleja finalmente en debilidades en la formación de competencias a nivel de control automático y manejo de autómatas programables, debilidades que afectan la

formación interdisciplinaria de los graduados y no redime en un nivel superior al alcanzado en otras instituciones de educación superior, como suele hacerlo la Universidad Industrial de Santander.

1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

En la búsqueda de generar soluciones que permitan la formación de competencias en el campo del control automático para los estudiantes de ingeniería mecánica, se pretende con este trabajo la creación de un objeto de aprendizaje que permita simular la operación de un sistema de transporte de material, definido como la parte operativa de la estructura de un sistema automatizado, logrando de esta manera situaciones como:

- Permitir en los estudiantes la capacitación en el diseño de automatismos lógicos secuenciales aplicados a un sistema simulador de situaciones reales de operación industrial.
- Contribuir al proceso de reforma y mejoramiento del laboratorio de control automático en la escuela de Ingeniería Mecánica.
- Colaborar con el fin último del estudiante que es aumentar sus competencias a nivel profesional, permitiendo un óptimo desempeño laboral posterior a la obtención de su título de pregrado.

1.3 ESTUDIO PRELIMINAR

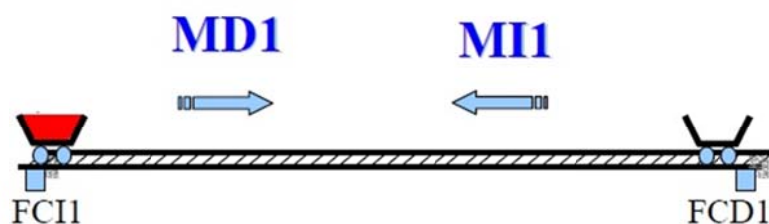
1.3.1 Alternativas de solución

Para cumplir con el objetivo específico del proyecto, el objeto de aprendizaje debe dar solución a diferentes problemas planteados en el diseño de automatismos lógicos secuenciales en base a Grafcet, de una

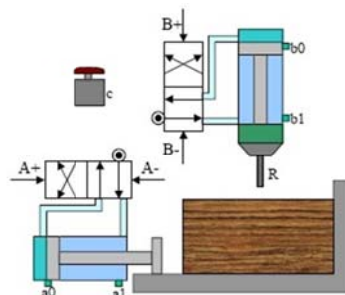
manera didáctica y apreciable sensorialmente, de tal forma que el estudiante materialice el diseño en la solución y se permita mejorar sus competencias, en la medida en que entienda las aplicaciones a nivel industrial de la teoría vista en clase.

Dicho esto, las posibles soluciones deben ser reales en lugar de virtuales, es decir, apreciables a nivel de los sentidos, y deben además poder simular uno o más problemas típicos en la solución de situaciones de tipo industrial controlados por automatismos lógicos secuenciales. Destacando las situaciones más comunes a simular a nivel didáctico, tenemos:

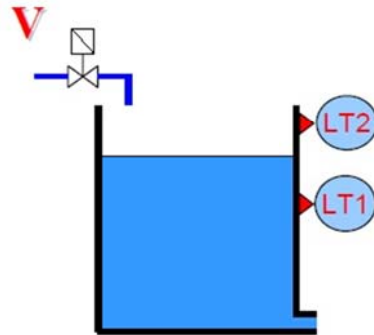
1. FIGURA1. Vagoneta de transporte



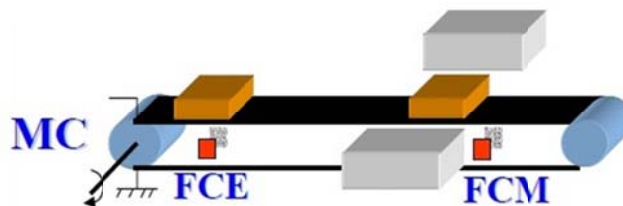
2. FIGURA 2. Secuencia de mecanizado



3. FIGURA 3. Control de nivel de un depósito



4. FIGURA 4. Banda transportadora



1.3.2 Descripción de la propuesta seleccionada

Habiendo mencionado cuatro de los modelos más comunes a simular, hemos descartado las opciones 2 y 3: la opción No. 2 presenta dos cilindros, elementos ya presentes en el laboratorio actual; la opción No. 3 puede generar problemas de limpieza y dificultad de apreciación en tiempos de llenado y vaciado.

Por el contrario, la opción de la vagoneta de transporte (No. 1) permite apreciar un movimiento lineal con principio y fin en forma clara. Si además de ello se combina con otra vagoneta independiente, se pueden comparar velocidades y simular un mayor número de situaciones. La opción de la banda transportadora (No. 4) también permite apreciar el

movimiento de piezas diversas, lo cual facilita la interacción con otros dispositivos de laboratorio, y genera la opción posterior de adicionar elementos que seleccionen dichas piezas según un criterio dado, aumentando la versatilidad del proyecto.

Por esta razón *se han escogido las opciones numero 1 y 4*, combinando dos vagonetas de transporte independientes con la banda transportadora y sus respectivos aditamentos de control y sensado necesarios

Para ello, el sistema debe ser lo suficientemente robusto que facilite apreciación visual, pero no demasiado grande pues sería lento en su operación, de difícil mantenimiento y costo elevado.

1.4 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

1.4.1 Objetivo General

Atendiendo a la misión de la Universidad Industrial de Santander, se desea contribuir con el proceso de formación interdisciplinaria en los estudiantes de Ingeniería Mecánica, específicamente en el campo de la mecatrónica y control automático, aportando elementos evidenciados como objetos de aprendizaje que refuercen sus competencias a nivel profesional y tecnológico y mejoren su capacidad laboral futura.

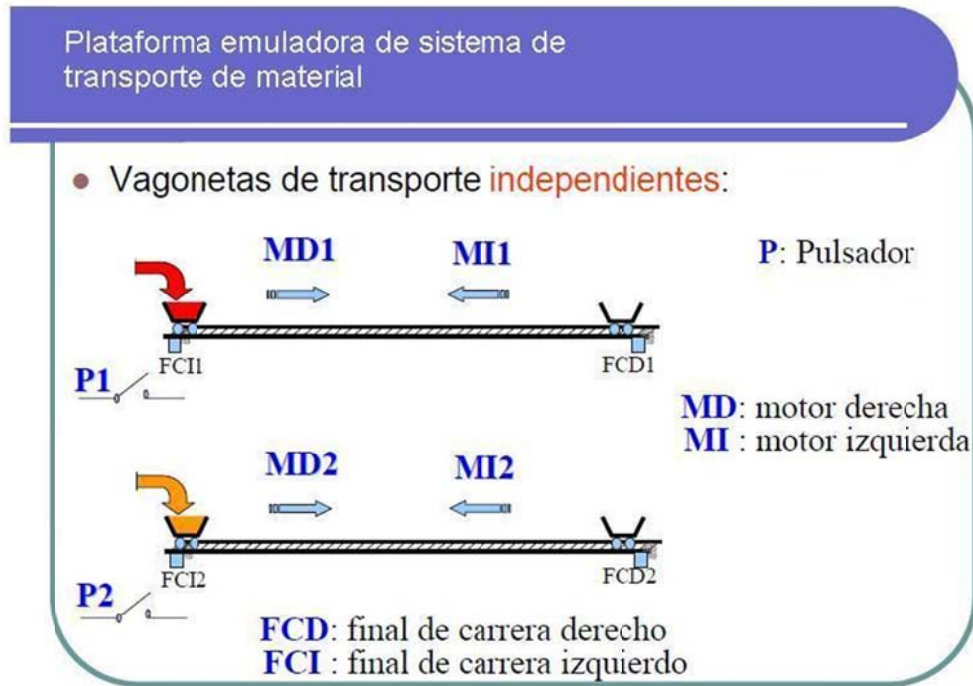
1.4.2 Objetivos específicos

- Diseñar y construir la plataforma o parte operativa de un automatismo de eventos discretos con 10 entradas y 8 salidas tipo on/off, emulando un sistema transporte de material (ver figura 1 y anexo D) consistente en:

- Dos vagonetas de carga con desplazamiento lineal a velocidad constante sobre un sistema guía, de igual longitud de carrera aproximadamente 50 cm, una de las cuales incluye un sistema de volteo para la carga.
 - Una banda transportadora, con funcionamiento unidireccional, de igual longitud a la carrera de la vagonetas y que se interrelaciona con ellas para ampliar las posibilidades de situaciones a simular.
 - Un puerto que facilite la conexión de las señales de E/S del automatismo construido a un API S7 -300 y/o S7-200¹
 - Velocidades de las vagonetas: se podrán emular situaciones donde
 - Velocidad de vagoneta 1 > Velocidad de vagoneta 2
 - ó Velocidad de vagoneta 1 < Velocidad de vagoneta 2
 - Las dimensiones aproximadas del conjunto de tres elementos son: largo: 50 cm. Ancho: 50 cm. Alto: 25 cm
- Desarrollar un paquete auxiliar como apoyo didáctico a los estudiantes, consistente en un folleto impreso que incluye teoría y metodología de solución de problemas de control automático basados en Grafset y un problemario con situaciones específicas a resolver basadas en la plataforma construida.
 - Elaborar un manual de operación y mantenimiento para el sistema de elementos construidos que garantice el aprovechamiento de su vida útil y la correcta utilización por parte de quienes manipulen el sistema.

¹ Modelo de Autómatas programables disponibles en la Escuela de Ingeniería Mecánica

FIGURA 5. Esquema de la plataforma y sus elementos



2. DESCRIPCION GLOBAL DEL CONJUNTO

2.1 PARÁMETROS GENERALES DE FUNCIONAMIENTO

2.1.1 Descripción preliminar del objeto construido

En base a la alternativa seleccionada, el objeto de aprendizaje consiste básicamente en el sistema integrado por dos vagonetas y una banda transportadora, integrados entre sí mediante una estructura de soporte y un panel de mando que opera como HMI¹, tal como se aprecia en la figura 6. Una de las vagonetas (V2) cuenta con un sistema de volteo (seguidor-leva) al final de su carrera que permite colocar una carga sobre la banda transportadora

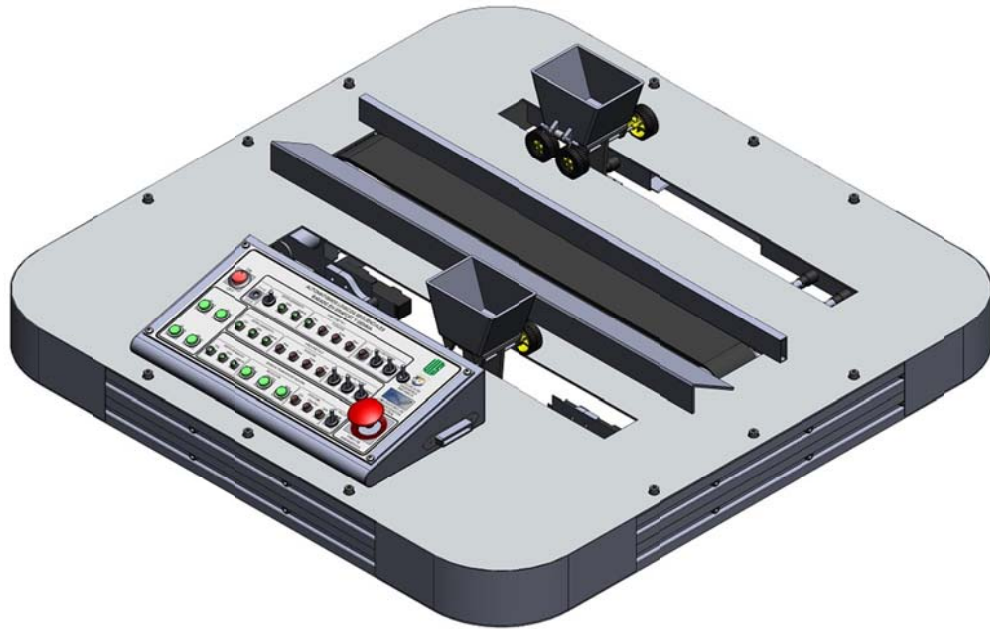
Tres motorreductores se encargan de transmitir el movimiento a las vagonetas y la banda, y son operados con la ayuda de una tarjeta controladora que permite variar sus velocidades de funcionamiento.

Se cuenta con una fuente de poder interna que proporciona un voltaje de 12V a los elementos motrices.

Este conjunto se conecta por medio de un sistema de cableado a un autómatas programable API S7-200 o S7-300, el cual hace parte del sistema de control automático final del objeto de aprendizaje.

¹ HMI: Interfaz Hombre Maquina. Ver anexo A. Generalidades de los autómatas

FIGURA 6. Esquema general del objeto construido



2.1.2 Dimensiones

Debido a los requerimientos del objeto de aprendizaje, ubicación de los diferentes elementos de soporte, control y mecanismos necesarios para su funcionamiento, la facilidad de manipulación y visualización por parte de los estudiantes, las dimensiones de los mesones del laboratorio de automatización, la posibilidad de que en un futuro pueda interactuar con el brazo robótico adquirido por la escuela de ingeniería mecánica, el sistema presenta las siguientes dimensiones externas:

- Largo : 790 mm
- Ancho : 790 mm
- Altura : 180 mm

2.1.3 Materiales

Debido al uso y manipulación continuos que soportan los elementos de laboratorio, se decidió optar por elementos resistentes al desgaste físico y corrosión, tales como:

- Aluminio
- Acero
- Bronce

De esta manera se descartó para componentes relevantes, el uso de acrílico, madera, pasta, entre otros.

Elementos motrices y sensores se seleccionaron para uso frecuente y de robustez suficiente para resistir trabajo continuo.

Todos los elementos se adquirieron nuevos, incluyendo interruptores, cableado y sistemas de control, evitando así el uso de materiales reciclados que puedan acortar la vida útil del sistema.

La estructura se construyó utilizando perfiles de aluminio arquitectónico, por la facilidad de construcción, peso ligero, su estética y resistencia a la corrosión. Los codos de unión entre los perfiles de la estructura, los soportes de los motores y de las poleas están hechos en aluminio fundido al igual que las vagonetas, debido a su bajo peso, su facilidad de construcción y la resistencia a la corrosión.

Se utilizaron ángulos de aluminio para los soportes de los finales de carrera, la tarjeta de control y las levas del sistema de volteo de la vagoneta.

Los bujes utilizados en los sistemas giratorios y en el sistema de desplazamiento de las vagonetas fueron hechos en bronce fosfatado, debido a su bajo coeficiente de fricción y sus propiedades de material de sacrificio. Para los ejes de las poleas y la guía de deslizamiento de las vagonetas se utilizó acero inoxidable. Para el elemento de unión entre el buje del sistema de deslizamiento y las vagonetas se utilizó acero. La placa superior está hecha en aluminio laminado. El panel de control se fabricó en lámina de acero calibre 16, cubiertos con pintura.

2.1.4 Elementos motrices

Teniendo en cuenta la velocidad lineal, el torque necesario y la facilidad de control (inversión de sentido de giro al cambiar la polaridad, cambiar la velocidad por medio de la variación de la tensión aplicada), se seleccionaron motorreductores de corriente directa a 12V como elementos motrices de los sistemas de las vagonetas y de la banda transportadora.

2.1.5 Sistemas y accesorios eléctricos y electrónicos

Para detectar que las vagonetas llegaron a la posición final se utilizaron finales de carrera de mecánicos; en cada extremo se colocaron dos finales de carrera con el fin de garantizar que no va a ocurrir un choque si el estudiante tiene algún error al programar el automatismo, poder simular fallos en los finales de carrera o en la comunicación de estos con el PLC.

En el panel de control se utilizaron pulsadores, interruptores, leds, para el encendido, reinicio, simulación de fallos y visualizar si los sensores están activados o desactivados. Los motorreductores del sistema de desplazamiento de las vagonetas y de la banda transportadora serán controlados por medio de una tarjeta integrada, la cual recibirá los

mandos del autómata. Igualmente tomará las señales de los sensores y los enviará al autómata y a los LEDs del panel de control. La comunicación entre el autómata y el objeto se hará por medio de un puerto paralelo para su fácil conexión

2.2 ELEMENTOS DEL SISTEMA DE AUTOMATISMOS LÓGICOS

2.2.1 Estructura general de un sistema automatizado

Ejecutar funciones de control automático se refiere al proceso que se desarrolla dentro de un sistema, el cual tiene como antecedente que una o varias magnitudes de entrada (variables física que se encuentran en el medio ambiente) incidan y manipulen a su vez una serie de magnitudes de salida, todo esto, a partir de una lógica de control que conlleve de manera implícita acciones bajo el principio de "seguridad intrínseca" que sea propia del sistema².

En general un sistema de control automatizado presenta dos partes: parte de control (PC) y parte operativa (PO) como se puede apreciar en la figura 7

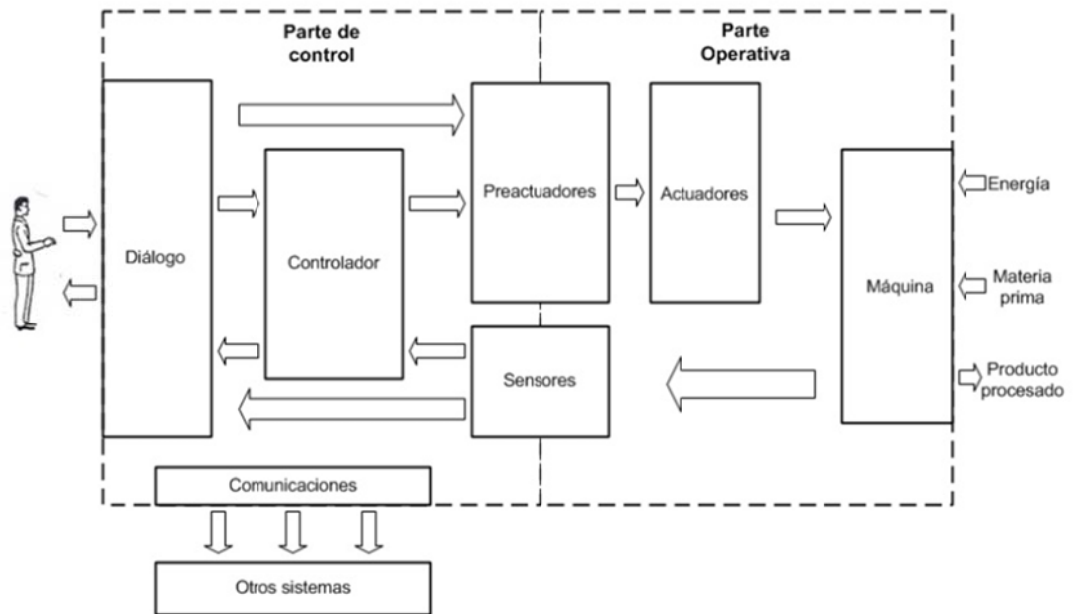
Dentro de la parte operativa encontramos la máquina o el sistema físico que se controla. Para el caso de un laboratorio, la máquina es el objeto de aprendizaje, el cual emula el funcionamiento de una planta real y colabora en el proceso de aprendizaje de diseño de automatismos.

La parte de control la constituyen el controlador y un elemento que permita el diálogo entre el operador, como se mencionó con anterioridad, es el HMI.

² CERVANTES DE ANDA, Ismael. Control Lógico Programable

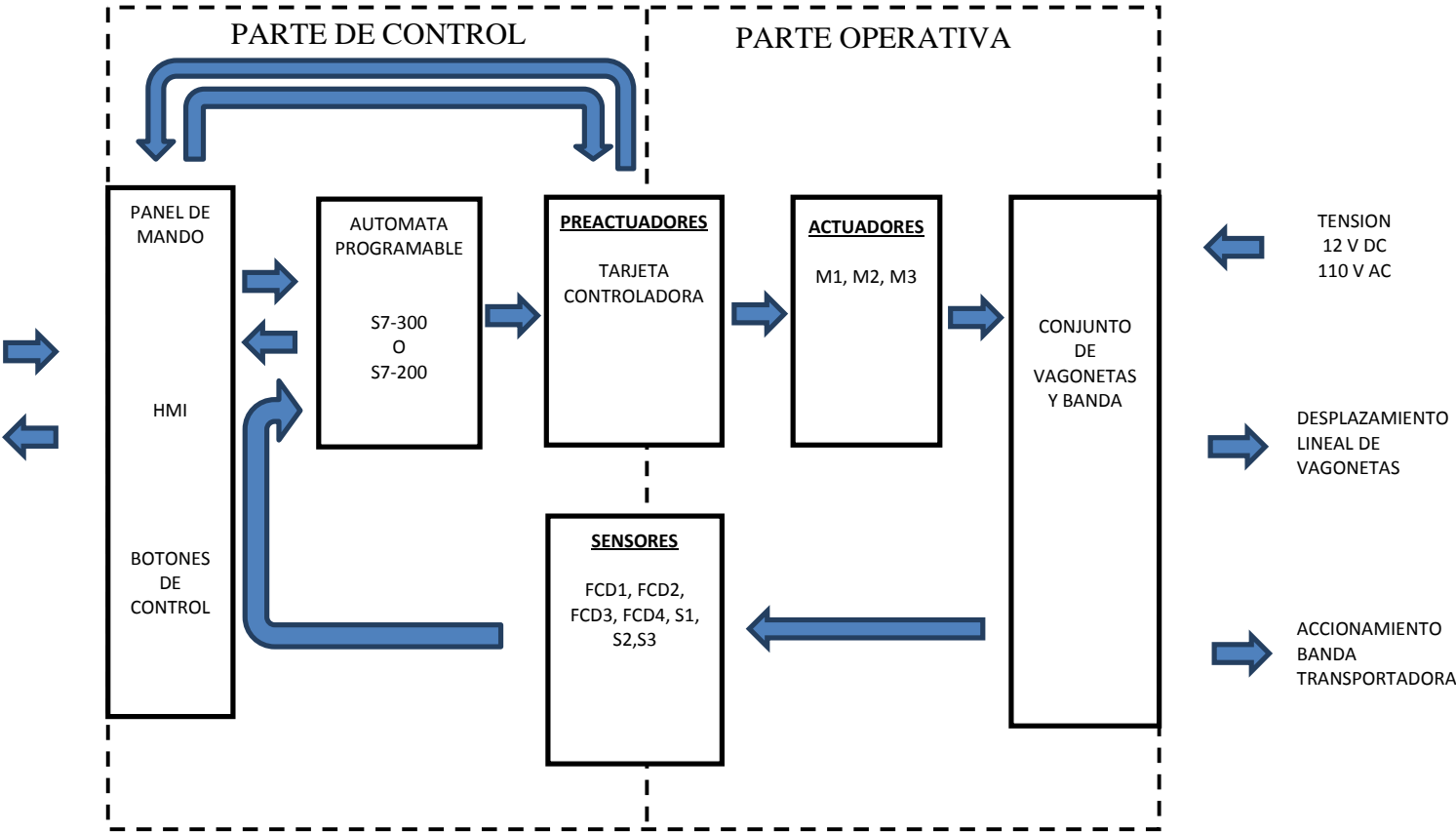
Preactuadores y sensores hacen parte tanto de la parte operativa como de control.

Figura 7. Estructura de un sistema de control automatizado



2.2.2 Modelo estructural del automatismo desarrollado

FIGURA 8. Estructura del objeto de aprendizaje



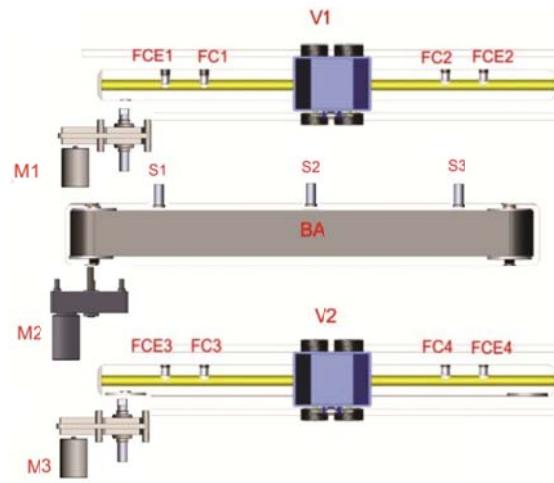
La figura 8 presenta el modelo estructural del conjunto construido en base al modelo general de un sistema de control automático. Aquí se pueden apreciar cada uno de los elementos y su interacción, aunque su disposición física no sea igual a la del esquema.

El objeto de aprendizaje diseñado funciona en conjunto como un automatismo lógico secuencial, con control de eventos discretos, lo que quiere decir que las señales de control son de tipo on/off.

A continuación se describen en forma general cada uno de los elementos, entendiendo el funcionamiento en conjunto. Esta información se amplía en el capítulo III.

La figura 9 muestra esquemáticamente los elementos de la parte operativa como son las vagonetas y la banda y también relaciona los actuadores, sensores y el panel de mando, identificándolos y relacionándolos posteriormente en la tabla 1 con el fin de facilitar su posterior descripción y mención.

FIGURA 9. Elementos, sensores y actuadores de la plataforma



PANEL DE MANDO

TABLA 1. Relación de elementos en la estructura

V1	Vagoneta 1
V2	Vagoneta 2
BA	Banda transportadora
M1	Motor de vagoneta 1
M2	Motor de vagoneta 2
M3	Motor de banda transportadora
FC1	Final de carrera izquierdo vagoneta 1
FC2	Final de carrera derecho vagoneta 1
FC3	Final de carrera izquierdo vagoneta 2
FC4	Final de carrera derecho vagoneta 2
FCE1	Final de carrera izq. seguridad vagoneta 1
FCE2	Final de carrera der. seguridad vagoneta 1
FCE3	Final de carrera izq. seguridad vagoneta 2
FCE4	Final de carrera der. seguridad vagoneta 2
S1	Sensor banda 1
S2	Sensor banda 2
S3	Sensor banda 3

2.2.3 Parte operativa

La parte operativa la constituye principalmente el sistema emulado compuesto por las dos vagonetas (V1 y V2) y la banda transportadora (BA), además de su estructura física, fuente de poder y cableado interno.

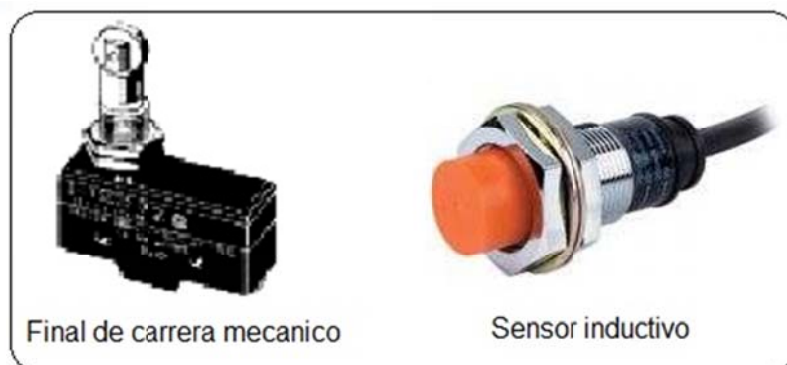
También pertenecen a la parte operativa los actuadores, que corresponden para este caso a los motorreductores (M1, M2 y M3), los cuales generan el movimiento de las vagonetas y la banda.

2.2.4 Sensores y Preactuadores

Interactuando entre la parte operativa y de control encontramos los sensores y los preactuadores, que aunque conceptualmente participen tanto de la parte operativa como de control, físicamente se integran con la estructura del objeto de aprendizaje.

En cuanto a los sensores encontramos los correspondientes a las vagonetas 1 y 2, que son finales de carrera mecánicos denominados con el prefijo FC, y los sensores inductivos de la carga en la banda transportadora denominados con el prefijo S, tal como se relacionan en la tabla 1.

FIGURA 10. Sensores del objeto de aprendizaje

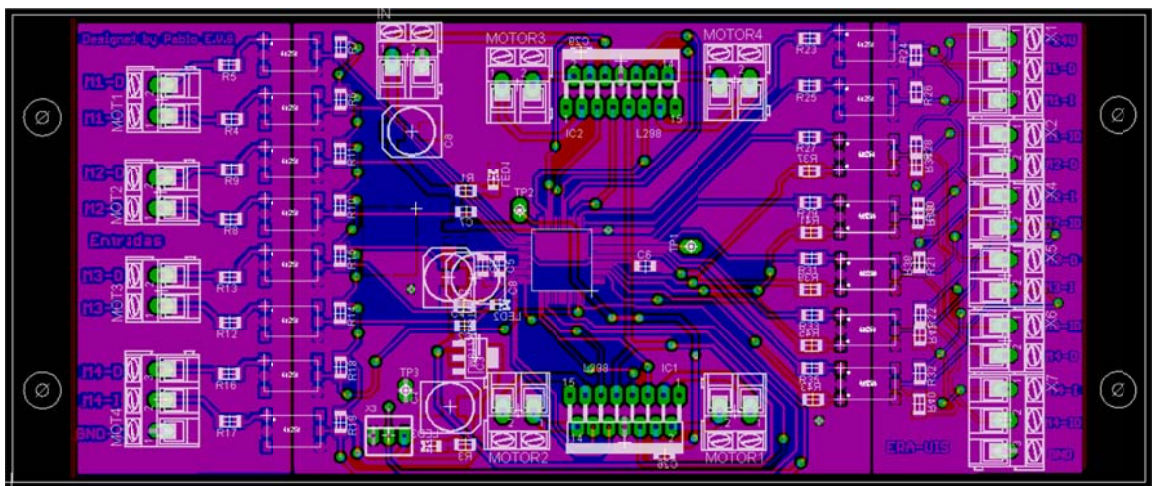


Referente a los preactuadores, encontramos la tarjeta controladora que se encarga de manejar señales eléctricas que permitan la realización de los siguientes procesos:

- Desplazamiento de las vagonetas a la izquierda o derecha
- Velocidad de vagoneta 1 > velocidad vagoneta 2 y viceversa
- Sentido de giro de la banda transportadora

Esto se logra variando las señales eléctricas que reciben los motores de la parte operativa, dependiendo del sentido de giro y la corriente suministrada.

FIGURA 11. Esquema de tarjeta controladora



2.2.5 Parte de control

2.2.5.1 Autómata programable

Esta parte está conformada por un autómata programable (PLC) SIEMENS S7-300 ó SIEMENS S7-200, que permite la planeación y control de los procesos automatizados a simular.

2.2.5.2 HMI

El HMI lo identificamos en este proyecto como el panel de mando, que permite el accionamiento de las secuencias a simular, por medio de cuatro pulsadores que activan cada diseño de automatismos lógicos que ha realizado el estudiante; incluye también un botón de paro de emergencia que interrumpe el funcionamiento total del objeto en cualquier momento.

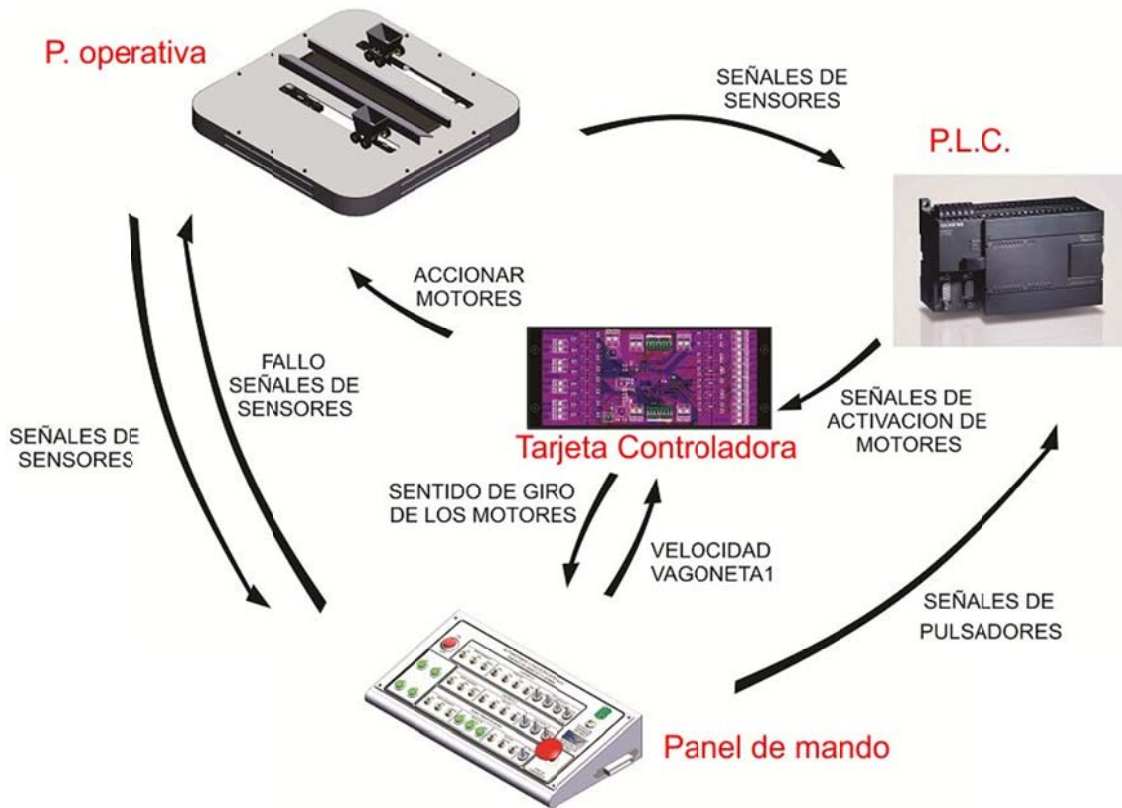
Aquí se permite por medio de leds indicadores, la visualización del cumplimiento de cada una de las etapas y puntos medios de las secuencias a simular, como son por ejemplo los desplazamientos de vagonetas, accionamiento de finales de carrera, entre otros.

Ofrece además la posibilidad de simular fallos, con el fin de evaluar la programación que previamente ha realizado el estudiante. Dichos fallos se refieren al mal funcionamiento de alguno de los elementos motrices o del sistema eléctrico, que impediría el funcionamiento normal de la planta que se emula en el objeto de aprendizaje.

Los fallos que se simularon en el panel de mando son:

- Fallo M1
- Fallo M2
- Fallo M3
- Fallo FC1
- Fallo FC2
- Fallo FC3
- Fallo FC4

FIGURA 13. Flujo de las señales de control



El sistema construido se constituye finalmente con las 10 entradas y 8 salidas contempladas inicialmente, y además de eso se incluyeron algunas que consideraron importantes para aumentar la versatilidad del objeto. Todas las entradas y salidas se relacionan en la tabla 2, en la cual podemos encontrar las señales adicionales sombreadas.

Se añadieron cuatro entradas que son tres pulsadores para la banda y determinan su sentido de giro, y un sensor más para la misma banda en su punto central.

Se incluyó la salida AMBOS para la banda transportadora, la cual consiste en una señal luminosa que indica que se han activado ambos sentidos de giro para el motor (M3).

TABLA 2. Relación de entradas y salidas del sistema

ENTRADAS	PULSADORES PARA INICIO DE SECUENCIAS	P1
		P2
		P3
		P4
	PULSADORES DE BANDA TRANSPORTADORA	IZQ
		CEN
		DER
	FINALES DE CARRERA VAGONETA	FCI1
		FCD1
		FCI2
		FCD2
	SENSORES INDUCTIVOS DE BANDA	S1
		S2
		S3
	SALIDAS	MOTOR VAGONETA 1
M1D		
AMBOS		
MOTOR VAGONETA 2		M2I
		M2D
		AMBOS
MOTOR BANDA TRANSPORTADORA		M31
		M3D
		AMBOS

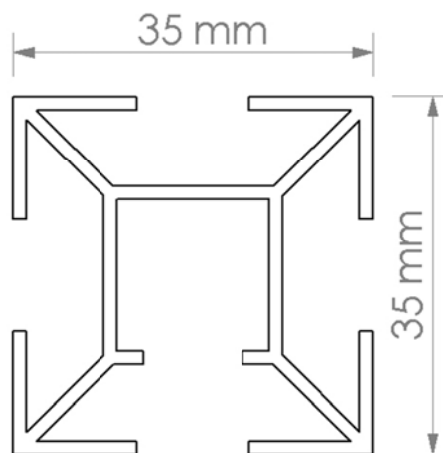
3. DISEÑO DEL OBJETO DE APRENDIZAJE

3.1 DISEÑO DE LA PARTE OPERATIVA

3.1.1 Estructura del sistema

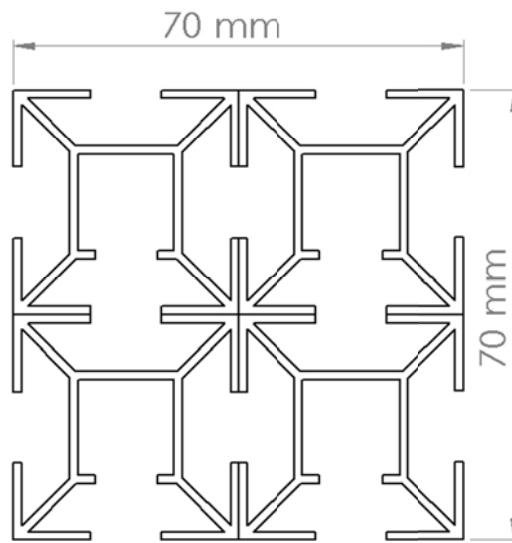
La estructura del objeto está formada por cuatro lados, cada uno de ellos tiene cuatro segmentos de perfiles de aluminio arquitectónico de 59 cm de longitud, con la siguiente sección transversal:

FIGURA 14 Sección transversal perfil de la estructura



Al unir los cuatro perfiles la sección transversal de cada lateral de la estructura queda de la siguiente forma:

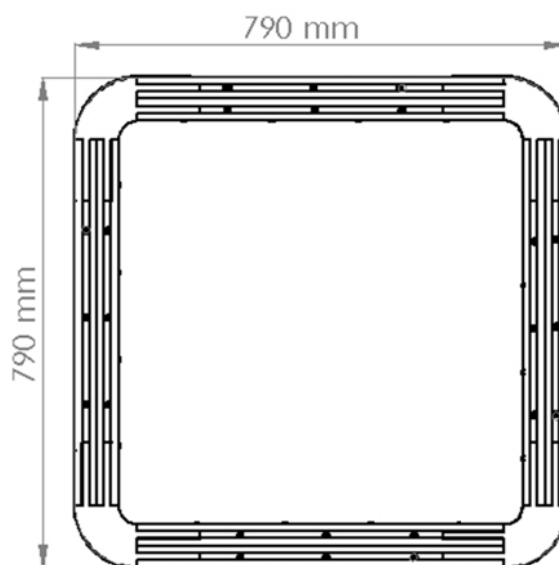
FIGURA 15. Sección transversal lado de la estructura



Los perfiles están unidos por tornillos de 1/4" de diámetro con cabeza tipo bristol de 2" de longitud.

Los laterales se unen entre sí por medio de codos hechos en aluminio fundido para finalmente obtener una estructura como la que se muestra en la próxima figura:

FIGURA 16. Vista superior estructura del banco



3.1.2 Velocidad lineal de las vagonetas

De acuerdo una distancia de desplazamiento de las vagonetas de 50 cm, y un tiempo de 20 segundos para que realizar este recorrido, obtenemos la siguiente velocidad:

$$V = \frac{x}{t} \quad \text{Ec. 1}$$

En donde,

V es la velocidad lineal,

x es el desplazamiento de la vagoneta,

t es el tiempo.

$$V = \frac{50cm}{20s}$$

$$V=2.5 \text{ cm/s}$$

3.1.3 Selección de motores

De acuerdo con el valor de la velocidad lineal de las vagonetas y teniendo en cuenta que el sistema va a trabajar con una polea de 2" (5.08cm) de diámetro externo, calculamos la velocidad angular que debe tener el motorreductor,

$$\omega = \frac{V}{r_{ext}} \quad \text{Ec. 2}$$

En donde,

V es la velocidad lineal,

ω es la velocidad angular de salida del motorreductor,

r_{ext} es el radio exterior de la polea.

$$\omega = \frac{2.5cm/s}{2.54cm}$$

$$\omega = 0.98rad/s$$

Para calcular la velocidad en revoluciones por minuto tenemos:

$$RPM = \frac{\omega * 30}{\pi} \quad \text{Ec. 3}$$

En donde,

RPM es la velocidad de salida del motorreductor en revoluciones por minuto,

ω es la velocidad angular de salida del motorreductor,

π es 3.141592

$$RPM = \frac{0.984 * 30}{3.1416}$$

$$RPM = 9.40$$

La mejor opción que el mercado ofrece para nuestra necesidad es un motorreductor de corriente continua de imán permanente marca MOLON con las siguientes especificaciones:

Modelo: CEM-1210-1M

RPM: 10

Torque: 100 lb-pulg.

Corriente: 2.60 amps

Voltaje: 12 VDC

Dimensiones: 4.7"x 2.75" x 3.51"

Otro aspecto que se tuvo en cuenta para la selección de este motorreductor fue su tamaño y facilidad de montaje.

Para la selección del motorreductor que se utilizó en la banda transportadora se tomó en cuenta la misma velocidad lineal y se

consideró un diámetro exterior del rodillo tractor de 5cm, con lo cual obtenemos la siguiente velocidad angular.

$$\omega = \frac{2.5cm / s}{2.5cm}$$

$$\omega = 1rad / s$$

$$RPM = \frac{1 * 30}{3.1416}$$

$$RPM = 9.55$$

En el mercado encontramos un motorreductor marca DAYTON con las siguientes características:

Modelo: 2L008

RPM: 12.5

Torque: 40 lb-pulg.

Corriente: 1.2 amps

Voltaje: 12 VDC

Dimensiones: 3"x 2.75" x 3.15"

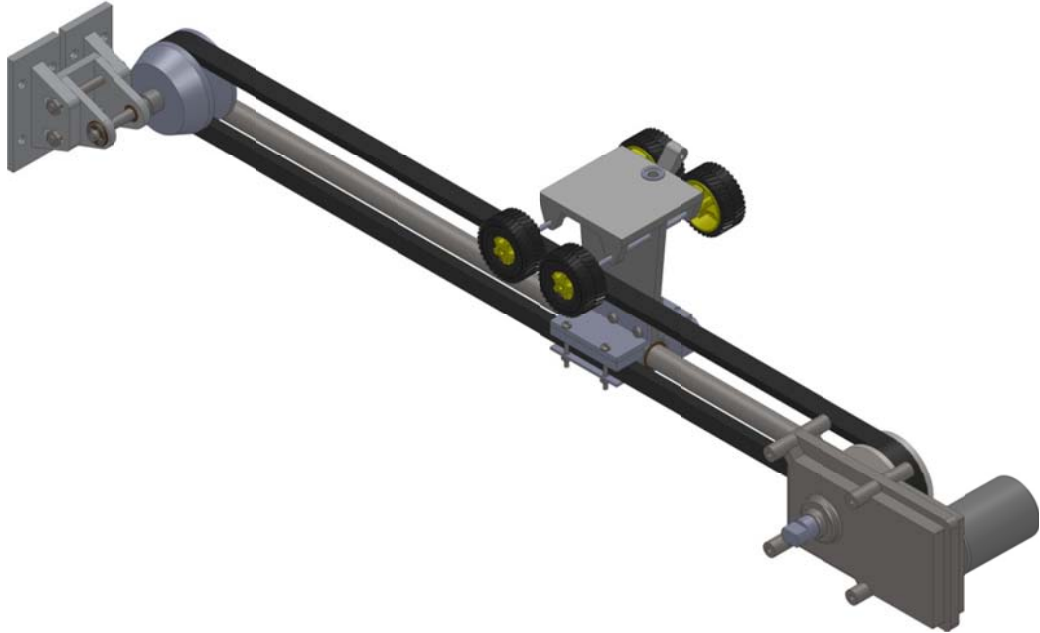
El presente diseño no se hizo con base a criterio de cargas ni de fatiga por ser estas muy pequeñas, se utilizó el criterio de la estética.

3.1.4 Sistema de guías y movimiento de las vagonetas

3.1.4.1 Descripción del sistema

El motorreductor acciona un sistema de poleas con una correa en V que permite el movimiento continuo de dicha correa. Es a esta correa que se sujeta un buje, el cual se desplaza por medio de una guía cilíndrica de acero, convirtiendo el movimiento en lineal. Dicho buje es solidario con la base de la vagoneta

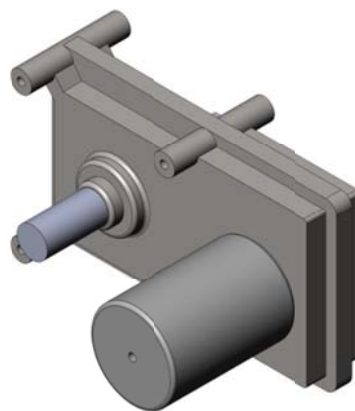
FIGURA 17. Sistema de desplazamiento vagonetas



3.1.4.2 Partes del sistema

- Motorreductor: como se dijo anteriormente se utilizó un motor de corriente directa marca MOLON, modelo CEM-1210-1M, de 12 Vdc con velocidad de 10 rpm y 100 lb-pulg de torque.

FIGURA 18. Motorreductor sistema de desplazamiento vagonetas



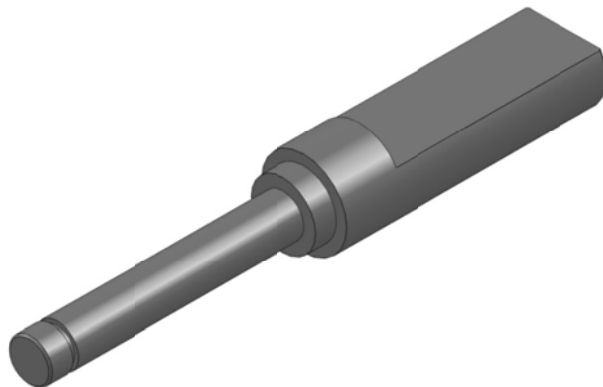
- Poleas: las poleas utilizadas en este sistema tiene un diámetro exterior de 2", están hechas de aluminio, su sistema de sujeción al eje es por medio de tornillo prisionero, para correa en V tipo A.

FIGURA 19. Polea en V tipo A



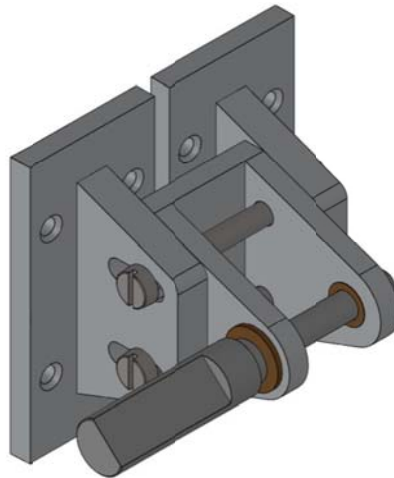
- Eje de la polea conducida: este eje se fabricó en acero inoxidable S202, con un diámetro exterior de 1/2" en el extremo de la polea y 1/4" en el extremo de los bujes de apoyo.

FIGURA 20. Eje polea conducida sistema de desplazamiento de vagonetas



- Sistema de tensión: está compuesto por dos soportes fijos a la estructura por medio de tornillos de acero , y un soporte móvil donde van montados los bujes de la polea conducida, los soportes fijos cuentan con dos ranuras para ajustar la tensión de la correa, todos los soportes están fabricados en aluminio fundidos.

FIGURA 21. Sistema de tensión de correas



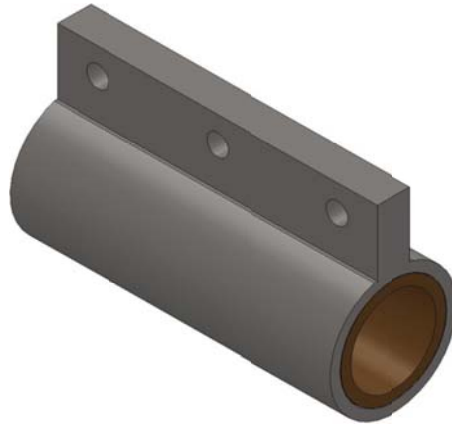
- Bujes eje polea conducida: estos bujes están fabricados en bronce fosfatado.

FIGURA 22. Buje eje polea conducida



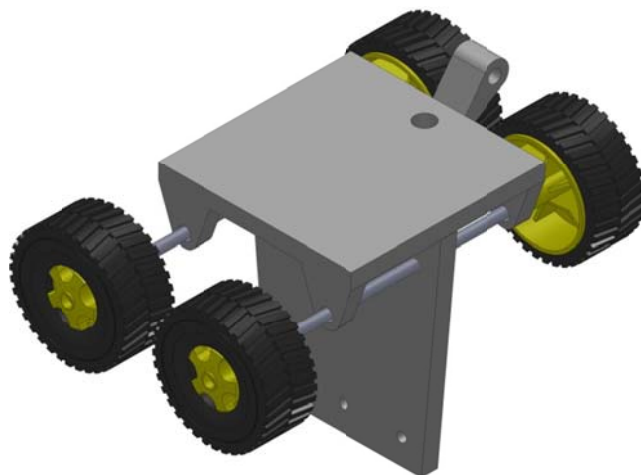
- Correa: correa en V tipo A de 44" de longitud.
- Collarín: hecho en acero con un buje de bronce fosfatado a presión está unido a la leva de accionamiento de los finales de carrera por medio de un ángulo de aluminio de 1" de lado y 1/8" de espesor, en el otro lado lleva el gancho que agarra la correa y en la parte superior lleva el soporte de la vagoneta.

FIGURA 22. Collarín sistema de desplazamiento vagonetas



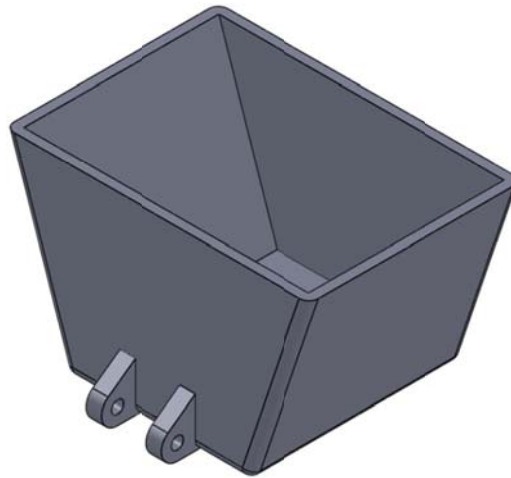
- Soporte de la vagoneta: fabricado en aluminio fundido en sobre él va la vagoneta, posee cuatro ruedas que le brindan equilibrio al sistema. El soporte de la vagoneta con sistema de volteo cuenta con un seguidor para tal propósito, de igual manera contará con dos resortes de torsión para retornar a la posición inicial la vagoneta.

FIGURA 23. Soporte vagoneta



- Vagoneta: posee una forma trapezoidal con las siguientes dimensiones, en la base 70mm x 61mm en la parte superior 70mm x 100mm y cuenta con una altura de 60mm. Está hecha de aluminio fundido, cuenta con dos soportes con orificios cilíndricos sobre los cuales puede girar. Se aplicó un brillo para tener un aspecto más atractivo.

FIGURA 24. Vagoneta



- Sistema de volteo

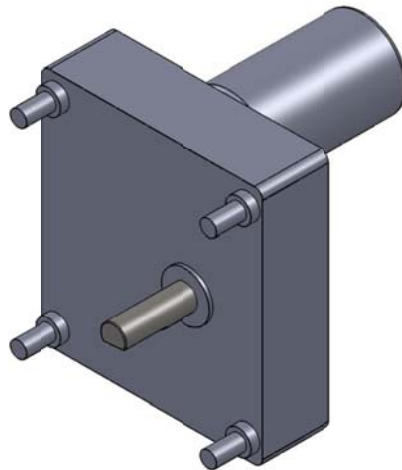
Una de las dos vagonetas cuenta con un sistema de volteo que descargará un objeto que esta va a llevar en su recorrido inicial, el objeto se deslizará sobre una rampa y caerá en la banda transportadora. Para lograr el volteo se instaló al final del recorrido de la vagoneta una leva lineal que empujará el seguidor montado sobre el soporte de la vagoneta, este a su vez hará girar sobre un eje a la vagoneta. Sobre el eje van montado dos resortes de torsión cuya función es la de retornar a la posición horizontal a la vagoneta.

3.1.5 Banda transportadora

El sistema de la banda transportadora desplazará un objeto desde una posición extrema hacia el otro extremo o hacia el centro de la banda. Este conjunto cuenta con las siguientes partes:

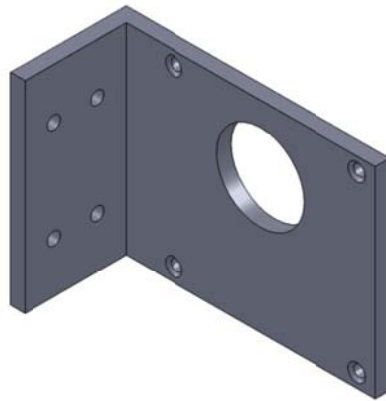
- Motorreductor: se utilizó un motor de corriente directa marca DAYTON, modelo 2L008, de 12 Vdc con velocidad de 12.5 rpm y 40 lb-pulg de torque.

FIGURA 25. Motorreductor sistema de banda transportadora



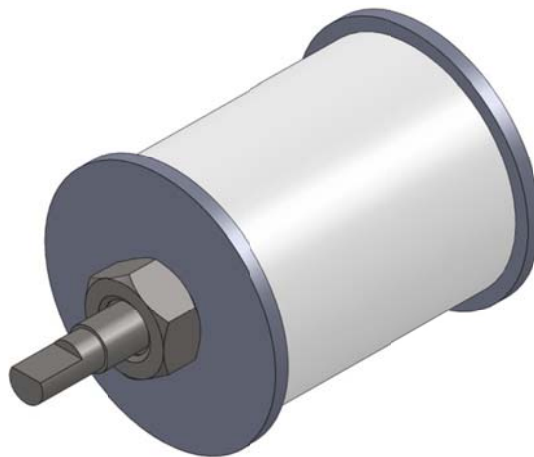
- Soporte del motorreductor: para fijar el motor a la estructura del banco se fabricó una pieza en aluminio fundido con un espesor de 5 mm.

FIGURA 26 Soporte motorreductor sistema banda transportadora



- Tambores: tanto el tambor de tracción como el tambor conducido poseen un cilindro de PVC de 5 cm de diámetro exterior, eje de acero inoxidable, posee tapas en aluminio con ejes de 5/16" de diámetro exterior.

FIGURA 27. Tambor tractor banda transportadora



- Bujes: estos bujes están fabricados en bronce fosfatado con un diámetro interno de 41/128" sobre los cuales giran los tambores.

FIGURA 28. Buje eje tambores de la banda transportadora



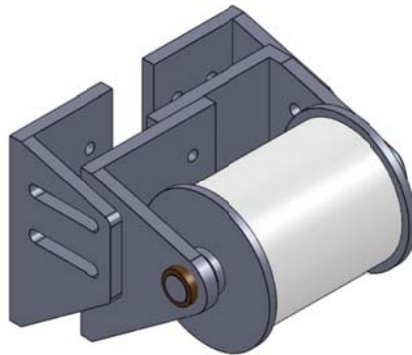
- Acople entre el eje del motorreductor y el tambor tractor: hecho en acero con un diámetro interno de $5/16$ y diámetro externo $7/16$ ", el sistema de sujeción es por medio de tornillos prisioneros de $1/8$ " de diámetro tipo bristol.

FIGURA 29. Acople eje de motorreductor tambor tractor



- Banda transportadora:
- Soportes: el sistema de la banda transportadora cuenta con dos soportes fijos donde van montados los bujes del tambor tractor, en el otro extremo posee un sistema de soportes ajustables donde están situados los bujes del tambor conducido. Estos soportes están hechos en aluminio fundido.

FIGURA 30. Soporte tensor banda transportadora



3.1.6 Selección de sensores y accionamientos

Para el sistema de desplazamiento de las vagonetas se seleccionaron finales de carrera mecánicos, dos en cada extremo de recorrido. Con el primero los estudiantes que estén usando el objeto tendrán que enviar la orden para detener la vagoneta, si esto no ocurre el final que carrera que está en el extremo del recorrido detendrá la vagoneta. En el caso de la banda transportadora se utilizaron sensores inductivos para determinar la posición del objeto que se desplaza sobre ellos.

3.2 PANEL Y SISTEMAS DE CONTROL DEL OBJETO

3.2.1 Tarjeta controladora

La tarjeta de control se encarga de hacer girar cuatro motores en un sentido derecho o izquierdo, dependiendo del estado de las señales de control de dicho motor que provienen del autómatas. También debe reportar hacia donde está girando el motor o si la entrada es una condición inválida. Adicionalmente ofrece la posibilidad de seleccionar la velocidad con la que gira uno de los cuatro motores del sistema.

Hay dos señales de entrada para el control de cada motor, la relación entre estas y el sentido de giro de cada motor se muestra en la tabla 1.

TABLA 3 – Relación entre entradas y giro del motor

Entrada 1	Entrada 2	Sentido de giro	Reporte de Salida
Bajo	Bajo	Reposo	Reposo
Bajo	Alto	Izquierda	Izquierda
Alto	Bajo	Derecha	Derecha
Alto	Alto	Reposo	No Permitida

3.2.1.1 Descripción de hardware

La tarjeta está diseñada para que interactúe con un PLC, por lo tanto se tuvo como una premisa para el diseño que las entradas y las salidas tuvieran aislamiento, con el fin de proteger el autómatas en caso de un fallo eléctrico en la etapa de potencia de la tarjeta de control. Para este fin se utilizaron opto-acopladores de referencia 4N25S.

FIGURA 31. Opto-Acoplador 4N25S



La etapa encargada del sentido de giro del motor es realizada por un puente H de potencia de referencia *L298*. Básicamente este circuito integrado recibe dos señales lógicas de entrada y de acuerdo a esto cambia la polaridad del voltaje de entrada en las terminales del motor DC, haciéndolo girar en un sentido o en otro. Este circuito integrado posee una señal de habilitación para que cualquier canal este activo, la señal de habilitación debe estar en alto.

FIGURA 32. Puente H L298



El encargado de procesar toda la información y entregar directivas de salida en la tarjeta de control es un micro-controlador de la empresa *Freescale* de referencia *MC9S08QE128* de 8 bits.

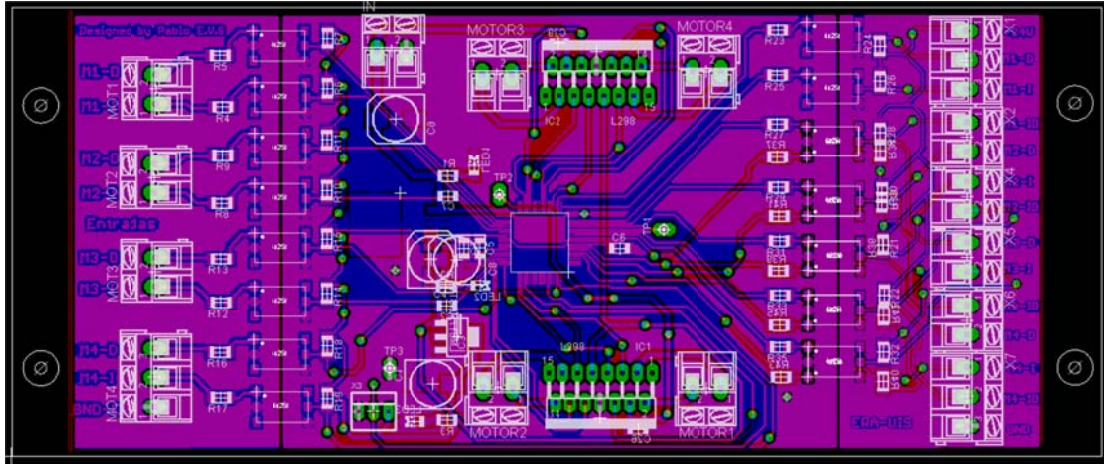
FIGURA 33. Micro-controlador MC9S08QE128



3.2.1.2 Descripción de la tarjeta de control

El circuito de control se muestra en la figura 34:

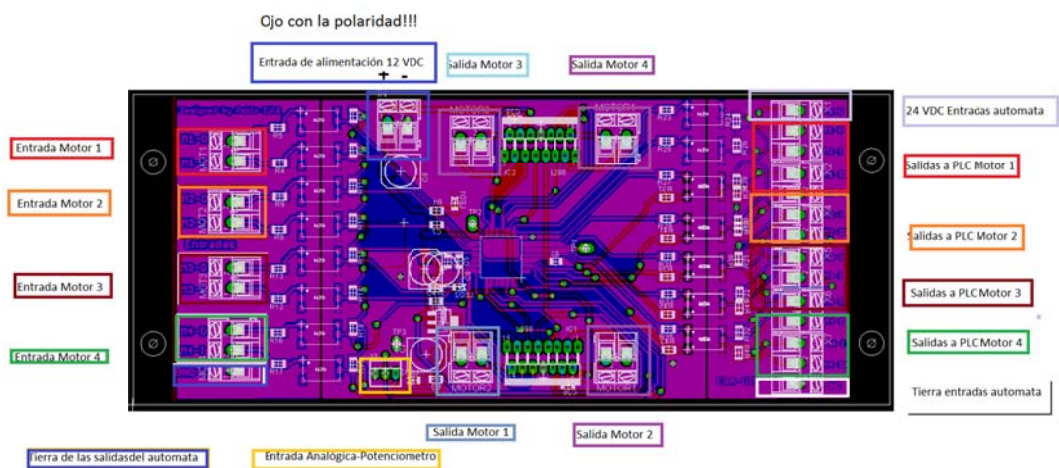
FIGURA 34. Tarjeta de Control



Disposición I/O:

- 1 - Entrada de alimentación (12 VDC – 6.2 A)
- 8 - Entradas digitales (Control de giro 24 VDC)
- 1 - Entrada Analógica (Control de velocidad)
- 4 - Salidas (Motores)
- 12 – Salidas Digitales (A panel de control)

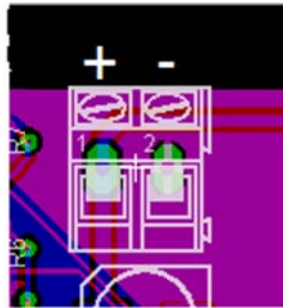
FIGURA 35. Circuito desglosado



Funcionamiento:

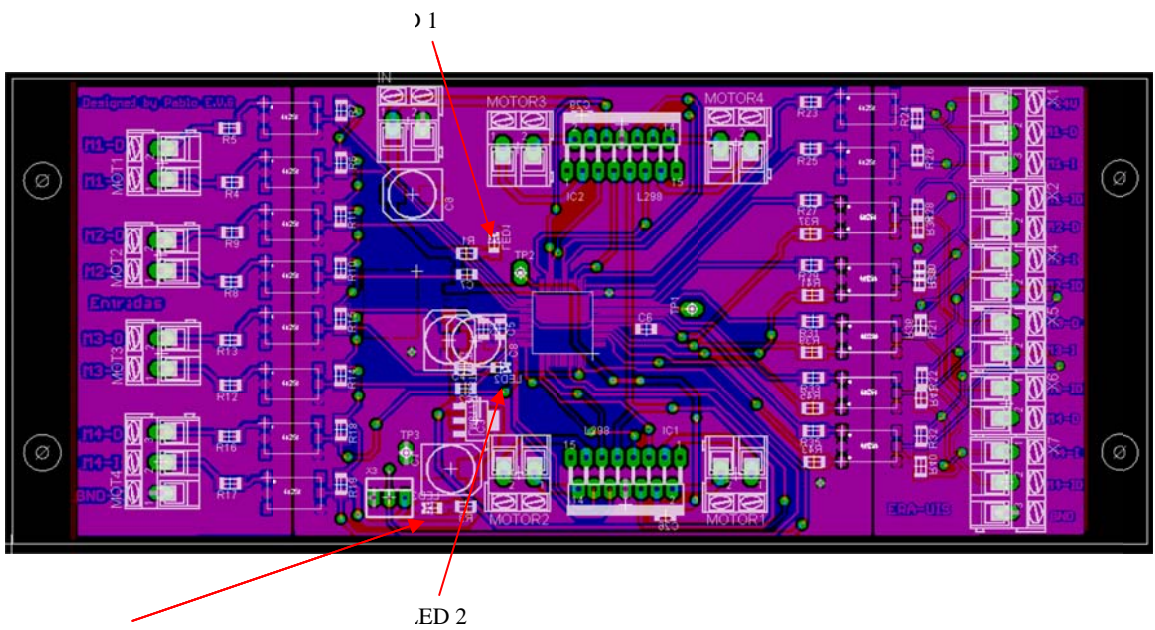
La tarjeta de control fue diseñada para trabajar con una fuente de alimentación de 12 V de corriente continua y una corriente máxima de 7A. Se debe tener extremo cuidado al conectar la fuente de alimentación, hacerlo en la polaridad adecuada, ya que una mala conexión podría dañar la tarjeta

FIGURA 36. Polaridad de la alimentación



Una vez energizada la tarjeta deben encender los tres *led's* dispuestos en la parte de debajo de la tarjeta que indican que las tensiones de alimentación están funcionando de forma correcta.

FIGURA 37. Leds de alimentaciones



Luego de ser energizada la tarjeta empieza a correr el programa del micro-controlador y la tarjeta está lista para recibir cualquier instrucción desde el autómata.

Cada motor posee una bornera de dos pines en la entrada y una de tres pines para la salida, el comportamiento de entrada-salida es el mostrado en la tabla 1.

El reporte de sentido de giro, se hace poniendo en alto el pin de la bornera salida que corresponde a dicho sentido.

FIGURA 38. Entradas Motor 1

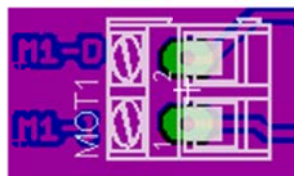
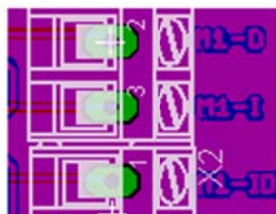


FIGURA 39. Salidas Motor 1

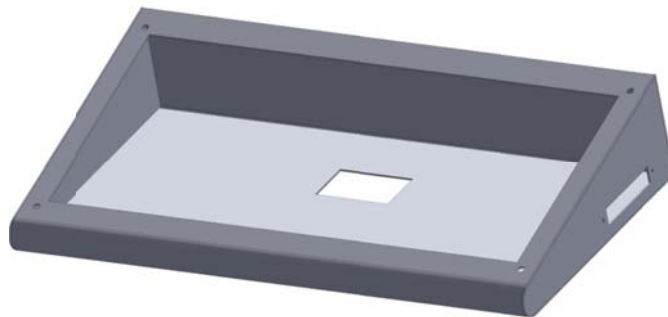


3.2.2 Panel de mando

El panel de control del objeto está situado sobre placa superior para facilitar la visualización de las vagonetas y la banda transportadora de quien esté operándolo. La caja del panel está construida en lámina de acero calibre 16, posee una lámina desmontable en donde están situados

los diferentes elementos de interfaz con el usuario, con el propósito de tener un fácil acceso al cableado del panel. En el lado izquierdo de la caja está el interruptor de encendido del banco, en la parte derecha de la misma se encuentra el puerto paralelo para la comunicación con el autómeta.

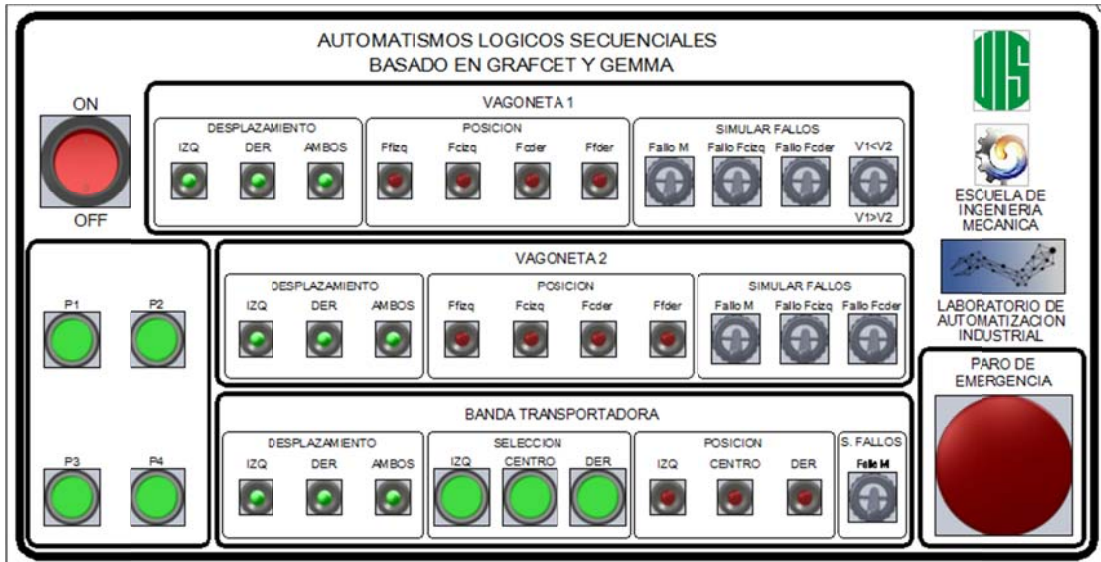
FIGURA 40. Caja panel de mando



El panel está dividido en cuatro secciones, en la primera están situados los controles del banco: interruptor de encendido del panel, 4 pulsadores para el inicio de la secuencia; en las demás secciones se encuentran los controles y la información de las dos vagonetas y la banda transportadora. En la sección de las vagonetas se puede observar si están activados cada uno de los finales de carrera, la señal enviada desde el autómeta a la tarjeta impresa para el sentido de giro de cada uno de los motorreductores y si eventualmente se envía señal de giro en ambos sentidos a un mismo motor. La sección de la vagoneta número uno cuenta con un selector de velocidad, con el cual se controla si la velocidad de la vagoneta número 1 es mayor o menor que la velocidad de la vagoneta 2, lo anterior nos permite aumentar el número de posibles situaciones que se pueden recrear con el banco. Existen interruptores que pueden simular el fallo en los finales de carrera de las vagonetas. En el caso de la banda transportadora se mostrará la posición en la cual se

encuentra el cuerpo y se puede simular el fallo de los sensores de posición.

FIGURA 41. Distribución panel de mando



Para el control de los motorreductores el banco cuenta con una tarjeta de control electrónica, esta tarjeta recibe las señales enviadas por el autómatas y con base en esta información permite el giro de los motorreductores, además envía la señales al panel de control a cerca del sentido de giro de los motores.

3.2.3 Sistema de potencia eléctrica y cableado

3.2.3.2 Fuente de alimentación

Para el funcionamiento de los motores se usará una fuente externa, es decir no se usará la salida del PLC para tal propósito. Se seleccionó una

fuente de la empresa Mean Well el modelo NES-75-12, la cual posee las siguientes características:

TABLA 4. Especificaciones técnicas fuente de poder

OUTPUT	DC VOLTAGE	12V
	RATED CURRENT	6.2A
	CURRENT RANGE	0 ~ 6.2A
	RATED POWER	74.4W
	RIPPLE & NOISE (máx.) Note.2	120mVp-p
	VOLTAGE ADJ. RANGE	10.8 ~ 13.2V
	VOLTAGE TOLERANCE Note.3	1.0%
	LINE REGULATIO N Note.4	0.5%
	LOAD REGULATIO N Note.5	0.5%
	SETUP, RISE TIME	500ms, 30ms/230VAC 1200ms, 30ms/115VAC at full load

	HOLD UP TIME (Typ.)	50ms/230VAC 10ms/115VAC at full load
INPUT	VOLTAGE RANGE	85 ~ 264VAC 120 ~ 370VDC
	FREQUENCY RANGE	47 ~ 63Hz
	EFFICIENCY (Typ.)	82%
	AC CURRENT (Typ.)	1.5A/115VAC 0.9A/230VAC
	INRUSH CURRENT (Typ.)	COLD START 45A
	LEAKAGE CURRENT	<2mA / 240VAC
PROTECTION	OVERLOAD	110 ~ 150% rated output power
	OVERVOLTAGE	13.8 ~ 16.2V Protection type : Shut down o/p voltage, re-power on to recover
ENVIRONMENT	WORKING TEMP.	-20 ~ +60 °C(Refer to output load derating curve)
	WORKING HUMIDITY	20 ~ 90% RH non-condensing
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-40 ~ +85°C , 10 ~ 95% RH
	TEMP. COEFFICIENT	0.03%/ (0 ~ 45)

	VIBRATION	10 ~ 500Hz, 2G 10min./1cycle, period for 60min. each along X, Y, Z axes
SAFETY & EMC (Note 6)	SAFETY STANDARD S	UL60950-1, CB(IEC60950-1),CCC GB4943 approved
	WITHSTAND VOLTAGE	I/P-O/P:3KVAC I/P-FG:1.5KVAC O/P-FG:0.5KVAC
	ISOLATION RESISTANCE	I/P-O/P, I/P-FG, O/P-FG:100M Ohms / 500VDC / 25 / 70% RH
	EMI CONDUCTION & RADIATION	Compliance to EN55022 (CISPR22) Class B
	HARMONIC CURRENT	Compliance to EN61000-3-2,-3
	EMS IMMUNITY	Compliance to EN61000-4-2, 3, 4, 5, 6, 8,11, ENV50204, EN55024, EN61000-6-1, light industry level, criteria A
OTHERS	MTBF	378.2K hrs min. MIL-HDBK-217F (25)
	DIMENSION	159*97*38mm (L*W*H)
	PACKING	0.52Kg; 30pcs/16.6Kg/0.97CUFT

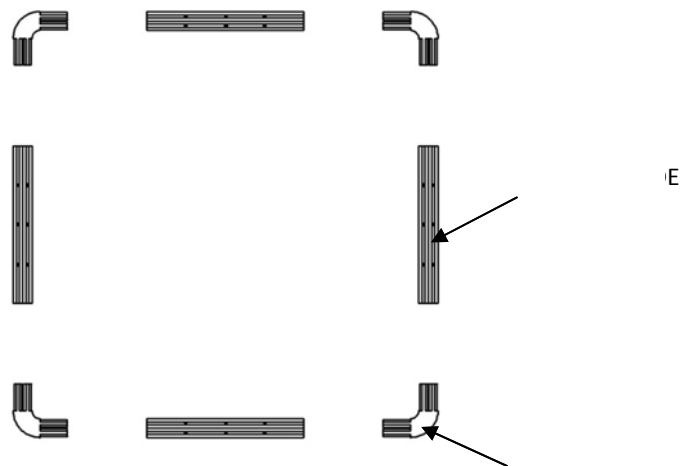
NOTE	<p>1. All parameters NOT specially mentioned are measured at 230VAC input, rated load and 25 of ambient temperature. 2. Ripple & noise are measured at 20MHz of bandwidth by using a 12" twisted pair-wire terminated with a 0.1uf & 47uf parallel capacitor. 3. Tolerance: includes set up tolerance, line regulation and load regulation. 4. Line regulation is measured from low line to high line at rated load. 5. Load regulation is measured from 0% to 100% rated load. 6. The power supply is considered a component which will be installed into a final equipment. The final equipment must be re-confirmed that it still meets EMC directives. For guidance on how to perform these EMC tests, please refer to "EMI testing of component power supplies." (as available on http://www.meanwell.com)</p>
-------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

4. CONSTRUCCION Y MONTAJE DEL OBJETO DE APRENDIZAJE

4.1. ENSAMBLE DE LA ESTRUCTURA

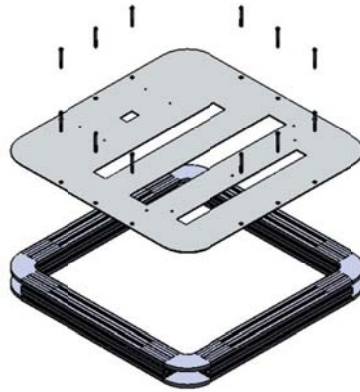
La estructura del banco se ensambló sujetando inicialmente parejas de perfiles estructurales por medio de pernos. Para formar cada lado de la estructura se unieron dos parejas de perfiles. Los cuatro lados se unieron por medio de esquinas circulares hechas en aluminio fundido y mecanizadas de tal forma que entren precisas en el extremo del arreglo de perfiles.

FIGURA 42. Ensamble del contorno de la estructura



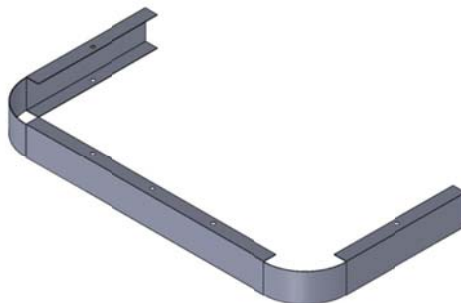
La estructura se complementa con la lámina superior que va colocada sobre el conjunto de perfiles y esquinas y va asegurado a estos por medio de 12 tornillos.

FIGURA 43. Fijación de la lámina superior en al contorno de la estructura.



Para dar un mejor aspecto se colocó una cubierta en la parte exterior de la estructura, para ello se utilizó lamina de acero inoxidable calibre 28. Esta cubierta se hizo en tres secciones, la primera cubre la parte frontal y parte de los laterales, las otras dos cubre cada una la restante parte lateral y la mitad de la parte posterior. A cada sección de la cubierta se le dio la forma del arco en las esquinas y se hicieron dobleces en la parte superior e inferior y se hicieron los respectivos orificios para asegurarla a la estructura con los mismos pernos que sujetan la lámina superior.

FIGURA 44. Cubierta frontal en acero inoxidable.



4.2. SOPORTES

Los soportes de los finales de carrera de la vagoneta, el soporte de las levas para el sistema de volteo y los soportes para la tarjeta de control se fabricaron con ángulo de aluminio de 1" de lado y 1/8" de espesor se unieron entre sí por medio de pernos de 3/16" de diámetro, se hicieron los respectivos agujeros para colocar los elementos y se unieron a la estructura utilizando pernos de 3/16".

El soporte para la fuente de poder se fabricó con ángulo de aluminio de 2" de lado por 1/8" de espesor se fijó a la estructura por medio de pernos de 3/16"

Los soportes de los motorreductores y de los sistemas de tensión de las correas y la banda transportadora se fabricaron en aluminio fundido, se mecanizaron las guías de los sistemas de tensión y los orificios correspondientes, unieron a la estructura por medio de pernos.

El soporte para los sensores inductivos se hizo con tubo de aluminio de sección transversal rectangular de 1 1/2" de largo por 3/4" de ancho y 1/16" de espesor de pared. Se fija a la lámina superior por medio de pernos en sus extremos.

4.3. MECANIZADO Y ACABADO DE SUPERFICIES

Elementos fundidos:

Los elementos fundidos fueron rectificadas con limas manuales, eliminando rebordes y filos. Se hicieron los orificios respectivos para colocar los tornillos y bujes.

Piezas en aluminio:

Las vagonetas hechas en aluminio fundido recibieron un pulido para mejorar su aspecto.

Los perfiles y láminas de aluminio utilizadas no recibieron ningún acabado superficial. Simplemente se ensamblaron con especial atención pues no requieren mejorar su aspecto o recibir protección contra la corrosión.

Las levas para el sistema de volteo se fabricaron en aluminio y se mecanizaron en la máquina de CNC de la escuela de Ingeniería Mecánica, igualmente los topes de las finales de carrera del sistema de desplazamiento de las vagonetas.

Piezas en bronce:

Las piezas de bronce como son el buje que se desplaza sobre la guía en el sistema de movimiento de las vagonetas y los bujes sobre los cuales giran los ejes recibieron un mecanizado óptimo en sus partes que van en contacto con otros elementos para minimizar la fricción entre ellos.

Piezas en acero:

El collarín en el que se inserta el buje del sistema de las vagonetas se fabricó soldando una platina y un tubo de acero, posteriormente se mecanizó el interior del tubo para dar el ajuste necesario para que el buje entrara a presión, luego se colocó la pieza entre centros se procedió a mecanizar las dos caras de la platina para que estas quedaran paralelas al eje del buje.

Las piezas en acero inoxidable como los ejes sobre de los diferentes elementos que van a rotar sobre bujes se mecanizaron en torno con un buen acabado superficial para disminuir sus coeficientes de fricción. Las guías del sistema de desplazamiento de las vagonetas se mecanizaron en sus extremos donde van a ir apoyadas a sus respectivos soportes, la superficie de deslizamiento de los bujes no se mecanizó por venir de fábrica con un acabado superficial óptimo y estar calibrada a 1/2" de diámetro.

La caja del panel de mando se fabricó en lámina de acero calibre 16 para ello se recortó las parte central de la caja, se dobló para darle la forma a la superficie inclinada y las partes posterior e inferior, posteriormente se recortaron las tapas laterales y se soldaron a la sección central. Se hicieron los respectivos agujeros para sujetar la caja a la estructura y la lámina donde están los controles del objeto. Finalmente la caja se lijó, se le aplicó anticorrosivo y se aplicó pintura electrostática roja para dar un aspecto estético y protegerla de la corrosión.

Se utilizó igualmente lámina calibre 16 de acero para construir la pieza donde van a ir montados los controles del objeto, se recortó, se limaron sus bordes, se hicieron los agujeros con un taladro de árbol, posteriormente se lijó, se aplicó anticorrosivo y se imprimió la imagen con los textos, líneas y logos correspondientes.

CONCLUSIONES

Se logró construir el objeto de aprendizaje planteado en los objetivos iniciales, dando cumplimiento al presente trabajo de grado y aportando a la escuela de Ingeniería Mecánica un elemento importante en la resolución de problemas de diseño de automatismos lógicos secuenciales en base a Grafcet.

Se aplicaron conocimientos adquiridos en asignaturas propias de la carrera en referencia a diseño de máquinas, autómatas programables, control automático, electrónica, entre otras; tales conocimientos se fortalecieron y se afianzaron en los estudiantes participantes además de evidenciar la diferencia entre la teoría y la práctica del diseño y construcción de un sistema.

El banco de aprendizaje cumplió con criterios de diseño funcionales y estéticos, además de la robustez necesaria para soportar trabajo continuo, y la gran mayoría de elementos que lo constituyen son de fácil consecución y reemplazo, lo cual permite su futuro mantenimiento correctivo.

RECOMENDACIONES

Se recomienda leer las instrucciones del manual de operación antes de usar el banco de aprendizaje, que aunque son prácticas y sencillas pueden ser de gran importancia, evitando averías y mal funcionamiento del conjunto.

El sistema desarrollado puede incrementar su versatilidad acoplándolo a otros elementos del laboratorio como por ejemplo el robot cartesiano; pueden además desarrollarse fases posteriores que incluyan la construcción de elementos que coloquen y retiren las cargas que transportan las vagonetas y/o la banda mediante procesos automatizados.

BIBLIOGRAFIA

BALCELLS, Josep; ROMERAL, José Luis. "Autómatas Programables", Alfaomega Marcombo Boixareu Editores, 2000.

KUO, Benjamin C. "Sistemas de Control Automático". Prentice Hall Hispanoamérica, S.A. Mexico. 7ª Edición, 1996

MENESES FLÓREZ, Jorge Enrique. "Autómatas Programables Industriales". Universidad Industrial de Santander.

ANEXOS

ANEXO A. TEORIA BASICA DE CONTROL AUTOMATICO

GENERALIDADES DE LOS AUTÓMATAS

Un Autómata Programable ó Autómata programable industrial (API) puede definirse como un equipo electrónico el cual realiza la ejecución de un programa de forma cíclica. La ejecución del programa puede ser interrumpida momentáneamente para realizar otras tareas consideradas más prioritarias, pero el aspecto más importante es la garantía de ejecución completa del programa principal.

La potencia de un AP está directamente relacionada con la velocidad de ejecución del programa y las variables tratadas. Un AP del mercado actual tarda unos 0,15 ms por cada instrucción, o sea que el resultado es perfecto para el control de cualquier automatismo. El fin de dicha ejecución es provocar el cambio de las variables tratadas. Este cambio sobre las variables se realiza antes, durante y al final del programa. Antes del programa se realiza la lectura de las Entradas (inicio de ciclo), al final se realiza la escritura de las Salidas (fin de ciclo y enlace con el inicio). Durante la ejecución del programa se realiza la lectura y/o escritura de las variables internas según el contexto programado.

Otro punto importante es la programación del AP. Se tiende a pasos agigantados a programar con software para PC actuales, se utilizan entornos gráficos intuitivos y conocidos como Windows. Esto implica un conocimiento, en la mayoría de los casos, medio del entorno; amén de un ordenador, casi siempre, portátil con el fin de depurar el programa desarrollado en la propia instalación. O sea que requiere un desembolso, en medios, aparentemente importante. Otra forma de programar es una

pequeña consola (llamada Pocket) la cual nos va a permitir una mayor autonomía; el desembolso, en un principio es menos costoso que un ordenador. El mayor problema estriba en que estas consolas, hoy día, están pensadas para programar AP pequeños (de hasta 48 E/S). Es evidente que en AP superiores una programación con estas consolas se convierte en un proceso tedioso ya que se visualizan, normalmente, una o dos líneas del programa escrito. Estas consolas sí tienen utilidad, para modificar datos, bien de autómatas pequeños como de un calibre superior.

Una visión global de un automatismo nos define varios conceptos:

- 1 Una alimentación principal del sistema
- 2 Una adquisición de datos del estado de la instalación o del proceso (Entradas)
- 3 Un proceso (tratamiento) de esos datos (API) (antes relés)
- 4 Un resultado plasmado sobre unos accionadores auxiliares (Salidas)
- 5 La variación real sobre la instalación o el proceso (movimientos, activaciones, cualquier cambio)

De forma paralela existe un diálogo llamado hombre-máquina el cual va a permitir modificar a conveniencia el proceso. Este diálogo se realiza a través de lo que se conoce como HMI (Interfaz Hombre Maquina), que consta de pulsadores, interruptores, pedales, etc.; o bien a través de algún terminal (teclas) o/y ordenador.

Lo que nunca va a ser sustituido por un API son los puntos 1 y 5, es decir un API es un equipo de control, con unas salidas que soportan más o menos intensidad, es por esto que en casi todos los procesos, las salidas accionan auxiliares (principalmente relés) y éstos a cargas (resistivas o inductivas) de una potencia mayor.

MODELADO DE SISTEMAS DE EVENTOS DISCRETOS MEDIANTE EL DIAGRAMA ETAPA TRANSICIÓN GRAFCET³

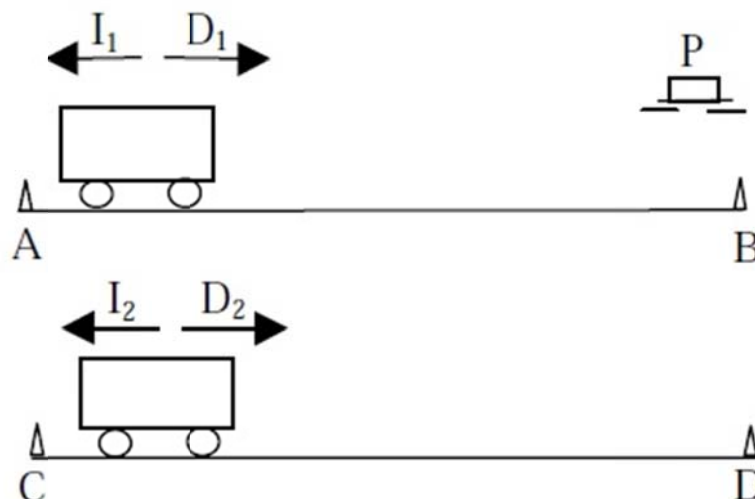
Sistemas De Eventos Discretos

Se define un sistema dinámico de eventos discretos como aquel que evoluciona entre un número finito de estados discretos y cuyo paso de un estado a otro depende del valor de determinadas variables binarias.

Diagramas de estado

Un diagrama de estado es una representación gráfica de los posibles estados secuenciales de un sistema de eventos discretos en forma estructurada.

Los diagramas de estados son una herramienta válida para modelar sistemas de eventos discretos. Sin embargo tienen algunos inconvenientes importantes. Considérese el ejemplo:



³ SANCHIS, Roberto. Introducción al control automático tecnología. UJI

Los carros están inicialmente en A y C. Cuando se pulsa P se ponen en marcha hacia la derecha hasta llegar a B y D. Cada carro al llegar al extremo derecho cambia de sentido de forma independiente poniéndose en marcha hacia la izquierda hasta llegar a C o A. Solo cuando los dos carros han llegado al extremo izquierdo y se pulsa P se vuelven a poner en marcha hacia la derecha. Las velocidades de cada carro no se saben en principio por lo que hay que tener en cuenta todas las posibilidades. Si se intenta dibujar el diagrama de estados se obtiene un esquema muy complicado. Este sencillo ejemplo muestra que el diagrama de estados no es una buena herramienta cuando hay acciones paralelas o concurrentes. Los diagramas de etapa-transición (Grafcet) permiten modelar estos casos de forma mucho más simple.

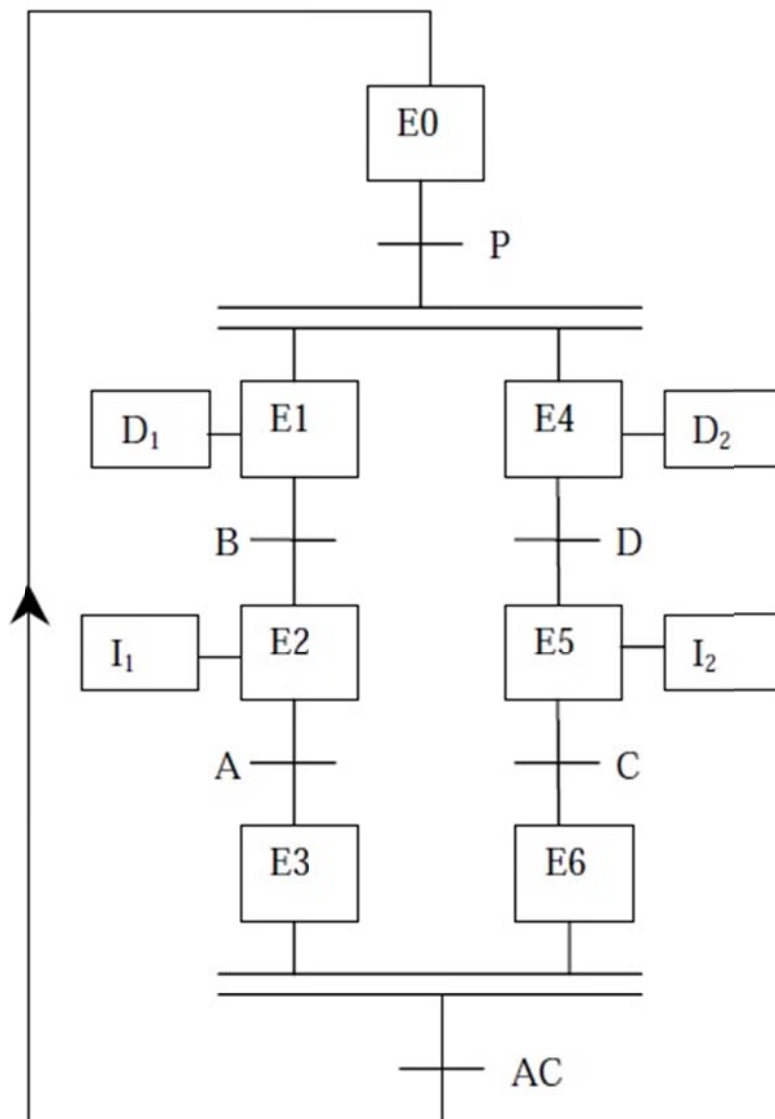
El Grafcet: Definición.

El Grafcet es una herramienta de modelado de sistemas de eventos discretos derivada de las redes de Petri. En realidad, es como una red de Petri en la que los lugares solo pueden tener una marca. Es una herramienta adecuada para representar sistemas con evoluciones simultáneas.

Una red Petri es un grafo orientado formado por 2 tipos de nodos, las **etapas** (simbolizadas por un cuadrado) y las **transiciones** (simbolizadas por una línea recta) unidos alternativamente por otras líneas rectas perpendiculares a las transiciones. Se pueden unir etapas con transiciones y viceversa, pero nunca elementos iguales. La orientación del grafo es siempre de arriba abajo (se pasa de una etapa a la transición de abajo y de ésta a la etapa de abajo), salvo excepciones en las que la línea que une la etapa y la transición debe tener una flecha indicando el sentido de evolución.

En un momento determinado cada etapa puede tener una marca (representada por un punto) o no tenerla, indicando que la etapa está activa o no. El conjunto de marcas del Grafcet (de etapas activas) define el estado del sistema.

La gran ventaja del Grafcet respecto del diagrama de estados se aprecia, sin embargo, en el ejemplo de las vagonetas, en el que hay actividades que transcurren en paralelo. El proceso quedaría modelado por el siguiente Grafcet:



Fuente: Introducción al control automático. Roberto Sanchis

La evolución del grafcet es como sigue: Cuando todas las etapas anteriores (por tanto dibujadas encima) a una transición están activas y la condición asociada a la transición está también activa, la transición se dispara y el sistema evoluciona desactivando las etapas anteriores y activando las etapas posteriores.

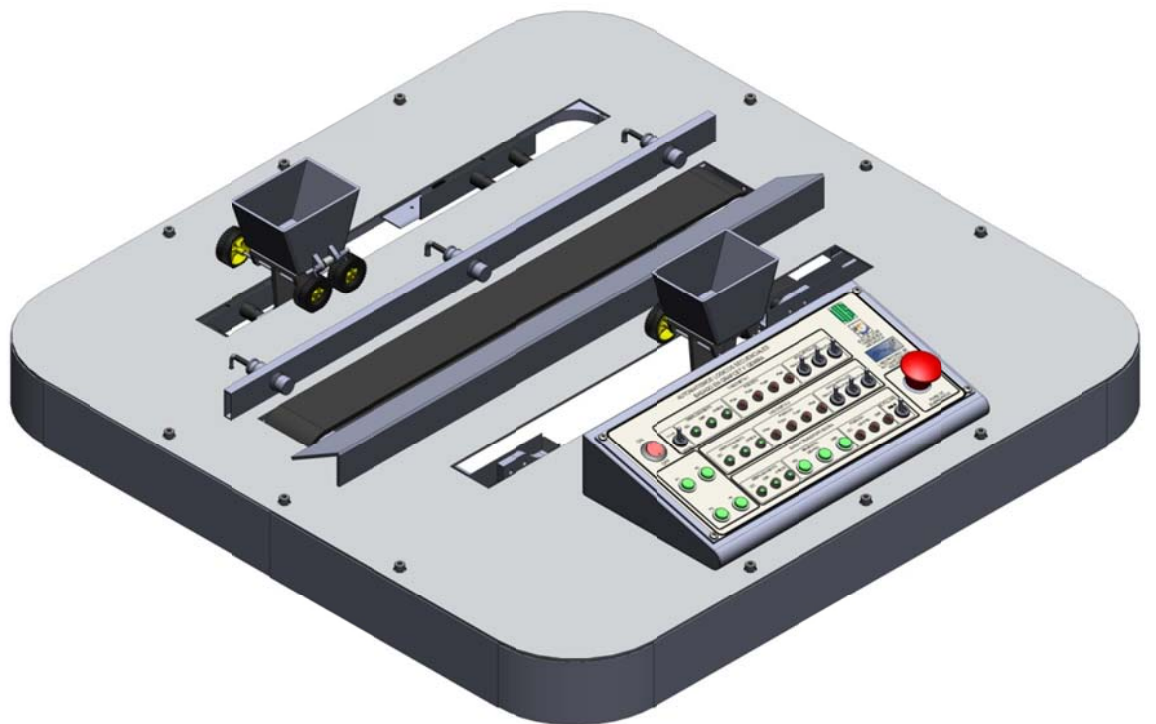
Se dice que una transición está validada (o está habilitada) si todas las etapas anteriores están activas. Se denomina receptividad asociada a una transición a la condición lógica asociada a su disparo.

La diferencia fundamental con los diagramas de estados son las bifurcaciones. En este caso cuando se pulsa P la transición de distribución hace que se activen simultáneamente dos etapas (una para cada carro) de forma que hay dos secuencias funcionando en paralelo. Cuando los dos carros han llegado al punto inicial, la transición de conjunción (o sincronización) impone la condición de que los dos estén en A y C antes de volver a empezar un ciclo.

La diferencia fundamental con el diagrama de estados es que en aquel solo hay un estado activo (que representa el estado del sistema). En el Grafcet puede haber varias etapas activas al mismo tiempo.

El estado del sistema queda definido por las etapas activas, por lo que con pocas etapas se pueden representar muchos estados.

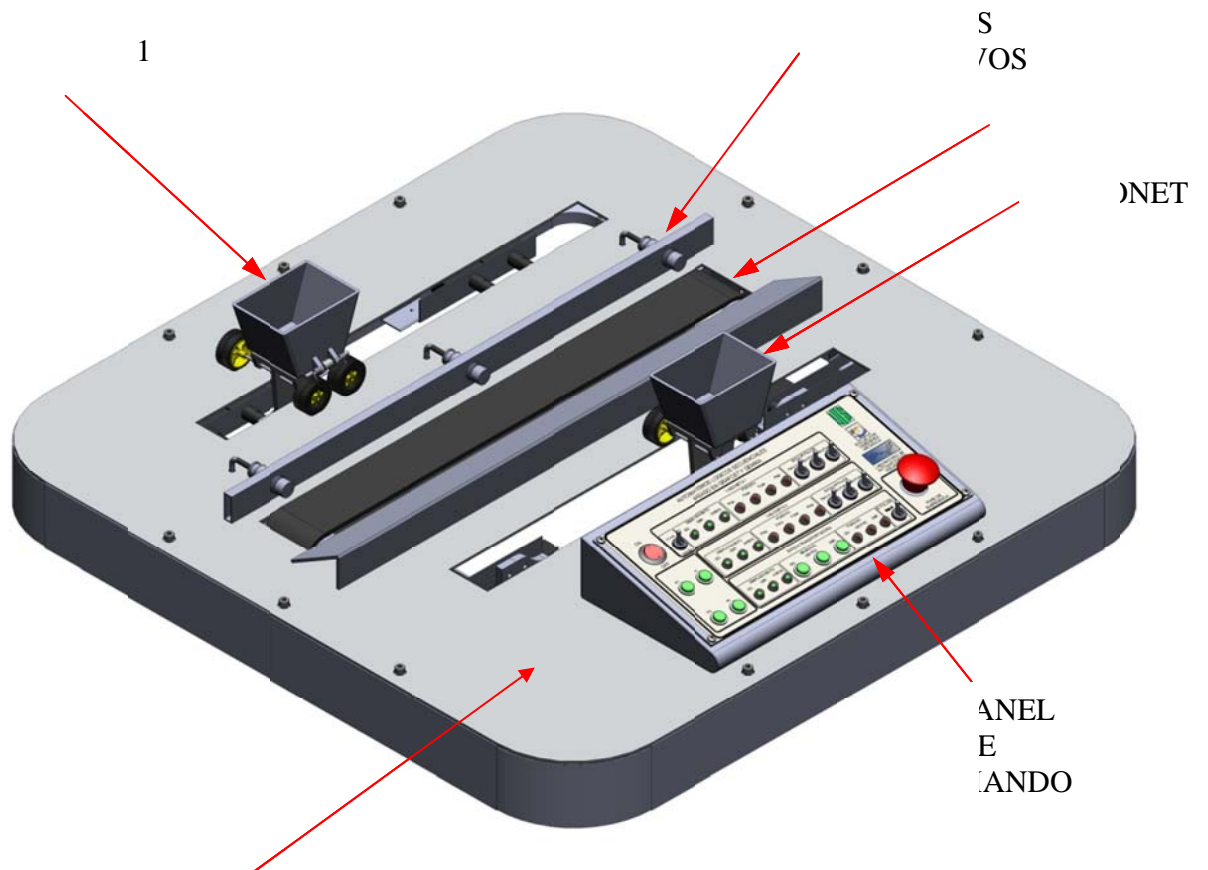
**ANEXO B. MANUAL DE OPERACIÓN Y
MANTENIMIENTO**



CONTENIDO

1. Partes del objeto de aprendizaje.
2. Precauciones y chequeos antes de poner en marcha el sistema.
3. Puesta en marcha.
4. Mantenimiento general del banco.

1. PARTES DEL OBJETO DE APRENDIZAJE



2. PRECAUCIONES Y CHEQUEOS ANTES DE PONER EN MARCHA EL SISTEMA

Antes de encender el objeto se deben tener en cuenta las siguientes precauciones:

- Verificar que no hayan elementos extraños en las ranuras por donde se desplazan las vagonetas o sobre la banda transportadora, esto podría dañar el banco o las cosas que se coloquen en las ranuras.
- No colocar las manos dentro de las ranuras, mucho menos cuando se esté en operación.
- Verificar que el tomacorriente al cual se va a conectar el objeto sea a 110v de corriente alterna.

3. PUESTA EN MARCHA

1. Antes de utilizar el objeto debe conectarse por medio del puerto paralelo al autómata.
2. Cerciorarse que esté conectado al tomacorriente de 110 v de corriente alterna.
3. Accionar el interruptor ubicado en la parte posterior del banco cera a la entrada del cable de poder, lo anterior con el fin de energizar el objeto.
4. Luego encender la interfaz hombre máquina (panel de mando) con el interruptor ubicado en la parte superior derecho de la misma.

4. MANTENIMIENTO

Cada seis meses, antes de iniciar el uso del banco se debe realizar una inspección para determinar el estado en el que se encuentran los diferentes elementos que componen el mismo. Se debe seguir este procedimiento:

1. Desconectar el banco del tomacorriente y del autómata para evitar accidentes.
2. Retirar los tornillos de la placa del panel de mando, desconectar los cables que van hacia dentro del banco.
3. Quitar los sensores inductivos de la lámina superior
4. Retirar las vagonetas quitando los tornillos que unen el soporte de la vagoneta al collarín.
5. Con una llave tipo Bristol retirar los tornillos que se encuentran en la parte superior de la placa horizontal y retirar la misma.
6. Realizar las siguientes acciones en los respectivos elementos

CORREAS:

- Verificar el estado de las correas, buscando fisuras, desgaste o estiramiento, de ser necesario se recomienda cambiarlas, estas son correas en V, tipo A de 44" de longitud.

- Verificar la tensión de las correas, si estas se encuentran sueltas se deben tensionar para lo cual se debe soltar las tuercas del sistema de tensión, desplazar hacia atrás el soporte móvil del eje de la correa y volver a apretar los tornillos.

GUÍA DE LA VAGONETA:

- Retirar con un trapo limpio la grasa que se encuentra en la guía sobre la cual se desplaza la vagoneta y aplicar grasa limpia.

EJES DE RODILLOS:

- Lubricar con grasa los ejes de los rodillos en la zona que está en contacto con los bujes.

PANEL DE MANDO:

- Verificar el estado de las luces piloto y reemplazar las que estén dañadas, para esto se debe retirar los cuatro tornillos que se encuentran en la placa del panel.

SISTEMA DE VOLTEO:

- Retirar la grasa usada del seguidor de la leva, aplicar grasa limpia en el seguidor y en su guía.

SISTEMA ELECTRICO:

- Retirar el polvo que se encuentre en la tarjeta de control y la fuente de poder utilizando un soplador.
- En caso de que se presente un fallo eléctrico se debe verificar el funcionamiento de la fuente de poder, la tarjeta de control y las diferentes conexiones eléctricas, lo anterior lo debe realizar personal con conocimientos en electrónica.

- En el eventual caso que se desconecte la entrada de energía a la tarjeta de control se debe tener la precaución de conectar correctamente la polaridad, en caso contrario se podría dañar la tarjeta de control.
7. Revisar que no queden elementos extraños dentro del objeto, como lapiceros, herramientas, cuadernos, etc.
 8. Colocar el cable de los sensores inductivos y enroscarlos en su sitio.
 9. Colocar la placa y asegurarla con los tornillos.

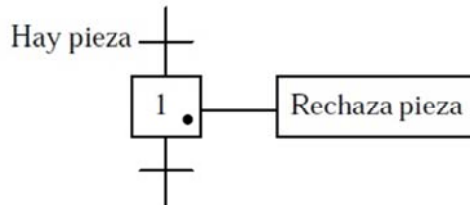
ANEXO C. PAQUETE AUXILIAR TEORIA - PROBLEMARIO

Modelado de sistemas de eventos discretos mediante Grafcet⁴

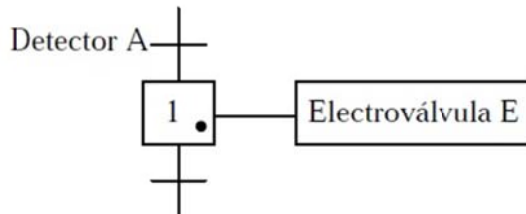
Niveles de descripción.

Un diagrama grafcet puede realizarse en 3 niveles:

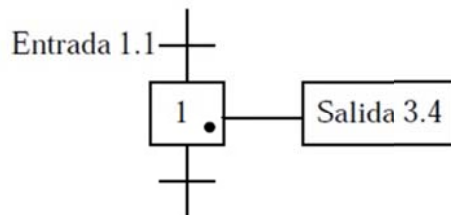
- Nivel 1. Se describen las operaciones a realizar, sin hacer mención a la tecnología de sensores o accionadores.



- Nivel 2. Se describen las operaciones a realizar detallando las variables que se activan y que se leen del proceso (sensores y actuadores).



- Nivel 3. En este nivel se describen las variables del autómata programable que activan o leen las variables externas.



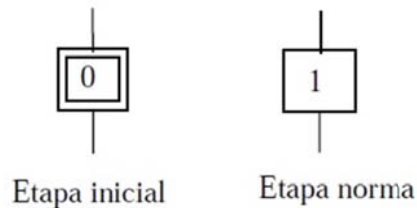
En general bastará con los niveles 1 y 2, pues el software de programación del autómata permite nombrar las variables del autómata con nombres que describan los sensores y actuadores relacionados.

⁴ Ibid, p. 76

Elementos del Grafcet.

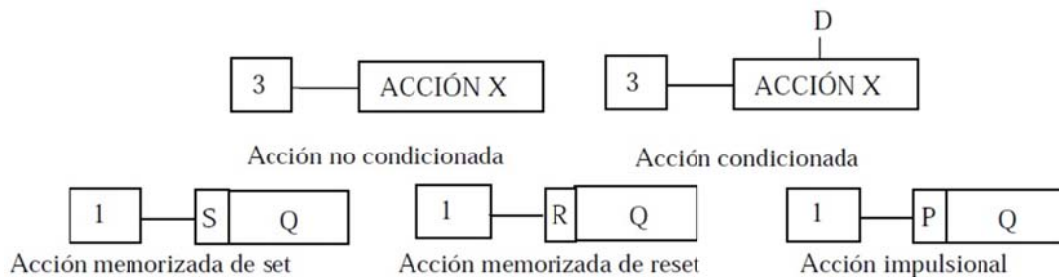
Etapa.

- Se representa por un cuadrado.
- Puede estar activa o inactiva (con marca o sin ella).
- Si es una etapa inicial tiene doble cuadrado. En ese caso se activa cuando se inicializa por primera vez el grafcet.



Acción asociada a una etapa.

- Se representa por un rectángulo unido a la etapa.
- La acción consiste normalmente en la activación de una salida. La salida determinada se activa mientras la etapa esté activa.
- Puede haber varias acciones a la vez.
- Una acción puede estar condicionada a una variable. Se representa por una línea perpendicular.
- Normalmente la acción se realiza mientras la etapa está activa. Sin embargo, puede haber acciones impulsionales (se realizan una sola vez cuando se activa la etapa) y acciones memorizadas (que permanecen activas cuando se desactiva la etapa hasta que en otra etapa se realiza una acción de reset).

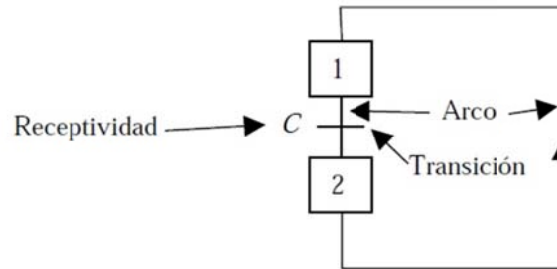


Transición y receptividad.

- Una transición se representa por un trazo horizontal.
- Se sitúa siempre entre dos etapas.
- Tiene asociada una **receptividad**, que puede ser una condición lógica de nivel o de flanco. Cuando es de flanco se representa con una flecha al lado de la condición (◻ si es de subida, ◻ si es de bajada).

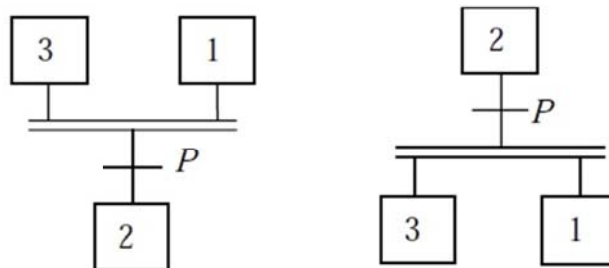
Arco.

- Es una línea que une una transición con una etapa y viceversa.
- El sentido es siempre de arriba abajo. Cuando el sentido es el inverso (de abajo arriba) se indica con una flecha.



Trazos paralelos.

- Se utilizan para indicar que una transición se une a varias etapas.
- Sirven para definir secuencias paralelas o simultáneas y para sincronizar los finales de esas secuencias.

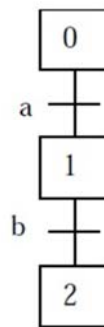


ESTRUCTURAS EN EL GRAFCET.

Las estructuras que se utilizan con más frecuencia en el diseño de automatismos con Grafcet son:

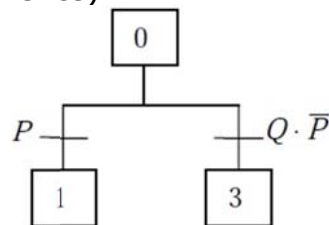
Secuencia.

- Es una sucesión alternada de etapas y transiciones.
- Representa una serie de operaciones secuenciales.
- Se dice que una secuencia está activa si lo está alguna de sus etapas.



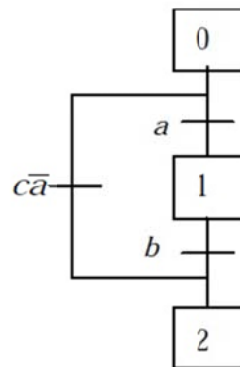
Selección entre secuencias.

- Representa una bifurcación en la que según la condición se activa una secuencia u otra.
- Para evitar problemas suelen ser secuencias excluyentes (nunca se activan simultáneamente).



Salto.

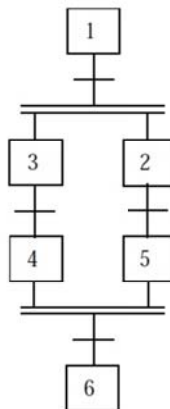
- Es una selección de secuencias.
- También suelen ser excluyentes para evitar problemas.
- El salto puede ser hacia adelante o hacia atrás.



Paralelismo de secuencias.

- Se utiliza cuando una transición hace que dos o más secuencias se activen al mismo tiempo y por tanto evolucionen de forma simultánea.

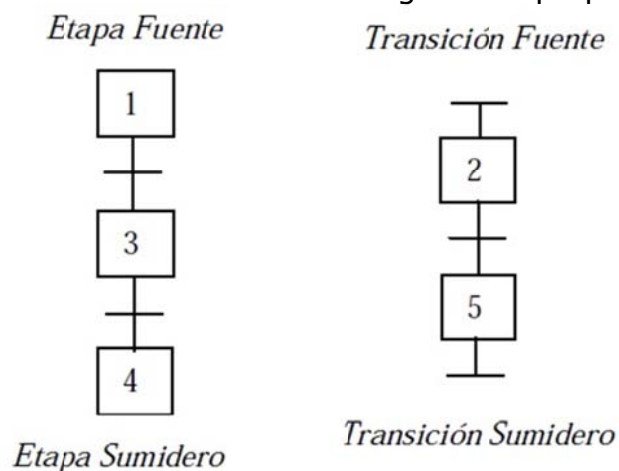
- Se representa mediante dos trazos paralelos después de la transición.
- Al finalizar las secuencias simultáneas se suele poner una transición de sincronización, formada también por dos trazos paralelos. Indica que sigue la secuencia original solo cuando han terminado todas las secuencias simultáneas.
- Las secuencias simultáneas también pueden producirse con una selección de secuencias que no sea excluyente, aunque esto puede producir problemas al finalizar esas secuencias.



2.4. Normas especiales de representación Grafcet.

Etapas y transiciones fuente y sumidero.

- Una etapa fuente no tiene ninguna transición ni etapa anterior. Solo se puede activar al inicializar (o mediante forzado).
- Una etapa sumidero no tiene ninguna transición ni etapa posterior. Una vez activada no se puede desactivar (salvo por forzado).
- Una transición fuente no tiene ninguna etapa anterior. Esta transición está siempre validada, por lo que solo tiene sentido con receptividad activa por flanco.
- Una transición sumidero no tiene ninguna etapa posterior.



Acciones y receptividades temporizadas.

Existen varias formas estándar de representar la medición de tiempos en Grafset, aunque hay dos formas que son las más utilizadas.

Una de las posibles notaciones tiene la forma:

t / N°etapa / tiempo (s)

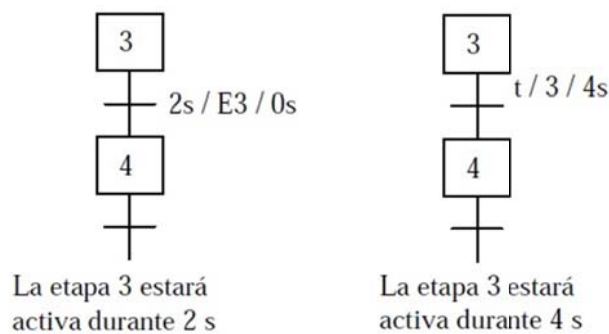
Por ejemplo: t/4/2s es una señal que se activa dos segundos después de que se active la etapa 4. Esta señal permanece activa aunque se desactive la etapa 4. Se desactivará cuando la etapa 4 vuelva a activarse.

La otra posible notación es la utilizada por la norma IEC848:

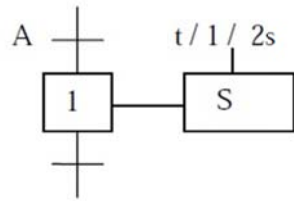
t1 / Variable / t2

La variable puede ser cualquiera (también una etapa). Por ejemplo: 5s/X4/3s es una señal que se activa 5 segundos después de activarse la variable X4, y que se desactiva 3 segundos después de desactivarse X4.

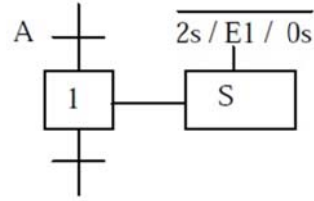
Las condiciones de temporización se suelen utilizar en las receptividades, para lograr que una etapa esté activa durante un tiempo determinado. En ese caso, las dos notaciones tienen un efecto similar:



También se pueden utilizar las condiciones de temporización para condicionar una salida. Por ejemplo:



La salida S se activará 2 segundos después de que se active la etapa 1, desactivándose cuando se desactive la etapa 1.



La salida S se activará en cuanto se active la etapa 1, desactivándose 2 segundos después (si no se ha desactivado antes la etapa 1).

Representación de acciones según IEC848.

La acción normal asociada a una etapa representa una variable que estará activa mientras esté activa la etapa. La IEC848 contempla otros 5 tipos de acciones, además de la acción normal. Se representan por una letra a la izquierda del rectángulo de la acción. Estas son:

- **C**: Acción condicionada. Se puede representar también con una línea perpendicular y la condición.
- **D**: Acción retardada (Delayed). Se activa un tiempo después de la activación de la etapa. Esta se puede representar también con una acción normal y un temporizador.
- **L**: Acción limitada en tiempo. Se activa en cuanto se activa la etapa, pero solo está activa un tiempo limitado. Se puede representar también con temporizadores.
- **P**: Acción impulsional. Se activa cuando se activa la etapa y dura un pulso muy corto. En la práctica debe ser suficiente para producir el efecto deseado. Este tipo de acción no se puede representar con la notación normal.
- **S**: Acción memorizada (Set). Se activa cuando se activa la etapa, y no se desactiva aunque se desactive ésta. Para desactivarse se necesita otra acción memorizada (de Reset) en una etapa posterior. Este tipo de acción no se puede representar con la notación normal.

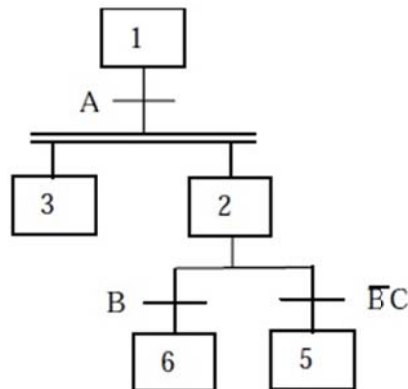


En el primer caso, la salida Q se activa y permanece activa aunque se desactive la etapa 1. En el segundo caso, la salida Q se activa durante un pulso muy corto cuando la etapa 1 pasa de inactiva a activa.

Utilizando este tipo de acciones el diseño del automatismo es más flexible.

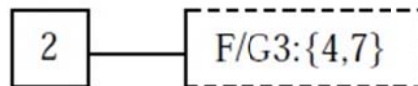
Combinación de paralelismo y selección de secuencia.

Cuando se quiere una selección de secuencia inmediata a un paralelismo es necesario introducir una etapa auxiliar intermedia que no tiene ninguna acción. La situación es que estando en una etapa, al activarse A se quiere empezar dos secuencias, una fija y otra seleccionada entre dos en función del valor la variable B. En este caso hay que hacer primero una transición paralela con A, y después en una de las secuencias poner una etapa intermedia y hacer la selección de secuencias en función de B.



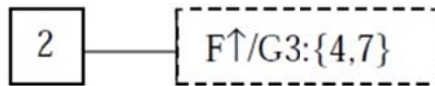
Forzado de Graficets.

En el diseño de un automatismo pueden utilizarse varios Graficets parciales. Desde uno de ellos se puede forzar a activar o desactivar una etapa de otro. Esta acción especial se representa dentro de un rectángulo de líneas discontinuas de la forma: $F/G3:\{4,7\}$ (se fuerzan las etapas 4 y 7 del graficet G3). El graficet G3 permanecerá con esas etapas activas (y el resto inactivas) mientras el graficet principal tenga activa la etapa que produce el forzado. Es decir, el Graficet 3 no podrá evolucionar mientras esté activa la etapa 2.



Hay dos variantes de esta orden: $F/G2:\{\}$ (se desactivan todas las etapas de G2), y $F/G5:\{*\}$ (el graficet G5 permanece congelado en las etapas que tuviera activas).

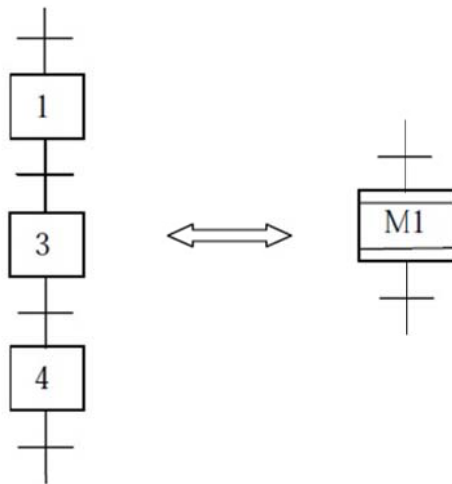
La acción especial de forzado de otro Graficet también puede ser impulsional. En ese caso se indica con una flecha:



En este caso cuando se activa la etapa 2, se activan las etapas 4 y 7 del grafcet 3, pudiendo después evolucionar libremente este Grafcet aunque permanezca activa la etapa 2.

Macroetapas.

Cuando una secuencia de operaciones se utiliza varias veces se puede definir una macroetapa, que representa toda la secuencia. Se representa gráficamente como un cuadrado con líneas horizontales dobles. Tienen siempre una sola etapa de entrada y una sola etapa de salida.



REGLAS DE EVOLUCIÓN DEL GRAFCET.

Las siguientes reglas de evolución permiten interpretar cómo evolucionará el sistema modelado por un Grafcet conforme se vayan activando las diversas señales que intervienen.

Inicialización.

En la inicialización del sistema se tienen que activar todas las etapas iniciales (marcadas con doble cuadrado) y solo las iniciales.

Evolución de las transiciones.

Una transición está validada si todas las etapas inmediatamente anteriores están activas. Si además de estar validada, la receptividad asociada es cierta, se dice que la transición es franqueable. Una transición franqueable es disparada (franqueada) inmediata y obligatoriamente.

Evolución de las etapas.

Cuando se dispara (o franquea) una transición todas las etapas inmediatamente anteriores se desactivan y simultáneamente se activan todas las posteriores.

Simultaneidad en el disparo.

Si dos transiciones se disparan al mismo tiempo, las activaciones y desactivaciones de etapas se producen de forma simultánea.

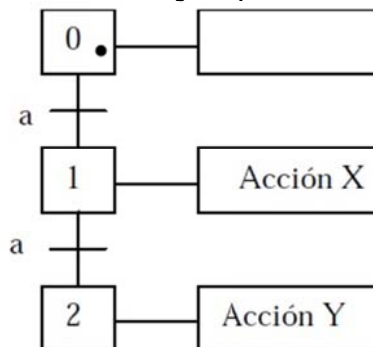
Prioridad de la activación.

Si en el disparo de una transición, una etapa debe activarse y desactivarse a la vez, quedará activa.

Estados estables e inestables.

Un estado de un Grafcet es estable cuando no cambia ninguna etapa mientras no haya cambios en las entradas. Un estado es inestable si se produce alguna evolución de etapas sin que cambie ninguna entrada.

Los estados inestables duran muy poco tiempo, pues rápidamente pasan al estado siguiente. Por ejemplo:



El estado en que solo la etapa 0 está activa es estable, pues mientras $a=0$ no hay evolución. Cuando $a=1$, se produce la evolución desactivándose la etapa 0 y activándose la etapa 1. Ese estado es ahora inestable, pues aunque no haya cambios en las entradas se debe producir la evolución de forma que se desactive la etapa 1 y se active la etapa 2. El grafcet, por tanto, debe evolucionar siempre desde un estado estable hasta otro estado estable.

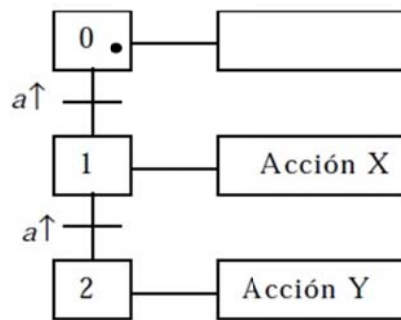
En teoría, el sistema está en la etapa 1 durante un pulso de duración muy pequeña. El dilema aparece con las acciones

asociadas a esa etapa. *Si son acciones de nivel no deberían activarse. En cambio, si son acciones impulsionales o memorizadas sí deben activarse, pues la etapa 1 se activa durante un pulso que es suficiente para producir el efecto de esas acciones.*

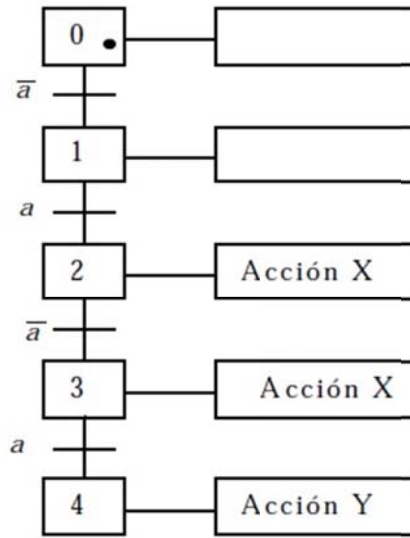
Por ejemplo, si la acción X consiste en hacer el SET de una variable, ese SET debe producirse. Si la acción X es de nivel (poner en marcha un motor mientras la etapa 1 esté activa) no tiene sentido que se active durante un pulso muy pequeño (idealmente casi nulo), por lo que no habría que activarla.

Transiciones activas por flanco.

Por otra parte hay que tener en cuenta las situaciones especiales que pueden suceder cuando existen transiciones activas por flanco. Por ejemplo:



Cuando se produce un flanco de subida en a el grafcet debe evolucionar activándose la etapa 1 desactivándose la etapa 0. La siguiente transición no está activa, pues el flanco ya se ha producido. Es decir, un flanco solo puede hacer avanzar una etapa. La etapa 1 es en este caso, estable. Para evolucionar a la etapa 2 la variable a debe bajar a 0 y volver a 1. Si hay problemas en la programación de las transiciones por flanco, se pueden convertir a transiciones por nivel. El ejemplo anterior podría transformarse a:



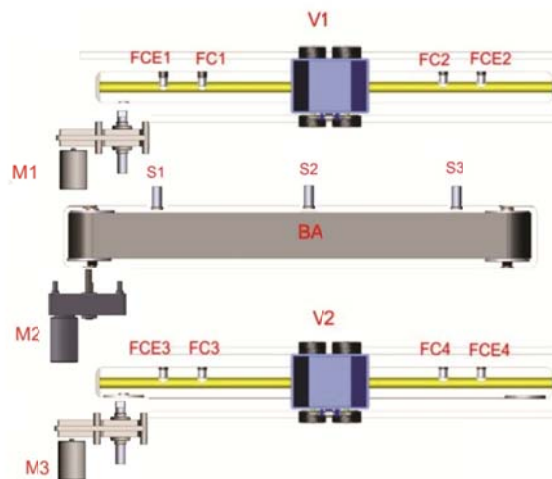
PROBLEMARIO

A continuación se presenta una descripción del sistema y algunos problemas propuestos en relación a la plataforma construida, con el fin de explorar sus posibles soluciones mediante la metodología Grafcet.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Este objeto de aprendizaje consiste básicamente en el sistema integrado por dos vagonetes y una banda transportadora, integrados entre sí mediante una estructura de soporte y un panel de mando que opera como HMI, tal como se aprecia en el siguiente esquema. La vagoneta V2 cuenta con un sistema de volteo (seguidor-leva) al final de su carrera que permite colocar una carga sobre la banda transportadora. Dicho sistema es automático y no depende del operador.

Tres motorreductores se encargan de transmitir el movimiento a las vagonetes y la banda, y son operados con la ayuda de una tarjeta controladora que permite variar sus velocidades de funcionamiento. Un accionamiento en el panel permite controlar que la velocidad de la vagoneta 1 sea mayor que la vagoneta 2 y viceversa.



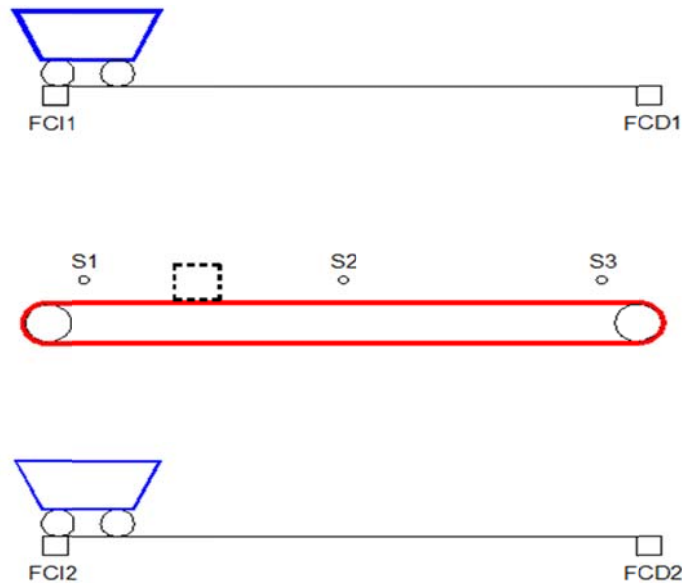
PANEL DE MANDO

Relación de elementos en la estructura de la plataforma

V1	Vagoneta 1
V2	Vagoneta 2
BA	Banda transportadora
M1	Motor de vagoneta 1
M2	Motor de vagoneta 2
M3	Motor de banda transportadora
FC1	Final de carrera izquierdo vagoneta 1
FC2	Final de carrera derecho vagoneta 1
FC3	Final de carrera izquierdo vagoneta 2
FC4	Final de carrera derecho vagoneta 2
FCE1	Final de carrera izq. seguridad vagoneta 1
FCE2	Final de carrera der. seguridad vagoneta 1
FCE3	Final de carrera izq. seguridad vagoneta 2
FCE4	Final de carrera der. seguridad vagoneta 2
S1	Sensor banda 1
S2	Sensor banda 2
S3	Sensor banda 3

PROBLEMAS PROPUESTOS

Para todos los casos deberá realizarse la programación del autómata usando la metodología Grafcet.



PROBLEMA 1

- Al pulsar el interruptor P1 La vagoneta 1 debe iniciar su desplazamiento hasta la derecha. Cuando esta haya llegado al final, la vagoneta 2 deberá iniciar su recorrido. Una vez llega la vagoneta 2 al extremo derecho deberá iniciar su camino de retorno y al llegar al extremo izquierdo partirá la vagoneta 1 de regreso hasta completar su recorrido.
- Introducir un pulsador P2 que interrumpa el retorno de la vagoneta 1, y un pulsador P3 que permita terminar el recorrido.

PROBLEMA2

- Pulsando P1 las dos vagonetas iniciarán simultáneamente el recorrido hacia la derecha, y al llegar cada una al

extremo iniciarán su regreso. Sin embargo la vagoneta 1 deberá llegar primero que la vagoneta 2. cada.

- b. Pulsando P2 deberá repetirse el proceso pero en este caso la vagoneta 2 llegará antes que la vagoneta 1

PROBLEMA 3

- a. En la misma secuencia del problema 2, el motor de la vagoneta 1 sufrirá una falla en su camino de desplazamiento hacia la derecha. El sistema deberá detenerse y una vez solucionado el problema las vagonetas retornarán a su posición inicial.

PROBLEMA 4

- a. En la misma secuencia del problema 1, el final de carrera FCD1 ha sufrido una avería y no detecta el paso de la vagoneta. El sistema deberá detenerse para evitar daños mecánicos y reposicionarse.

PROBLEMA 5

- a. Pulsando P1 la vagoneta 1 inicia su recorrido hacia la derecha, cuando la vagoneta 1 llegue al extremo la vagoneta 2 iniciará su desplazamiento hacia la derecha; si el operario pulsa P2 antes de que la vagoneta 1 llegue al extremo derecho la vagoneta 2 iniciará su recorrido hacia la derecha. Cuando la vagoneta 2 llegue al extremo derecho ambas vagonetas iniciarán el recorrido hacia la izquierda. El bloque que se encuentra sobre la banda transportadora se desplazará hacia donde el operario solicite pulsando los botones que se encuentran en el panel de mando, en cualquier instante de la rutina. Cuando haya pasado un tiempo de 35 segundos después de iniciar el recorrido de alguna vagoneta y no se acciona el final de carrera correspondiente, el sistema se detendrá y al pulsar P3 el sistema retornará a su posición inicial.

PROBLEMA 6

- a. La carga deberá colocarse dentro de la vagoneta 2. Al pulsar el interruptor P1 la vagoneta 2 iniciará su recorrido hacia la derecha hasta realizar el volteo, depositando la carga en la banda transportadora y regresando hacia la izquierda. Una vez allí, la carga se desplazará por la banda hasta el extremo izquierdo, y regresará nuevamente hasta ubicarse y detenerse en el centro de la banda.
- b. Mientras este proceso ocurre, la vagoneta 1 deberá moverse continuamente de izquierda a derecha, y al detenerse la carga en el centro ambas vagonetas regresarán a su posición inicial.

PROBLEMA 7

- a. Al pulsar P1 la banda transportadora iniciará su funcionamiento girando hacia la izquierda. La vagoneta 2 será cargada y al pulsar P2 deberá iniciar su recorrido hasta llegar al extremo derecho y depositar la carga en la banda. Esta carga se desplazará hacia la izquierda y debe detenerse al llegar al centro de la banda. A su vez, la vagoneta 2 regresará hacia la izquierda después de realizar el volteo y se detendrá en el extremo izquierdo. Allí permanecerá durante 10 segundos mientras se realiza una segunda carga.

Pasado este tiempo, la vagoneta 2 iniciará nuevamente el recorrido hasta depositar la segunda carga en la banda. Una vez puesta la carga, la banda iniciará nuevamente el funcionamiento girando hacia la izquierda hasta que la primera carga depositada llegue al extremo izquierdo, donde se detendrá la banda y la vagoneta 2 iniciará su recorrido a la izquierda hasta llegar al extremo.