

**OBJETOS DE APRENDIZAJE PARA EL DISEÑO DE AUTOMATISMOS
LÓGICOS PROGRAMABLES**

**JHONATAN JAIR PULIDO DELGADILLO
RONALD MIGUEL ZAFRA URREA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECAICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA**

2017

**OBJETOS DE APRENDIZAJE PARA EL DISEÑO DE AUTOMATISMOS
LOGICOS PROGRAMABLES**

**JHONATAN JAIR PULIDO DELGADILLO
RONALD MIGUEL ZAFRA URREA**

**Proyecto de Grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO**

Director

**JORGE ENRIQUE MENESES FLOREZ
MSc. Ingeniería Mecánica**

Co-Directores

**ALFREDO SANTANA DIAZ
PhD. Sistemas de Automatización
LUIS MIGUEL ZABALA GUALTERO
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA**

2017

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	15
1. OBJETOS DE APRENDIZAJE PARA EL DISEÑO DE AUTOMATISMOS LÓGICOS PROGRAMABLES.....	17
1.1. Formulación del Problema.	17
1.2. Justificación para la solución.	19
1.3. Objetivos	21
1.3.1. Objetivo General.	21
1.3.2. Objetivos Específicos.....	22
2. DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO	25
2.1. Planta virtualizada 1: Mecanismo de pistones hidráulicos.	28
2.1.1. Emulación Física.....	29
2.1.2. Emulación Dinámica	30
2.2. Planta Virtualizada 2: Sistema de trituración de cajas.	30
2.2.1. Emulación física.....	31
2.2.2. Emulación Dinámica	33
2.3. Planta virtualizada 3: Banco de vagonetas.	33
2.3.1. Emulación física.....	34
2.3.2. Emulación dinámica.....	36
2.4. Controlador lógico programable.....	36

3. CREACIÓN Y MONTAJE DE LOS OBJETOS DE APRENDIZAJE	38
3.1. Descripción preliminar de los objetos de aprendizaje.	38
3.2. Bloque 1. Virtualización de un mecanismo de pistones hidráulicos.	40
3.2.1. Parte Operativa	40
3.2.2. Parte Control.....	60
3.2.2.1. Autómata programable.....	61
3.2.2.2. HMI	61
3.3. Bloque 2. Diseño de automatismos lógicos combinacionales.....	64
3.3.1 Parte operativa.	65
3.3.2. Parte control.....	69
3.3.2.1. Autómata programable para el control	70
3.3.2.2. HMI	70
3.4. Bloque 3. Diseño de automatismos lógicos secuenciales. Vagonetas.....	73
3.4.1. Parte operativa.....	74
3.4.2 Parte control.....	82
3.4.2.1. Autómata programable o PLC.....	82
3.4.2.2. HMI	83
3.5. Manual de prácticas.	83
3.5.1. Prácticas	86
4. CONCLUSIONES	89
5. RECOMENDACIONES.....	91
BIBLIOGRAFIA.....	92
ANEXOS.....	94

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura de un proceso automatizado	18
Figura 2. Modelamiento en CAD.....	19
Figura 3. Diversidad de procesos	21
Figura 4. Esquema de los componentes virtualizados.....	26
Figura 5. Bloques de aprendizajes del proyecto	27
Figura 6. Esquema del Mecanismo de pistones hidráulicos virtualizado	28
Figura 7. Pistón hidráulico.	29
Figura 8. HMI de un pistón hidráulico.	30
Figura 9. Herramienta LabVIEW para emular dinámica de actuadores.	30
Figura 10. Esquema del Sistema de trituración de cajas.	31
Figura 11. Máquina del bloque 2: Trituradora de cajas. Lógica combinacional.	32
Figura 12. HMI Bloque 2.	32
Figura 13. Esquema del Banco de vagonetas.	34
Figura 14. Máquina del bloque 3: 2 vagonetas con una banda transportadora.	34
Figura 15. Herramienta LabVIEW para emular Sensores.....	35
Figura 16. HMI Bloque 3.....	36
Figura 17. PLC S7 300.	36
Figura 18. Mecanismo de pistones hidráulicos.	40
Figura 19. Modelo CAD de cilindro hidráulico	41
Figura 20. Ubicación de las cotas.....	42
Figura 21. Creación de sensores.....	43
Figura 22. Creación de sensores (continuación).....	43
Figura 23. Sensores cota creados.	44
Figura 24. Selección del icono “Opciones”.	44

Figura 25. Complementos.....	45
Figura 26. Activación de los complementos.....	45
Figura 27. Creación de Estudio de movimiento.	46
Figura 28. Creación de un motor.	47
Figura 29. Ubicación del motor.	47
Figura 30. Crear un proyecto en Labview.	48
Figura 31. Ventana de proyectos.	49
Figura 32. Axis (motor) asociado al proyecto de LabVIEW.....	49
Figura 33. Panel Frontal	50
Figura 34. Menú para ingreso el punto *.VI	51
Figura 35. Resultado de agregar el panel frontal.....	51
Figura 36. Panel Frontal y de programación.....	52
Figura 37. Resultado de la programación de un pistón.....	53
Figura 38. Entorno del NI OPC Servers.....	53
Figura 39. Creación de un nuevo canal.	54
Figura 40. Selección del controlador.....	55
Figura 41. Selección del adaptador.	55
Figura 42. Opciones de escritura.....	56
Figura 43. Resumen de la creación del canal.....	56
Figura 44. Creación de un nuevo dispositivo.	57
Figura 45. Modelo del dispositivo.....	57
Figura 46. IP del dispositivo.....	58
Figura 47. Modo de escaneo.	58
Figura 48. Resumen de la creación del dispositivo.....	59
Figura 49. Creación de variables.	59
Figura 50. Creación de variables (continuación).....	60
Figura 51. Variables creadas en el OPC.....	60
Figura 52. PLC Siemens 315F-2 PN/DP.....	61
Figura 53. Menú de LabView para la configuración del pulsador.	62
Figura 54. Cambio interruptor a pulsador	63

Figura 55. Botón de Stop	63
Figura 56. HMI del Banco pistón.....	64
Figura 57. Virtualización sistema de trituración de cajas	64
Figura 58. Porta cuchillas	65
Figura 59. Ensamblaje sistema de trituración	66
Figura 60. Banda transportadora	66
Figura 61. Bloque de emulación Motor del sistema de trituración.....	68
Figura 62. Actuador rotativo.....	69
Figura 63. Alarma	69
Figura 64. Bloque de movimiento para la banda superior.....	70
Figura 65. Bloque de parada de movimiento.	71
Figura 66. Condicionamiento del estado de las variables de entrada.....	71
Figura 67. Representación de la función lógica de la alarma.	72
Figura 68. Panel de control o HMI del banco de trituración.	72
Figura 69. Virtualización banco de vagonetas.	73
Figura 70. Modelo estructura del banco de vagonetas	74
Figura 71. Vagoneta con su sistema de guía.....	75
Figura 72. Banda transportadora	76
Figura 73. Banco de Vagonetas.....	76
Figura 74. Creación de sensores Banco vagonetas	77
Figura 75. Posicionamiento de una cota en el banco de vagonetas.	78
Figura 76. Final de carrera (izquierda) - Sensor inductivo (derecha)	78
Figura 77. Opción "Complementos"	79
Figura 78. Posicionamiento de motores para el análisis de movimiento.....	80
Figura 79. Panel principal del software OPC.	82
Figura 80. HMI virtualizado del banco de Vagonetas.....	83
Figura 81. Portada del manual de prácticas.	84
Figura 82. Hipervínculos interactivos redirigidos a Google Drive y Youtube.....	86
Figura 83. Modos de funcionamiento.....	98

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Entradas y salidas de la planta trituradora.	67
Tabla 2. Entradas y salidas que coincidan con la programación de las secuencias bajo la metodología GRAFCET.....	81

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Automatismos Lógicos.	94
Anexo B. Automatismos lógicos Combinacionales.	94
Anexo C. Automatismos lógicos Secuenciales.	95
Anexo D. Definición de GRAFCET y GEMMA.	95
Anexo E. Autómata programable o PLC.	99
Anexo F. Objetos de aprendizaje.....	99
Anexo G. Estructura general de un sistema automatizado.	100

RESUMEN

TITULO: OBJETOS DE APRENDIZAJE PARA EL DISEÑO DE AUTOMATISMOS LÓGICOS PROGRAMABLES.*

AUTORES: Jhonatan Jair Pulido Delgadillo. Ronald Miguel Zafra Urrea.**

PALABRAS CLAVE: Objeto de aprendizaje, Automatismo Lógico Programable, Controlador Lógico Programable, GRAFCET, GEMMA, Realidad Virtual.

DESCRIPCION.

Actualmente, debido al aumento de los requisitos para la optimización de los recursos, fundamentado en el desarrollo de nuevas tecnologías para la automatización industrial, es imprescindible que un ingeniero mecánico adquiera competencias sobre la temática del control de procesos y manejo de las nuevas tecnologías de aplicación industrial, tal como los autómatas programables. Por esta razón, se desarrollaron 3 objetos de aprendizaje donde el estudiante pondrá en práctica su conocimiento teórico acerca del diseño de automatismos lógicos secuenciales mediante la metodología GRAFCET.

Los recursos económicos en la creación de un objeto de aprendizaje son generalmente altos, sobretodo en el diseño, construcción y mantenimiento de la parte operativa del sistema automatizado. A diferencia de los demás objetos de aprendizaje, la parte operativa que conforma la estructura de un sistema automatizado, se emularon completamente para este proyecto, permitiendo disminución de materiales y tiempo. El control es efectuado por medio de un controlador físico programable o PLC.

Los objetos de aprendizaje se dividen en tres bloques. El primero consta de dos prácticas para el reconcomiendo y manejo del entorno de trabajo, donde se modeló y emuló la parte operativa de tres cilindros hidráulicos con finales de carrera, cada uno. El bloque número dos, es usado en la adquisición de competencias sobre el diseño de automatismos lógicos combinacionales, en un planta de trituración de cajas. Y por último, pasar al tercer bloque, donde el objetivo es la ganancia y consolidación, respectivamente, de competencias sobre el diseño de automatismos lógicos secuenciales llevando a cabo prácticas de laboratorio sobre un sistema de transporte de carga que consta de dos vagonetas y una banda transportadora.

* Proyecto de Grado.

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

ABSTRACT

TITLE: LEARNING OBJECT FOR PROGRAMMABLE LOGIC AUTOMATISMS DESIGN.*

AUTHORS: Jhonatan Jair Pulido Delgadillo. Ronald Miguel Zafra Urrea.**

KEYWORDS: Learning Object. Programmable Logic Automatism, Programmable Logic Controler, GRAFCET, GEMMA, Virtual Reality.

DESCRIPTION.

Currently, due to the increase in the requirements for the resources optimization, based on the development of new technologies for industrial automation, it is imperative that a mechanical engineer acquire competences about control process and management of new Industrial technologies application, such as programmable controllers. For this reason, 3 learning objects were developed where the student will put into practice his theoretical knowledge about the design of sequential logic automatism through the GRAFCET methodology.

The economic resources in the creation of a learning object are generally high, especially in the design, construction and maintenance in the operative part of the automated system. Unlike the other learning objects, the operative part that forms the structure of an automated system, were completely emulated for this project, allowing material and time reduction. The control is carried out by several ways of a physical controller programmable or PLC.

Learning objects are divided into three blocks. The first one consists of two practices for the work environment recognition and operation, where it was modelled and emulated the operative part of three hydraulic cylinders with end of stroke, each one. Block number two is used in the acquisition of competencies on the design of combinational logic automatism in a box crushing plant. Finally, to move to the third block, where the objective is the gain and consolidation, respectively, of competences on the design of sequential logic automatism carrying out laboratory practices on a cargo transport system consisting of two wagons and a band Carrier.

* Graduation Project.

** Faculty of Engineering Physicomechanical. Mechanical Engineering School. Eng. Jorge Enrique Meneses Flórez.

INTRODUCCION

La Universidad Industrial de Santander en su objetivo de consolidar egresados con capacidades y competencias, trabaja cada día para mejorar la calidad de educación en cada una de sus aulas y recintos de aprendizaje. Por su parte, la escuela de Ingeniería Mecánica intenta ir de la mano con la innovación tecnológica en crecimiento, para que el estudiante pueda adaptarse a las exigencias presentadas en la industria y desenvolverse laboralmente de manera exitosa. Existen temas en auge y pleno crecimiento, tal como la automatización de procesos industriales, cada vez más presentada y requerida en diferentes campos de la ingeniería. Entonces, se evidencia la necesidad de crear ingenieros competentes en el ambiente del diseño de automatismos lógicos secuenciales, bajo objetos de aprendizaje que les permita palpar adecuadamente y solucionar cualquier duda en referencia al diseño de estos automatismos.

Teniendo en cuenta lo anterior, se ha desarrollado la tesis titulada “Objetos de aprendizaje para el diseño de automatismos lógicos secuenciales” formada por 3 plantas emuladas de manera virtual para su posterior diseño de control automático, en base al desarrollo de diferentes laboratorios, los cuales se encuentran plasmados en un manual de prácticas para los estudiantes. Se vale aclarar que el control será ejecuta por un autómeta o PLC previamente programado por el usuario de estos bancos de pruebas.

En el documento se dará un enfoque hacia la parte operativa, cuyas razones varían desde la economía hasta el ahorro del espacio y de igual manera, se expondrá la innovación que se implementó sobre el componente operativo de los sistemas automatizados.

La primera parte del contenido del documento se orientará a la definición de las necesidades que generaron el proyecto, la justificación para realizarlo y las metas y/u objetivos a lograr ya finalizado el proyecto.

El segundo capítulo da una descripción general de lo llevado a cabo en este proyecto junto con imágenes explícitas del desarrollo y resultados sobre cada banco o planta virtualizada y emulada. Se focaliza sobre la virtualización de los elementos que componen la parte operativa y las interfaces hombre-máquina para cada sistema automatizado de los objetos de aprendizaje.

El tercer capítulo describe la metodología de construcción de cada objeto, cuantos bloques se crearon con los objetivos de cada uno, el desarrollo detallado de las partes que lo conforman y una caracterización sencilla del funcionamiento de los laboratorios que conforman los objetos.

El cuarto y quinto capítulo está plasmado los resultados de la construcción de estos objetos, chequeando cada uno bajo criterios de operatividad, función lógica, facilidad de manejo y demás. Escrito también se encuentran algunas recomendaciones con el fin de incursionar, prosperar y mejorar en el desarrollo de un posible proyecto a futuro bajo las condiciones presentadas en el desarrollo encontrado en este documento.

1. OBJETOS DE APRENDIZAJE PARA EL DISEÑO DE AUTOMATISMOS LÓGICOS PROGRAMABLES

1.1. Formulación del Problema.

Actualmente, el constante crecimiento industrial a nivel nacional e internacional genera un desarrollo tecnológico que exige la formación de profesionales que sean capaces de adaptarse fácilmente a los cambios presentes en la industria. La automatización de los procesos industriales se constituye en un elemento de alta competitividad a nivel global; esto implica diseñar la lógica del proceso, así como también, dotarlo de elementos tecnológicos que midan, procesen y actúen sobre él.

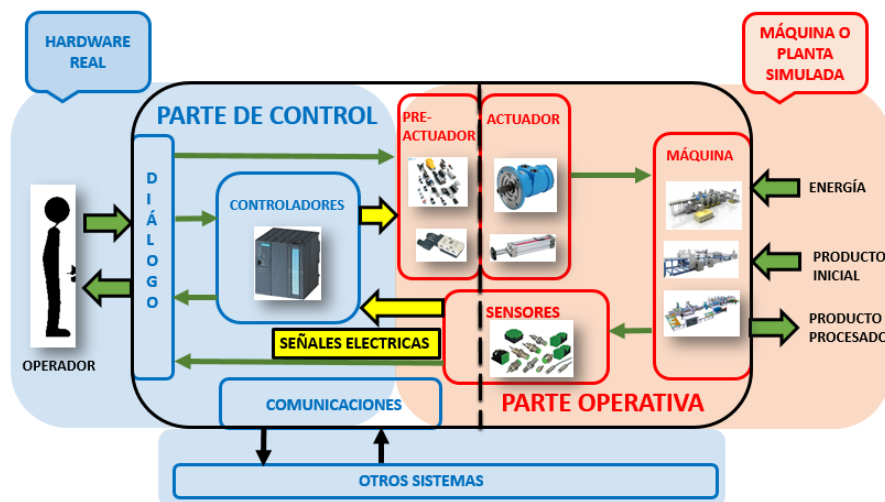
Un ingeniero mecánico moderno actualmente requiere competencias, entre otras, que le permitan diseñar la lógica de los procesos automáticos industriales. En el desarrollo de ellas y como parte de su proceso de enseñanza-aprendizaje, el estudiante necesita saber si el diseño de la lógica del automatismo es válido bajo los parámetros de diseño previamente establecidos, por tanto, se hace necesario ponerla a prueba, es decir, implementarla en la planta. Esta implementación se divide en un componente lógico (software), que no es más que la programación del diseño del automatismo lógico; y un componente físico (hardware), basado en un proceso de selección y ensamble, compuesto por actuadores, pre-actuadores, sensores y un controlador, puestos en Laboratorio, donde se llevan a cabo las pruebas.

Los problemas que conlleva el componente hardware están argumentados por los siguientes puntos: el espacio que generan todos estos elementos constitutivos de un proceso industrial físico real, limita la cantidad de plantas posiblemente ensambladas en un laboratorio; la complejidad de las máquinas podría, en caso de presentarse daño en algún elemento, parar la ejecución de la planta por falta de

disponibilidad en los repuestos que sean necesarios, o, a un nivel mayor, disminuirá la versatilidad del diseño de diferentes procesos para una misma planta; y por último, la puesta en marcha de estos sistemas significaría un costo aditivo, para la formación de un técnico calificado que soporte el laboratorio en implicaciones como el mantenimiento de las plantas. Por tanto, es imprescindible buscar nuevos métodos de enseñanza-aprendizaje con una economía reducida, practicidad y un alto índice de conocimiento.

Una propuesta innovadora para cubrir la demanda de profesionales con una mejor capacitación y resolver la necesidad de poseer una infraestructura física para realizar el diseño de los automatismos, es hacer uso de plantas simuladas de automatización, en donde se encuentren representados modelos de maquinarias y procesos reales industriales emulados por medio de software en la computadora, teniendo además una comunicación directa por medio de señales eléctricas reales con autómatas programables, paneles de monitores y control.

Figura 1. Estructura de un proceso automatizado



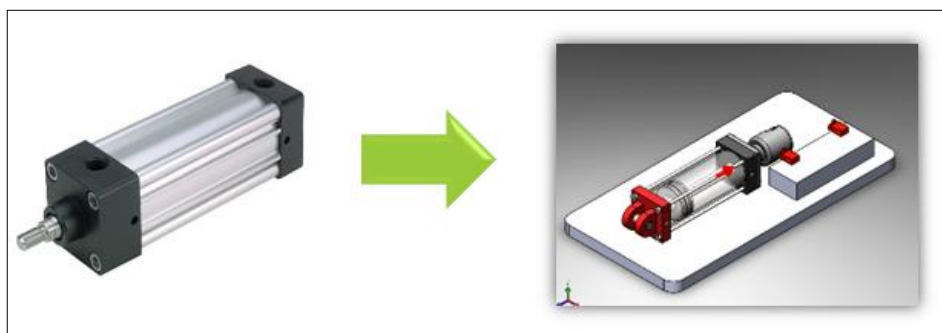
Estas plantas simuladas facilitan el aprendizaje del diseño de automatismos lógicos debido a que interactúan activamente con los estudiantes, captando su atención y

los involucran en el aprendizaje. En este contexto nace la necesidad de implementar este tipo de plantas de automatización para contribuir con el desarrollo de las competencias de los profesionales permitiendo que fortalezcan su competitividad en el entorno industrial.

1.2. Justificación para la solución.

La implementación de plantas simuladas de automatización locales en donde la maquinaria, celdas y estaciones de trabajo se reemplacen por modelos y simulaciones, permite al profesional previamente, experimentar una serie de problemas, desarrollando la habilidad de saber cómo enfrentarlos cuando se le presente en un entorno real, además facilitan la posibilidad de cometer y detectar errores sin afectar una planta real durante la automatización de un proceso industrial.

Figura 2. Modelamiento en CAD



Con este proyecto se busca proporcionar un entrenamiento adecuado para realizar el diseño de la automatización de las plantas industriales aplicando automatismos lógicos programables, en donde los profesionales que obtengan estas

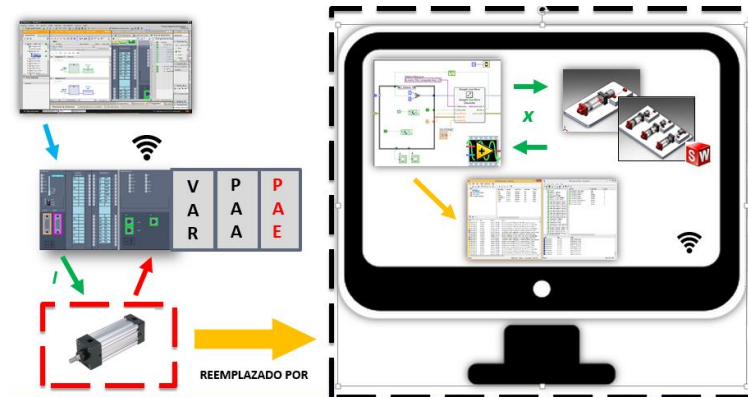
competencias de trabajo serán capaces entender mejor el proceso, generando una forma de diseño más segura y confiable. Esto se evidenció en las siguientes ventajas organizadas en grado de importancia:

Reducción de costos: Los bancos de automatización serían más económicos debido a que solamente se necesitaría de computadores, en donde se diseñen y construyan por medio de un software CAD cada uno de los elementos estructurales, elementos de control, actuadores y pre-actuadores ahorrando así el costo de adquisición de estos dispositivos y otros costos asociados, como el de tener personal capacitado tanto para la operación y mantenimiento de los equipos.

Buena disponibilidad: En el entorno virtual no existe el problema, como sucede en muchas ocasiones en los laboratorios de automatización, de no tener la disposición de los equipos por falta de mantenimiento o personal capacitado para la operación, debido a que todo se encuentra emulado en el computador y la maquinaria no necesita de un constante mantenimiento para funcionar.

Diversidad: Los laboratorios virtuales permiten la versatilidad para tener más de una planta simulada dentro del mismo computador y controlado por único controlador de lógica programable, además esto permite manejar y programar distintas plantas simuladas de automatización con diversificación en procesos.

Figura 3. Diversidad de procesos



Reducción de espacios: Los problemas relacionados con la disposición de espacios amplios para ubicar los diferentes equipos y máquinas de trabajo son pasados a un segundo plano, debido a la facilidad de compactar y limitar los procesos a un modelo simulado dentro del computador donde se emule su comportamiento dinámico.

A pesar de que al implementar plantas simuladas de automatización traería muchas ventajas en la creación de laboratorios, es de resaltar que el problema más grande de estos, son la falta de interacción física del profesional o estudiante con la planta real y que debido a que la dinámica está basada en modelos matemáticos no se puede describir perfectamente el comportamiento que tendría realmente una planta real mientras está ejecutando un proceso, pero es de resaltar que las plantas simuladas si permiten el desarrollo y el diseño de los automatismo aunque no sean totalmente fieles a la realidad.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General.

Contribuir al desarrollo de la misión y la visión de la Universidad Industrial de Santander con el proceso de formación de profesionales de alta calidad, excelente competitividad en la industria y fomentar la extensión, al incorporar los conocimientos adquiridos en la carrera de ingeniería mecánica en el desarrollo de objetos de aprendizaje para el diseño de automatismos lógicos secuenciales.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Diseñar e implementar objetos de aprendizaje para el desarrollo de competencias en el diseño de automatismos lógicos programables:
 - A través de plantas simuladas de carácter didáctico, para la cual se requiere desarrollar:
 - Tres componentes software:
 - Un primer componente para el modelamiento de las siguientes plantas por medio del software CAD SolidWorks:
 - Un cilindro neumático de doble efecto representado en un plano con las siguientes características¹:
 - Diámetro: 146 [mm].
 - Carrera: 270[mm].
 - Fuerza: 7360 [N].

¹ Catálogo de cilindros neumáticos. Citado noviembre 11 2016. Disponible en: https://www.festo.com/cat/es_es/products_CRZYL

Con el objetivo de que el usuario se familiarice con el entorno de modelado de las plantas o procesos.

- Una línea de triturado para el reciclado de canastas plásticas compuesta por 2 bandas transportadoras, una trituradora de martillo y una alarma de advertencia, accionadas por 3 motores eléctricos, un interruptor de activación, 3 interruptores térmicos y un interruptor de parada de emergencia, que se encargará de destruir las canastas y producir triturado, con el fin de desarrollar competencias en el ámbito del diseño sobre un sistema lógico combinacional.

- Dos vagonetas de carga con desplazamiento lineal a velocidad constante sobre un sistema guía, con una longitud de carrera 50 [cm] y una banda transportadora con funcionamiento unidireccional, de igual longitud a la carrera de las vagonetas², con el fin de desarrollar competencias sobre el diseño de sistemas lógicos secuenciales.

- Un segundo componente software encargado de la interpretación de las señales provenientes del PLC hacia el PC y viceversa, realizada por el estándar de comunicación OLE Process of Control (OPC) y por el software de programación gráfica LabView.

- Un tercer componente software para la programación del controlador (hardware) por medio del software de programación TIA Portal V13 de Siemens, donde se establecerá:

² Martin O., Sierra A., *Objeto de aprendizaje para el diseño de automatismos lógicos secuenciales basado en GRAFCET*. Escuela de Ingeniería Mecánica. Universidad Industrial de Santander.

- ✓ La lógica Combinacional de la línea triturado, por medio de un mapa de Karnaugh y algebra booleana del sistema con 5 entradas y 4 salidas que activan la lógica del proceso de triturado de la línea.

- ✓ La lógica Secuencial de las vagonetas especificada gracias al desarrollo de un GRAFCET de nivel 2 y aplicación GEMMA (Guide d'Etude des Modes de Marches et d'Arrêts) con el fin de prever cualquier estado que puedan presentar los procesos, utilizando 14 entradas y 6 salidas del controlador lógico programable.

- Un componente hardware constituido por:
 - Una Unidad de control encargada del tratamiento de señales basadas en la lógica anteriormente descrita dispuesto por un PLC Siemens S7-300.

 - Una Máquina de simulación constituida por un computador de mesa con dos pantallas, una para visualizar la dinámica del proceso y otra para realizar la programación en cada software de LabView y el TIA Portal V13.

 - Un Manual de prácticas en donde especificará en su contenido los elementos usados en cada práctica acompañados con una explicación metódica del desarrollo de cada uno, apoyados en el concepto de objetos de aprendizaje.

2. DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO

El presente proyecto fue ejecutado, entre otros objetivos, con el propósito de que los estudiantes pongan en práctica los conocimientos teóricos adquiridos acerca del diseño de automatismo lógicos programables, por medio de objetos de aprendizaje, los cuales se componen, fundamentalmente, de tres sistemas automatizados que llevan al aprendiz hasta el límite de consolidar su capacidad de diseñar sistemas lógicos secuenciales; un manual de prácticas para estudiantes y un solucionario de estos problemas, como soporte para los docentes³.

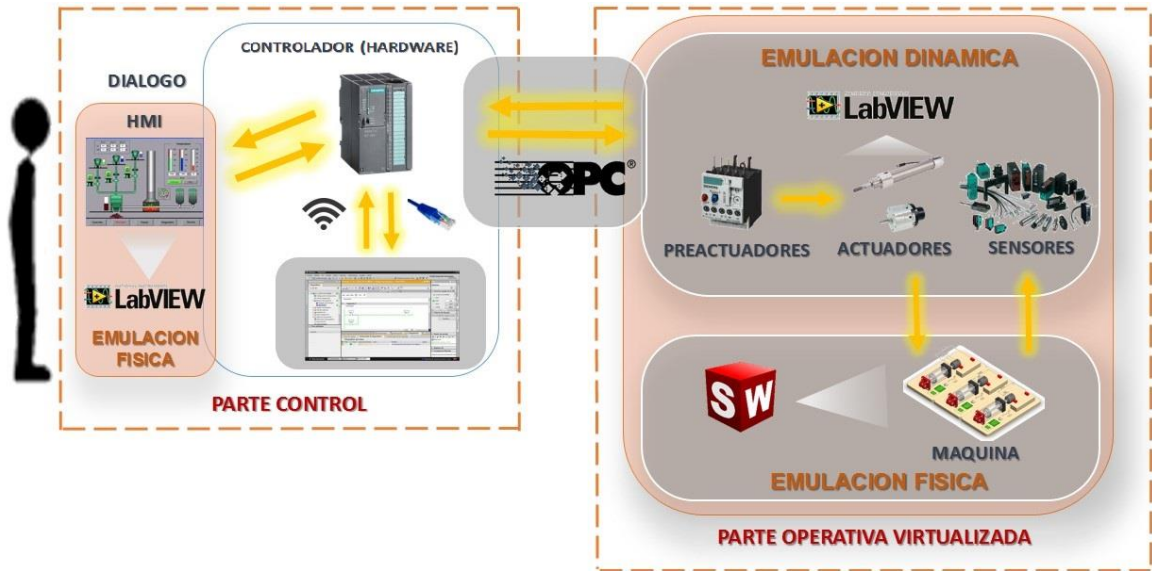
Los sistemas automatizados poseen una estructura, definida en dos partes: Parte operativa y Parte Control⁴. La Figura 4 esquematiza la estructura generalizada de los sistemas automatizados en la presente tesis.

El enfoque de este proyecto se acentuó en la virtualización de la parte operativa de cada uno de los tres sistemas al igual que las interfaces de diálogo entre el operario y la máquina. En base a la parte operativa, la emulación se llevó a cabo en dos partes: por un lado se desarrolló una emulación física de los mecanismos, sensores y actuadores, usando el software de modelamiento CAD *SolidWorks*, donde se visualiza en detalle los elementos que conforman las plantas; y complementando la virtualización de la parte operativa, se efectuó la emulación de la dinámica de los mecanismos, programando en *LabVIEW* los bloques de manejo para sensores, actuadores y preactuadores. Adicionalmente, en *LabVIEW* se realizó la emulación física del panel de operación o diálogo entre el usuario y las máquinas (HMI), el cual es uno de los dos elementos que componen la parte de control.

³ Para más información acerca de los objetos de aprendizaje, dirijase a los Anexos, sección: Objetos de aprendizaje

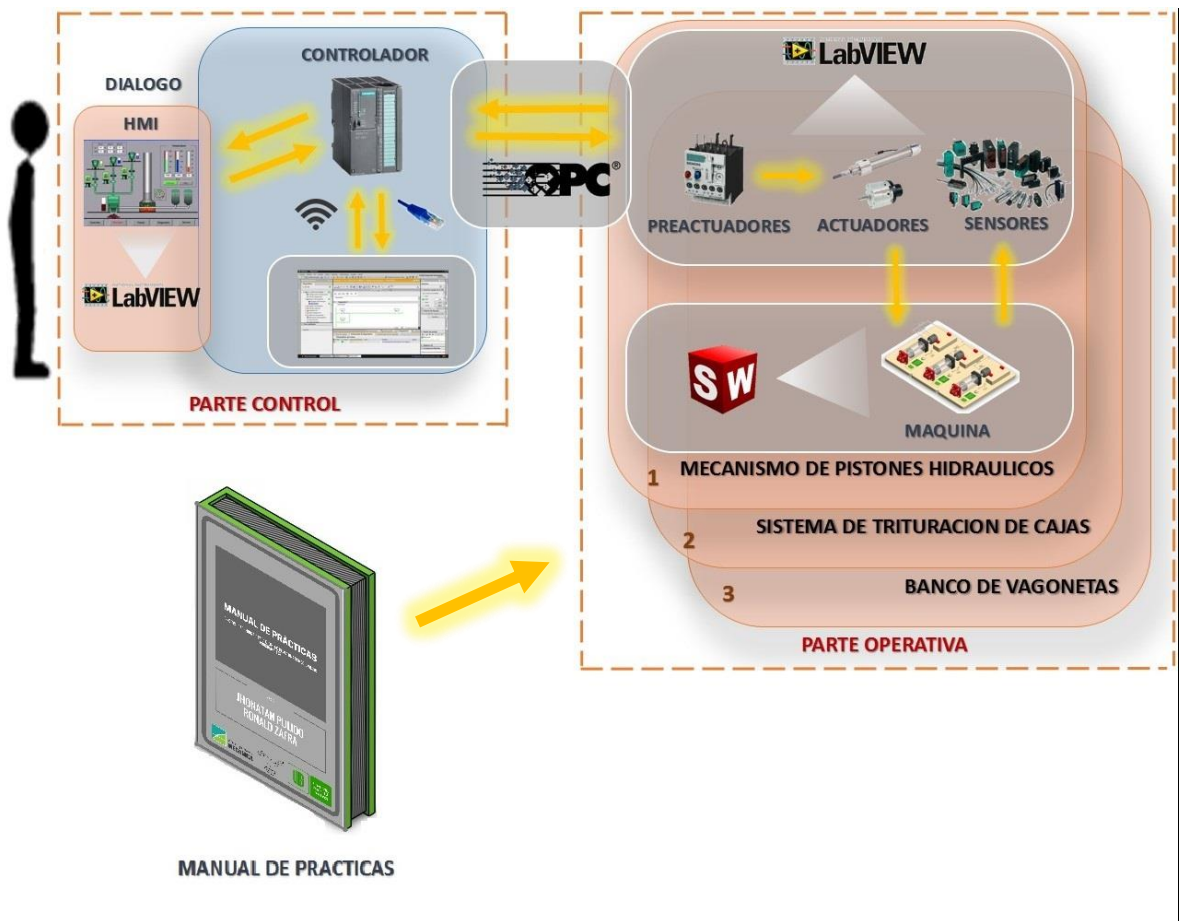
⁴ Si desea profundizar en este tema, dirijase a los anexos: Estructura general de un sistema automatizado.

Figura 4. Esquema de los componentes virtualizados.



El segundo elemento de la parte operativa y único componente físico del sistema automatizado, es el controlador o PLC. Este dispositivo es el encargado de automatizar los procesos secuenciales de los mecanismos. Así, para crear el enlace entre el controlador (componente físico) y la parte operativa (componente virtualizado) fue necesario un servidor que convierta las señales físicas suministradas por el PLC a señales virtuales enviadas a *LabVIEW*. Estas plataformas cliente-servidor se crearon en el software *OPC server*.

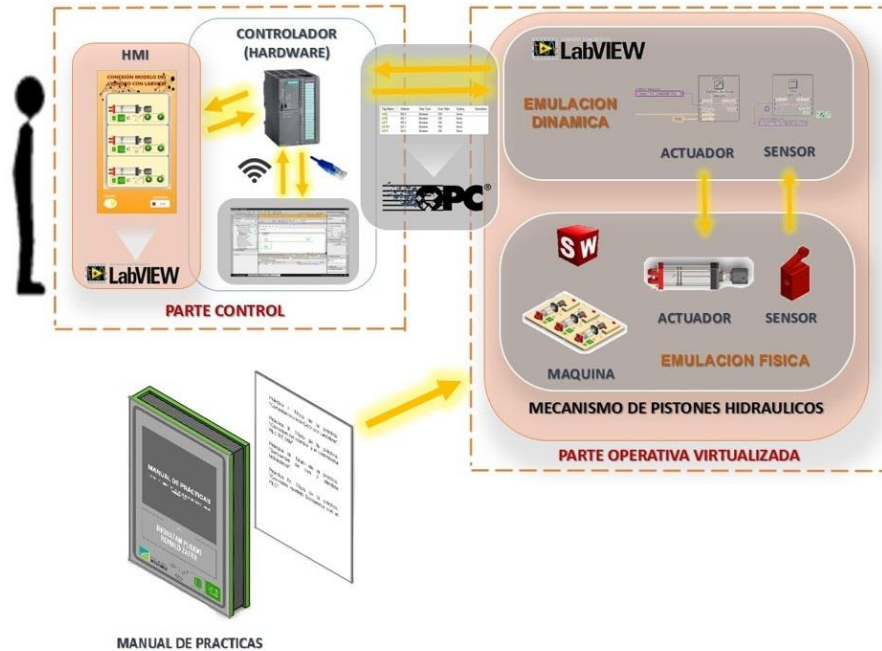
Figura 5. Bloques de aprendizajes del proyecto



Como resultado del proyecto, fueron creados varios objetos de aprendizaje. La Figura 5 presenta los sistemas automatizados y de manera enumerada, los tres bancos de pruebas virtualizadas: Mecanismo de pistones hidráulicos (1), Sistema de trituración de cajas para el diseño de automatismos lógicos combinacionales (2) y Banco de vagonetas con el fin de diseñar automatismos secuenciales (3). Además, un manual de prácticas donde se encuentran problemas de automatización referentes a los bancos de prueba. En seguida se hará una breve descripción de cada banco.

2.1. Planta virtualizada 1: Mecanismo de pistones hidráulicos.

Figura 6. Esquema del Mecanismo de pistones hidráulicos virtualizado

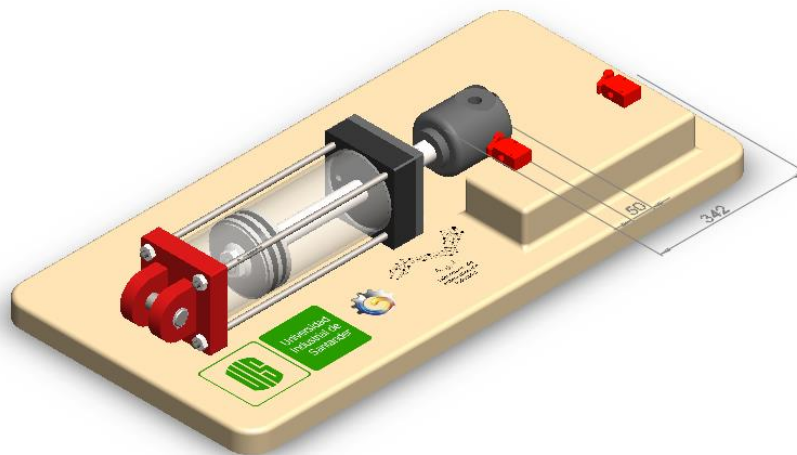


El mecanismo de pistones hidráulicos pertenece al objeto de aprendizaje para la virtualización de máquinas y programación de sistemas lógicos secuenciales. Sobre este banco se desarrollarán cuatro prácticas: Las dos primeras tienen la intención de que el aprendiz modele el CAD, cree la emulación dinámica en *LabVIEW* al igual que el panel, realice la conexión pertinente con el controlador y programe la secuencialidad planteada. Los otros dos enfatizan, igualmente, el desarrollo desde cero de un sistema automático virtualizado pero esta vez con tres cilindros, haciendo

del diseño del automatismo algo más complejo en cuanto a la lógica secuencial descrita en el problema⁵.

2.1.1. Emulación Física.

Figura 7. Pistón hidráulico.



Con el propósito que el estudiante se familiarice con el entorno de trabajo y aplique brevemente el diseño de automatismos secuenciales, se construyó este banco de pistones hidráulicos cuyo modelo consta de una base o estructura para el pistón. Sobre ella se encuentra el pistón en posición horizontal y a su vez instalados dos finales de carrera, para determinar la posición inicial y final de la punta del vástago. Además, fueron emulados virtualmente dos interfaces de usuario (una en cada práctica) donde se visualiza, con leds, el estado de los finales de carrera y el accionamiento de los pistones.

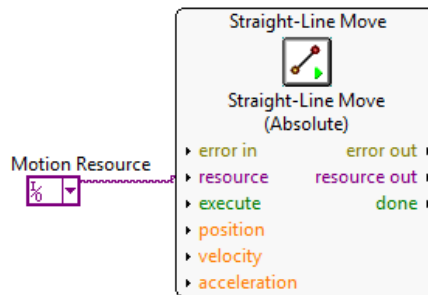
⁵ Ver Manual de prácticas, sección: Bloque de virtualización y conexión de un sistema automatizado. Manual de prácticas.

Figura 8. HMI de un pistón hidráulico.



2.1.2. Emulación Dinámica. La Figura 16 muestra el bloque de programación usado para la emulación de los actuadores. Es en este bloque donde se emula la dinámica. Allí se ve que es necesario ingresar datos de position, velocidad y aceleración, valores que condicionaran al motor asociado al elemento del mecanismo que se moverá, por medio de la entrada “Resource”.

Figura 9. Herramienta LabVIEW para emular dinámica de actuadores.



Fuente: *LabVIEW 2012*

2.2. Planta Virtualizada 2: Sistema de trituración de cajas.

Figura 10. Esquema del Sistema de trituración de cajas.



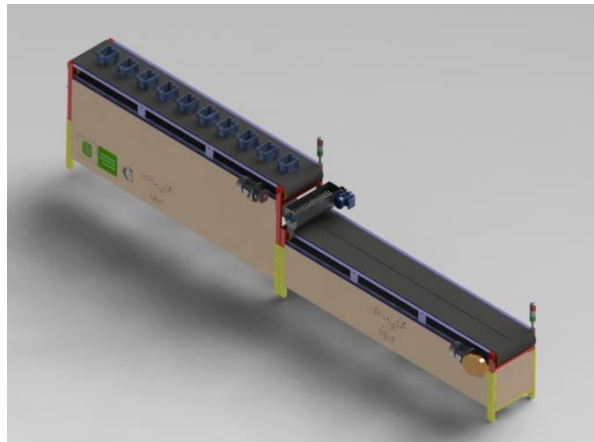
Para el diseño de automatismos lógicos combinacionales se desarrolló un objeto de aprendizaje, el cual consta de sistema de trituración de cajas como se observa en la Figura 10. En la sección del manual de prácticas concerniente a este objeto, encontramos dos prácticas en donde el aprendiz diseñara el automatismo lógico combinacional y lo implementará o programa, para la primera práctica, en *LabVIEW* y en la segunda, sobre el PLC por medio del TIA Portal de Siemens⁶.

2.2.1. Emulación física. En el segundo bloque encontramos la emulación de la parte operativa de una planta de trituración de cajas recicladas (Figura 9). La máquina trituradora está conformada por dos bandas transportadoras paralelas, que giran en

⁶ Ver Manual de prácticas, sección: Bloque de aprendizaje para el diseño de automatismos lógicos combinacionales.

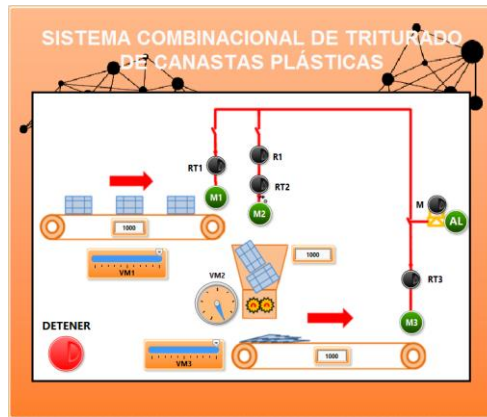
un mismo y único sentido. La banda superior transporta las cajas recicladas hasta el sistema molidor de martillo compuesto por dos cilindros que giran en sentido contrario uno del otro, luego, sobre las cajas trituradas son transportadas sobre una segunda banda, hasta el final del banco. Como condiciones de entrada se encuentran 5 dispositivos de preaccionamiento: 1 interruptor de marcha, 3 relés térmicos y un relé de sobrecarga. Además, existen 3 motores (actuadores) que activan las dos bandas y el sistema de trituración.

Figura 11. Máquina del bloque 2: Trituradora de cajas. Lógica combinacional.



El bloque de sistemas combinacionales posee una interfaz compuesta por 5 interruptores que simularán el fallo de los relés o el motor, sea el caso. A su vez, se encuentran 4 leds indicadores, alertando el fallo de la línea que corresponde a los relés y el motor. Por último, controlando la velocidad de los motores de las bandas y los machacadores, se observan 3 reguladores de velocidad.

Figura 12. HMI Bloque 2.



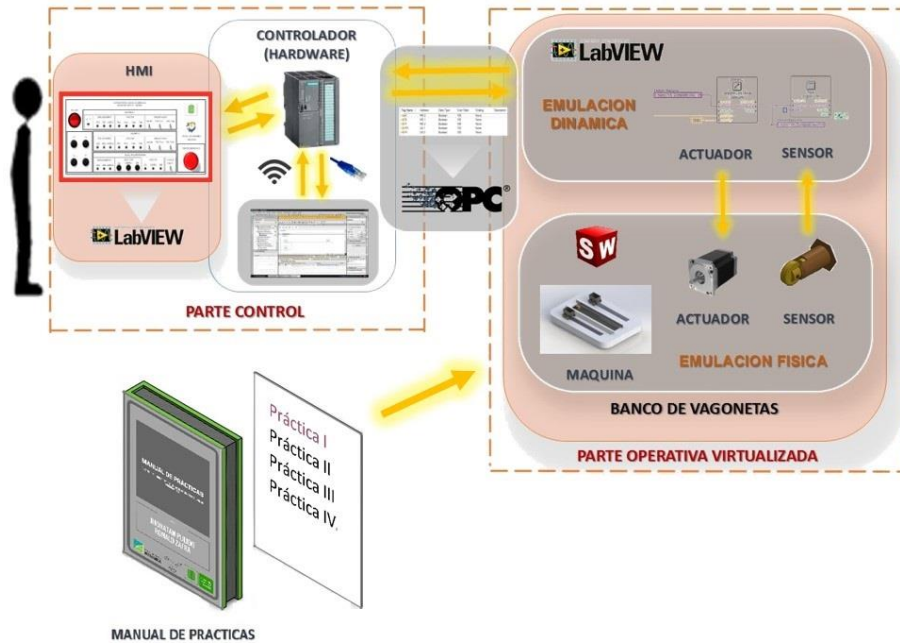
2.2.2. Emulación Dinámica. El movimiento de las bandas y los cilindros se efectúa con 3 motores. La dinámica de estos dispositivos se emulan en LabVIEW con bloques de programación que reciben las señales del PLC y estos entregan datos dinámicos para que el elemento mecánico virtualizado se mueva.

2.3. Planta virtualizada 3: Banco de vagonetas.

Para consolidar el desarrollo de competencias en los automatismos lógicos secuenciales, fue creado un objeto de aprendizaje basado en un sistema automatizado de un banco de vagonetas como el que se observa en la Figura 13. Este objeto se creó para llevar a cabo 4 prácticas en las cuales el alumno diseñará automatismos lógicos secuenciales con requerimientos de diseño que varían entre prácticas, otorgándole versatilidad al banco de pruebas⁷.

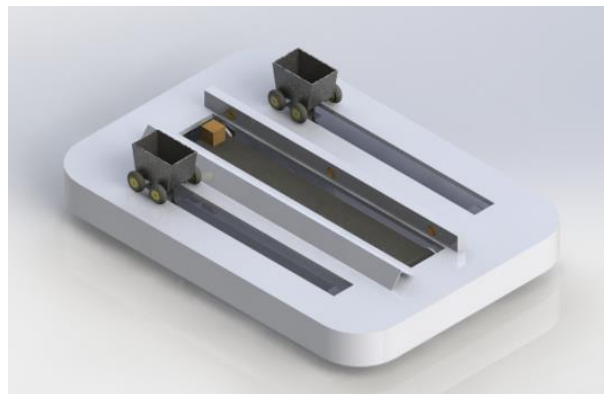
⁷ Ver Manual de prácticas, sección: Bloque de aprendizaje para el diseño de automatismos lógicos secuenciales.

Figura 13. Esquema del Banco de vagonetas.



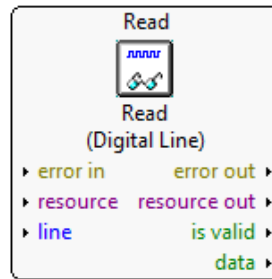
2.3.1. Emulación física. Como base o soporte para el sistema del bloque 3, se modela una estructura sobre la cual irán ensambladas dos vagonetas con movimiento independiente una de la otra. Entre cada vagoneta fue ensamblada una banda transportadora con doble sentido de desplazamiento.

Figura 14. Máquina del bloque 3: 2 vagonetas con una banda transportadora.



Las condiciones de entrada de este sistema están relacionadas con 8 finales de carrera y 3 sensores inductivos. A su vez, como dispositivo de accionamiento se emularon 3 motorreductores.

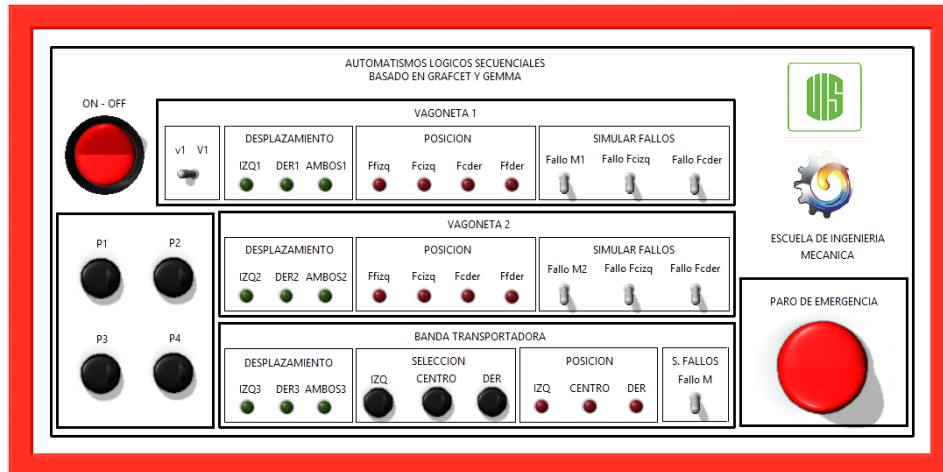
Figura 15. Herramienta *LabVIEW* para emular Sensores.



Fuente: LabVIEW 2012

En la Figura 16 se observa la cantidad de entradas y salidas del HMI para el sistema automatizado de vagonetas. Se observan 11 leds rojos que indican el posicionamiento de las vagonetas sobre los finales de carrera (ya sean los finales de carrera para el estudio del automatismo o los de seguridad) y del objeto que se encuentre en la banda transportadora. 9 Leds verdes muestran la activación de las salidas del PLC que a su vez dan energía a los motores emulados tanto de las vagonetas como de la banda. Por ejemplo, si la vagoneta número 1 se moviliza en sentido derecha-izquierda, el led verde con nombre "IZQ", ubicado en "VAGONETA 1" se iluminará. También se encuentran 7 pulsadores de entrada que activan la secuencia programada. Se puede divisar que los 3 pulsadores de la banda transportadora afectan directamente a la banda. El interruptor principal "ON-OFF" tiene como función energizar todo el panel virtual. Para finalizar, encontramos 8 interruptores donde 7 de ellos simulan los posibles fallos en los motores, los finales de carrera de las vagonetas y la banda transportadora. El otro interruptor da el valor de velocidad en la Vagoneta 1.

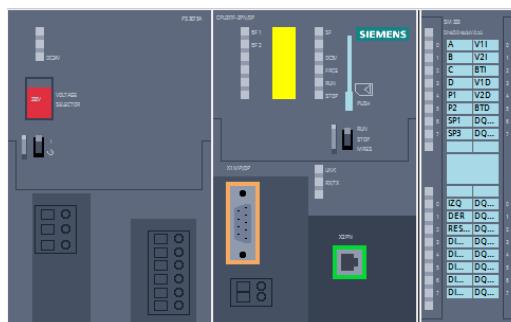
Figura 16. HMI Bloque 3.



2.3.2. Emulación dinámica. Tal como en todos los sistemas, la emulación dinámica de los elementos de la parte operativa se ejecuta con bloques de programación del *toolkit* “Softmotion” de LabVIEW (Figura 9).

2.4. Controlador lógico programable.

Figura 17. PLC S7 300.



Fuente: *Tia Portal V13*.

Llevar a cabo tareas repetitivas requiere de un nivel de procesamiento arduo y con gran capacidad, sin embargo los bancos hechos para este proyecto tienen una implicación meramente pedagógica lo que conlleva a una ejecución de tareas simultáneas de complejidad media o baja. Los PLC Siemens tienen cualidades de robustez (nivel de procesamiento) y precisión en sus tareas de ejecución. Actualmente se cuenta con un PLC S7 300 (Referencia: 315-2FH1-0AB0) que dispone de una fuente de alimentación, su unidad de procesamiento de datos y un módulo de entradas y salidas análogas y digitales que se componen de 16 entradas y 16 salidas digitales.

3. CREACIÓN Y MONTAJE DE LOS OBJETOS DE APRENDIZAJE

3.1. Descripción preliminar de los objetos de aprendizaje.

Según la alternativa seleccionada, se describe la estructura general que constituyen todos los objetos de aprendizaje construidos en este proyecto. La innovación presentada en todos ellos está caracterizada por la virtualización de los sistemas automatizados, específicamente, sobre la parte operativa, explicada con claridad en las secciones posteriores a esta.

Para el desarrollo y adquisición de competencias en el diseño de automatismos lógicos, fueron creados 3 bloques u objetos de aprendizaje donde cada uno posee un sistema o planta automatizada y virtualizada, cuyas acciones se observan en tiempo real, conjuntamente, un panel de control virtual, un autómeta programable o PLC, para el tratamiento de las señales discretas de cada banco, y un manual de uso general donde se plasma el desarrollo óptimo de las prácticas fundamentadas en el reconocimiento del entorno de trabajo para la creación de los sistemas y el diseño de automatismos lógicos combinacionales y secuenciales. Los elementos que fueron virtualizados se crearon en programas instalados en una computadora de escritorio.

Con la intención de emular el movimiento fue necesario el uso de *SolidWorks*, una herramienta donde es posible construir cualquier elemento o conjunto de ellos, en tres dimensiones, generando un realismo propio de una planta de producción.

Por su parte la plataforma ingenieril de *LabVIEW*, contribuyó en el caso particular de los objetos de aprendizaje, para el tratamiento de las señales bajo el control de

la dinámica de las máquinas y a su vez, la respuesta del dispositivo de control o PLC.

Los enlaces que se ejecutan para el transporte de las señales discretas virtualizadas se elaboraron gracias a estándares de comunicación como *OPC server*, el cual, por medio de su sistema cliente-servidor, permite que *LabVIEW* obtenga los datos de entrada/salida del PLC y claramente, permitir el manejo de estas. También, se utilizaron *toolkits* como el *SoftMotion* de *LabVIEW*, otro beneficio más que proporciona *National Instruments* debido a que permite el control del movimiento o dinámica de los mecanismos diseñados en *SolidWorks*, adicionando la emulación de entradas y salidas, tales como sensores, motores, finales de carrera, etc.

Los autómatas programables encargados del control automatizado de cualquier sistema automático, constituyen la parte esencial de los objetivos del proyecto. El aprendizaje de las tecnologías complejas, como las presentadas en los autómatas programables hace indispensable el uso de objetos de aprendizaje donde el usuario plasme su adquisición teórica previa, bajo la ayuda de herramientas de modelado de eventos discretos, como Mapas de Karnaugh y GRAFCET, para el diseño y programación de los automatismos lógicos combinacionales y secuenciales, respectivamente.

Las prácticas planteadas que se ejecutan en los sistemas automatizados, cuentan con un apoyo didáctico como garantía de un funcionamiento óptimo de los laboratorios. Un manual de usuario contiene los pasos necesarios para cumplir con los objetivos de cada práctica, asimismo, cuenta con soporte gráfico y literal para que todos los que incurran sobre el desarrollo de las prácticas cumplan con los requerimientos de cada problema, finalizando con los propósitos de cada objeto de aprendizaje.

3.2. Bloque 1. Virtualización de un mecanismo de pistones hidráulicos.

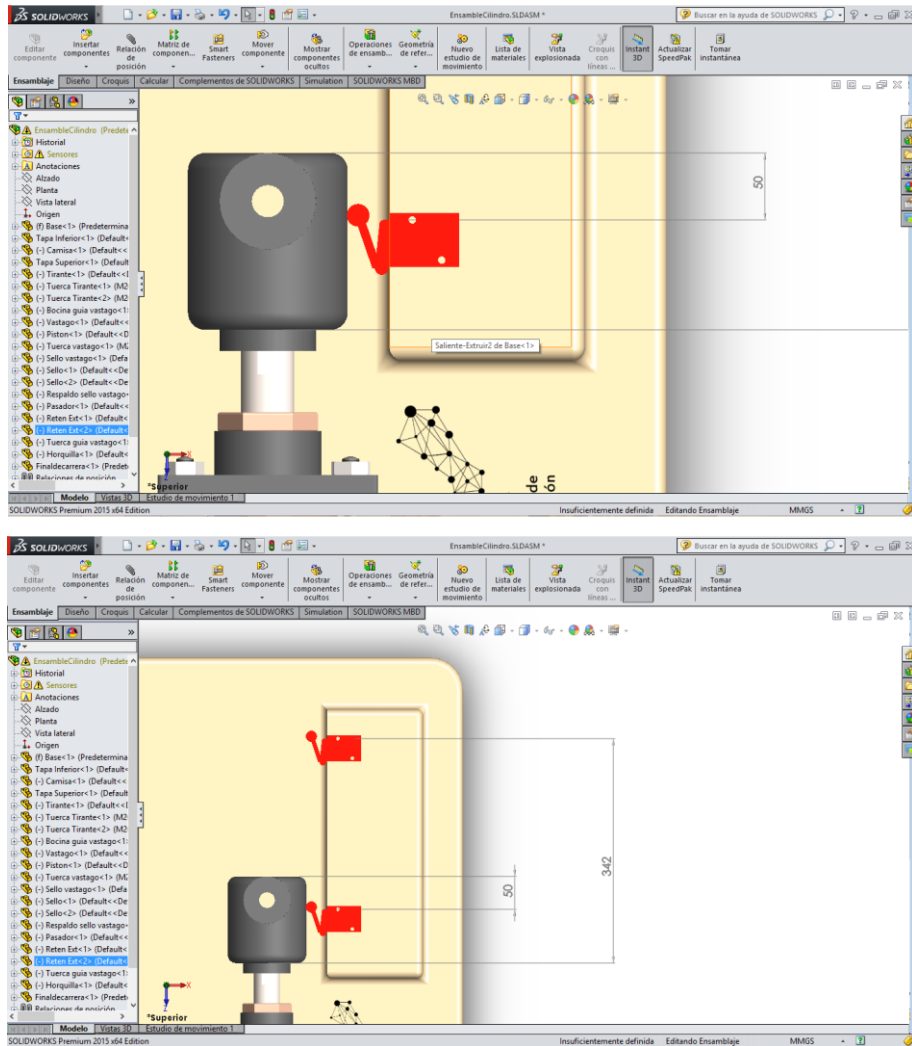
Figura 18. Mecanismo de pistones hidráulicos.



Con la intención de que el estudiante conozca el entorno en el que trabajará y aplique a cabalidad la automatización de las máquinas virtuales, se creó un banco que al final se constituye por tres actuadores, específicamente, cilindros hidráulicos en detalle.

3.2.1. Parte Operativa. La parte operativa está conformada por tres cilindros hidráulicos tipo pistón exactamente iguales y dos finales de carrera para cada uno, garantizando la llegada a los extremos por parte del pistón. Todo el modelado, junto con la creación de sensores, fue realizado en el Software CAD de *SolidWorks*, gracias a sus ventajas sobre en el análisis de movimiento, creación de sensores y compatibilidad con *LabVIEW*.

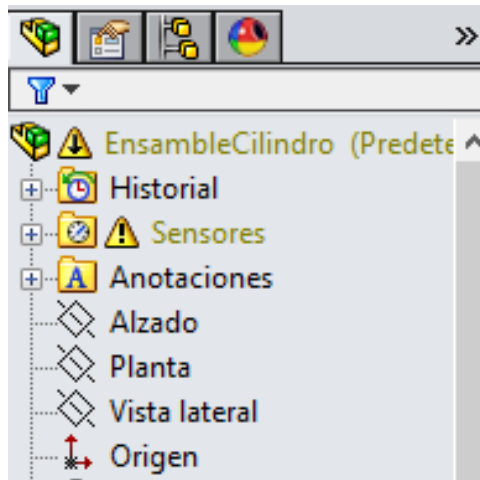
Figura 20. Ubicación de las cotas.



Fuente: SolidWorks.

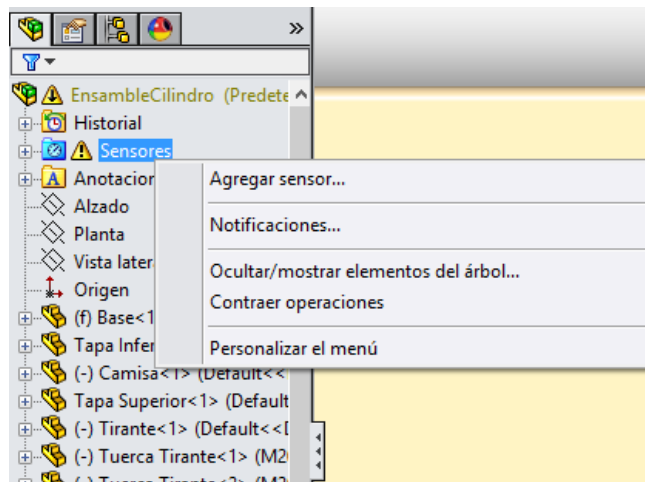
Luego en el *FeatureManager* de *SolidWorks* existe una carpeta llamada **Sensores**. Allí se usó la opción **Agregar sensor**. De esta manera se emularon los finales de carrera y sensores inductivos o de proximidad que posee el banco real de vagonetas.

Figura 21. Creación de sensores.



Fuente: SolidWorks

Figura 22. Creación de sensores (continuación)



Fuente: SolidWorks

Las cotas indican claramente el valor que lee el sensor emulado, teniendo la opción de añadirle un aviso cuando este valor fuese menor a un valor asignado o programado, con la idea de que envíe una señal de activación cuando la advertencia

se origine o no mande nada mientras no se presente la advertencia, es decir, envíe señales booleanas que serán tratadas y manipuladas en *LabVIEW*.

Figura 23. Sensores cota creados.




Creación de un estudio de movimiento. Antes de crear el estudio de movimiento en los pistones, fue necesario verificar la habilitación de los complementos que permiten la simulación de movimiento en cualquier elemento modelado en *SolidWorks*. Estas se activaron de la siguiente forma: Primero, se seleccionó la flecha ubicada al lado derecho de este icono  .

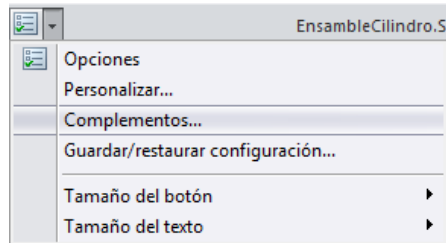
Figura 24. Selección del icono “Opciones”.



Fuente: SolidWorks

Luego, fue cliqueada la opción Complementos de la ventana desplegada,

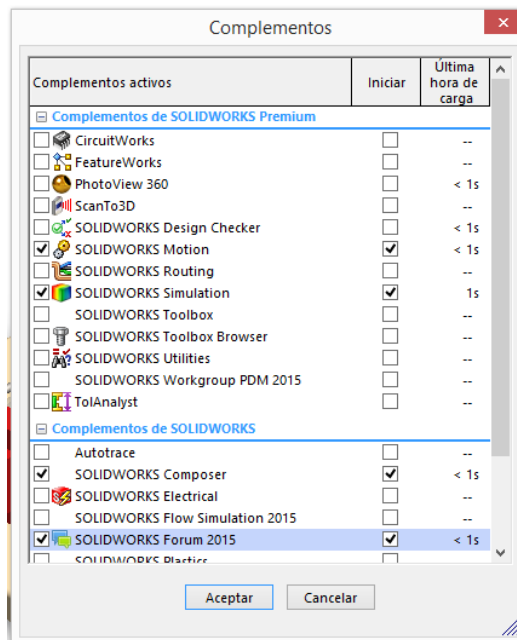
Figura 25. Complementos.



Fuente: SolidWorks

Allí, en la ventana emergente se activaron los complementos “Solidworks Motion” y “Solidworks Simulation”, dando paso al uso de la opción “Análisis de movimiento” ubicada en la pestaña inferior de la interfaz de *SolidWorks* con el nombre de “Estudio de movimiento”.

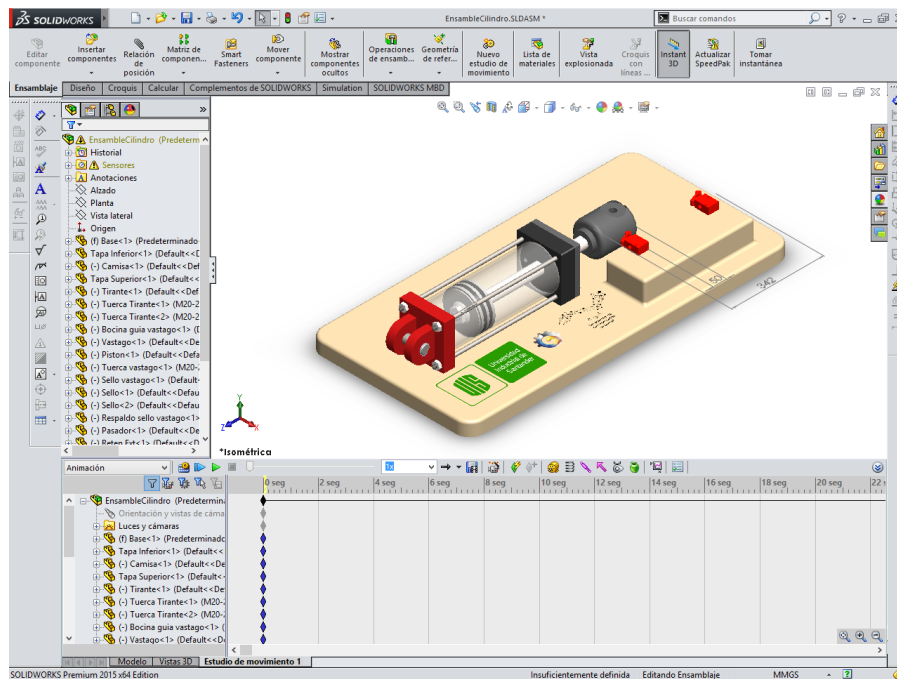
Figura 26. Activación de los complementos.



Fuente: SolidWorks

Al entrar en el estudio de movimiento de *SolidWorks* se pueden programar diferentes simulaciones de movimiento de las plantas modeladas con fines distintos. Para el caso de este proyecto, fue necesario crear análisis de movimientos permitiendo el control cinemático de los mismos con los *toolkits* de *SoftMotion* encontrados en *LabVIEW*.

Figura 27. Creación de Estudio de movimiento.




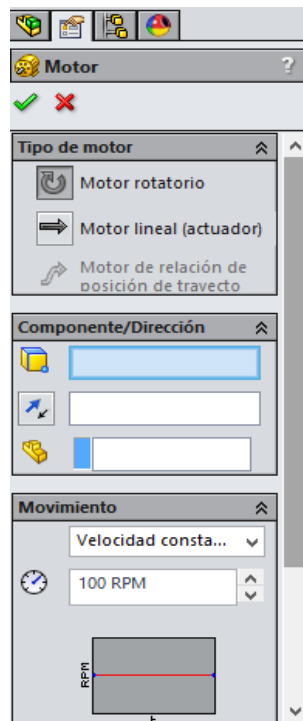
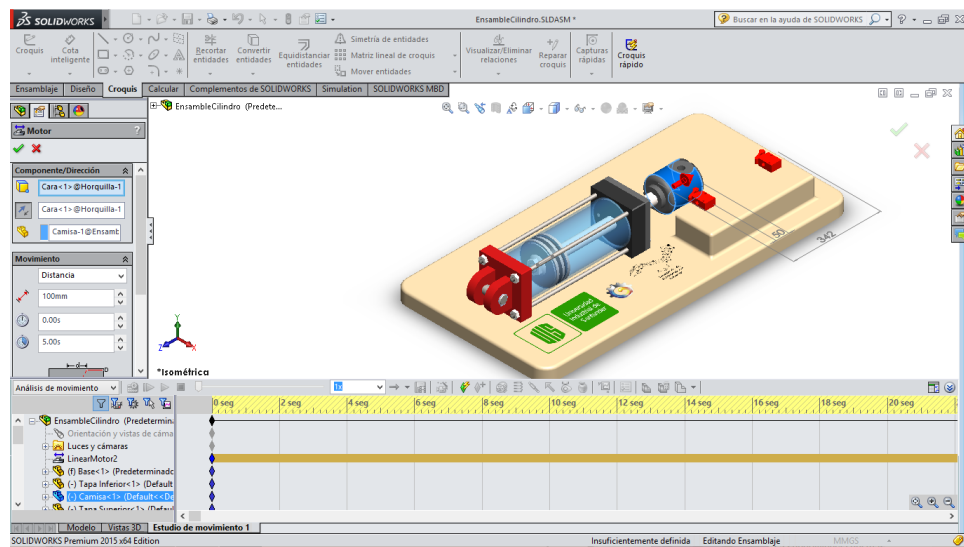
En seguida de configurar el tipo de simulación del movimiento, se usó el siguiente icono . Al presionarlo, una ventana emergente plantea las alternativas en la configuración del tipo de motor junto con los elementos a mover, la distancia a recorrer y demás. En las figuras 24 y 25 se plasma la ventana de configuración del motor y el lugar donde se ubicó para un buen funcionamiento futuro de la simulación.

Figura 28. Creación de un motor.



Fuente: SolidWorks

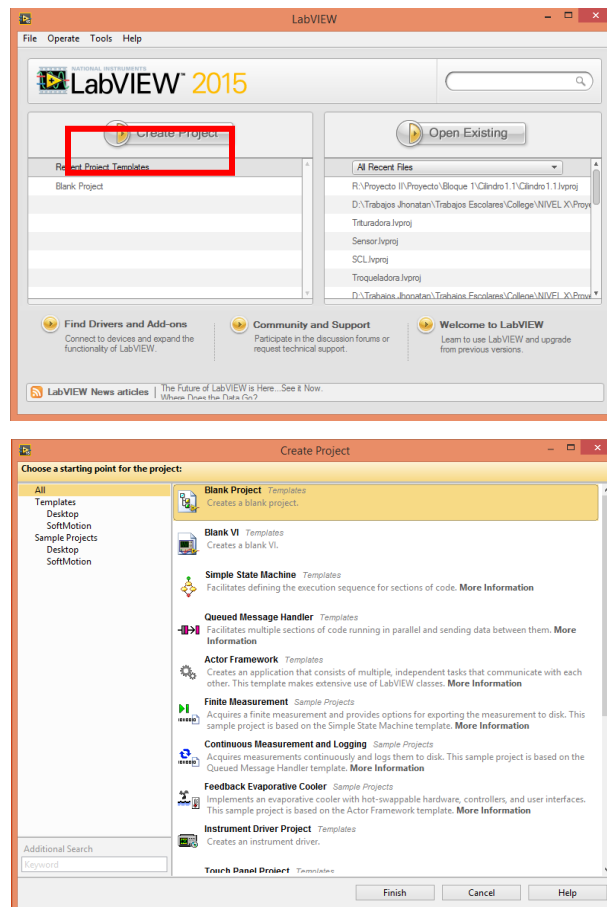
Figura 29. Ubicación del motor.



Fuente: SolidWorks

Creación archivo en Labview. Luego de terminar de configurar el modelo en *Solidworks*, la planta está lista para ser conectada a *LabVIEW*. Para ello, primero se debe crear un proyecto en *LabVIEW*, seleccionando la opción **Create Project**, al dar clic en esta opción, aparece una nueva ventana que dice el tipo de proyecto a crear, se usa la primera opción, “Blank project”.

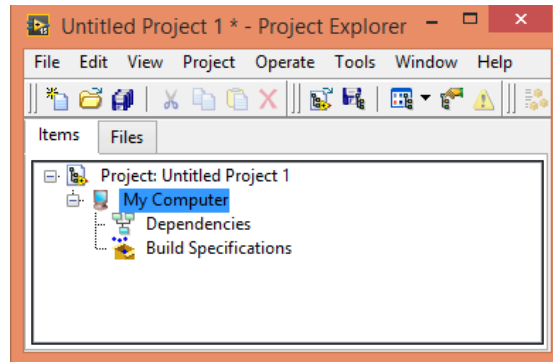
Figura 30. Crear un proyecto en Labview.



Fuente: *LabVIEW 2012*

Entonces aparece una ventana pequeña de proyecto donde se encuentran todos los archivos que se agregarán para relacionar el *SoffMotion* con *Labview*, incluye los motores y sensores respectivos de los pistones modelados.

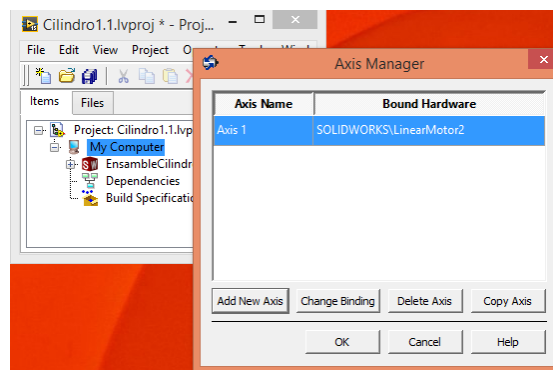
Figura 31. Ventana de proyectos.

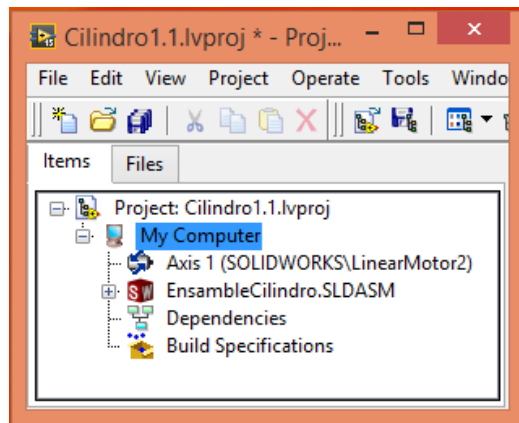


Fuente: *LabVIEW* 2012

En esta ventana de proyectos se agregará el archivo Solid relacionado con los pistones a controlar, los motores (Axis) asociados cada pistón, junto con el panel principal donde se programaron las acciones a relacionar para transmitir las señales que van del PLC al modelo emulado y viceversa.

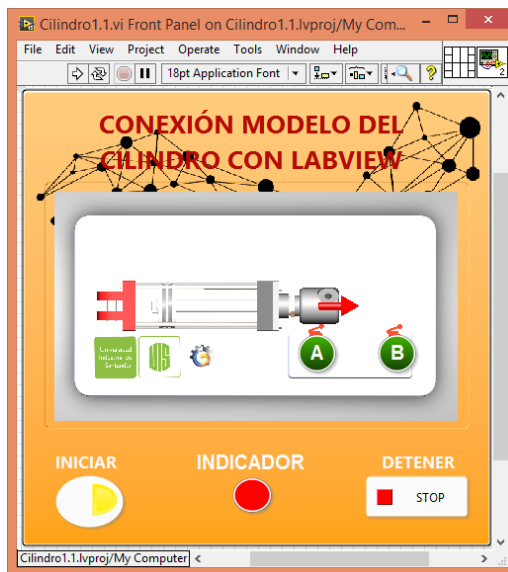
Figura 32. Axis (motor) asociado al proyecto de *LabVIEW*.





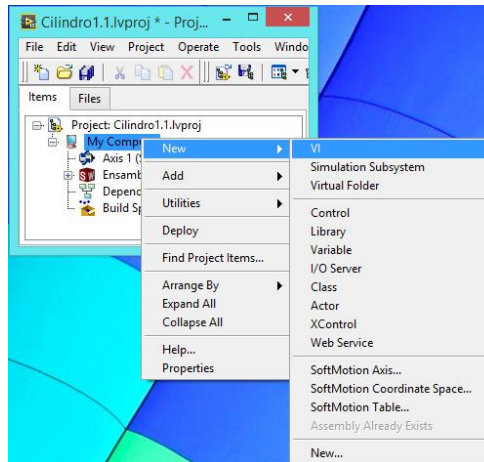
Antes de iniciar con la programación, para obtener las entradas y salidas de control oportunas, existe la necesidad de crear un panel en *Labview* o HMI para realizar el movimiento del cilindro, obteniendo algo similar al siguiente panel. La explicación completa de la creación del HMI se encuentra en la siguiente sección, ya que pertenece a la parte de control del Sistema lógico virtualizado.

Figura 33. Panel Frontal



Para crear el panel de Labview y empezar a programar, en primer lugar se debe crear un archivo *.vi. Esto fue realizado de la siguiente forma,

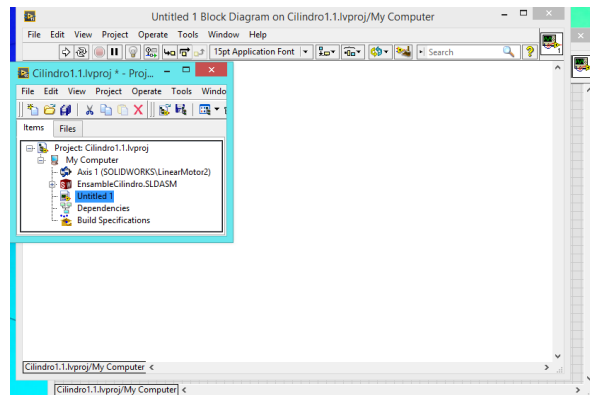
Figura 34. Menú para ingreso el punto *.VI



Fuente: LabVIEW 2012

Aparecerá un *.vi sin título y es acá donde se empezó a programarse la lógica correspondiente al problema o lógica que tuviese el banco de vagonetas,

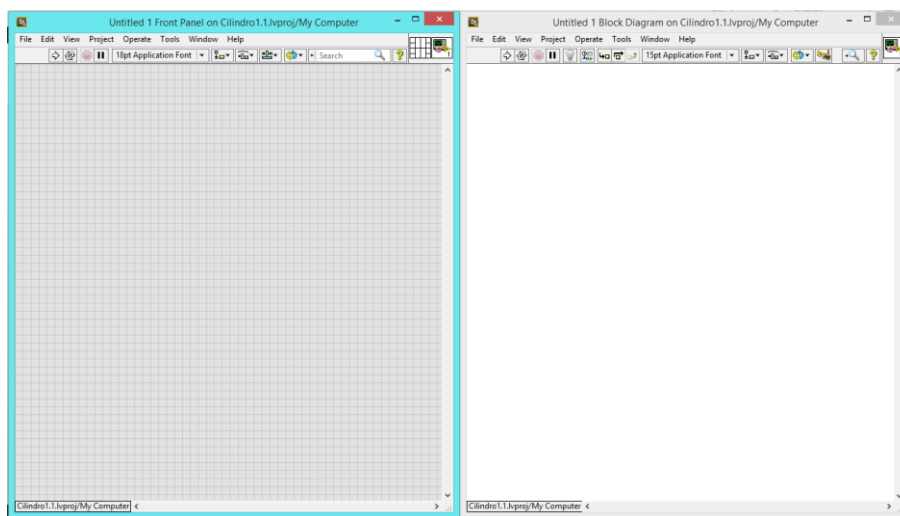
Figura 35. Resultado de agregar el panel frontal.



Fuente: LabVIEW 2012

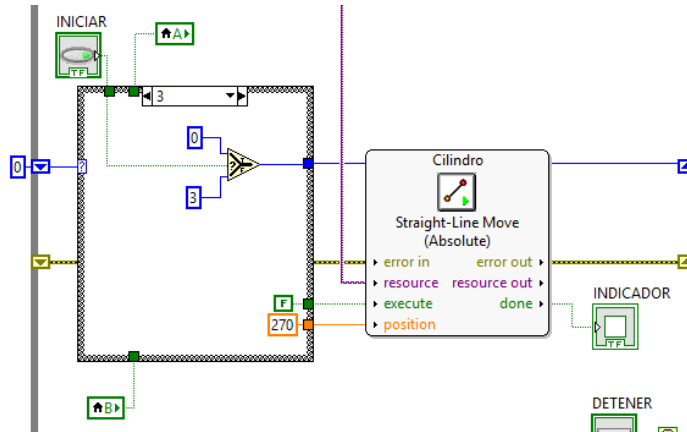
En el **Front Panel** es donde aparecerán todos los controles, como botones, indicadores, barras de llenado; y gráficas de desplazamiento, velocidad y aceleración que se deseen incluir en el panel. Por otra parte, en el **Block Diagram**, es donde se pudo programar y hacer el enlace con SolidWorks.

Figura 36. Panel Frontal y de programación.



Aún, aunque no se haya explicado cómo se crearon las variables del PLC traídas desde el software OPC en la programación de LabView, se muestra en la Figura 33 el resultado de cómo quedó la programación de uno de los tres pistones a usar, coligadas con las variables de entrada del PLC, que indican los finales de carrera que posee el modelo.

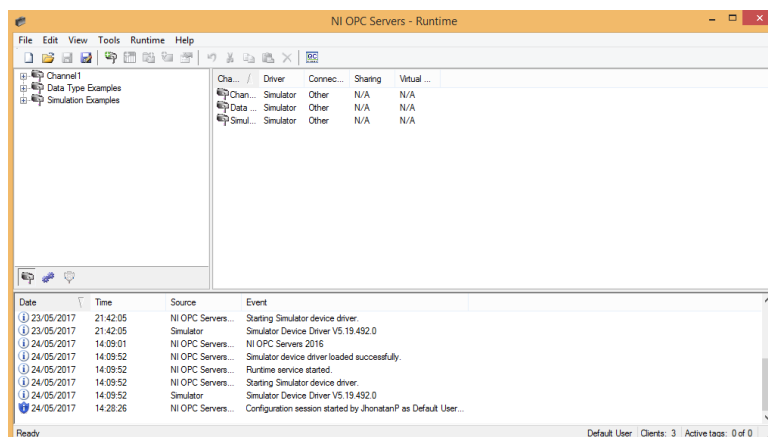
Figura 37. Resultado de la programación de un pistón.



Configuración OPC. El último paso se trata de lograr la comunicación de cada una de las variables creadas en el PLC en el **OPC Servers Administration**, esto con el fin de tener acceso a cada uno de los estados de estas, y utilizarlas en el Panel creado en Labview.

En primer lugar, se comenzó abriendo el **OPC Servers Administration**, al desplegar el “NI OPC Servers – Runtime” se encuentra lo siguiente:

Figura 38. Entorno del NI OPC Servers.



Fuente: OPC Servers Administration


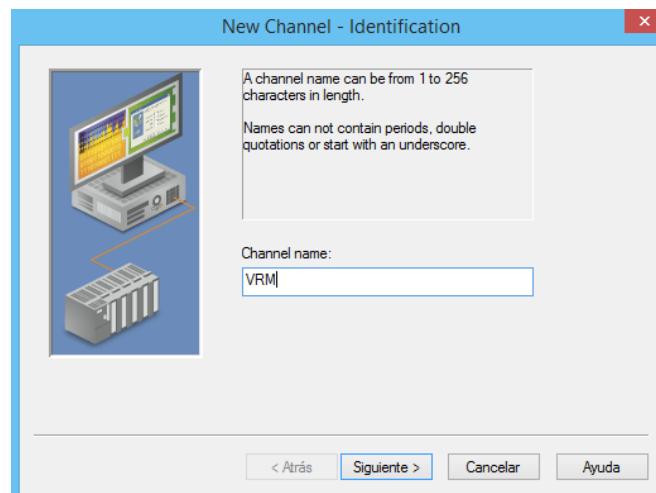
En la parte izquierda, aparecen los canales, estos sirven para configurar el controlador del dispositivo que se esté utilizando, en este caso sería el PLC S7-300 de Siemens. En la parte inferior, se encuentran las advertencias y notificaciones durante la creación y conexión de las variables (Tags). Para crear un canal fue pulsada la opción  y apareció una nueva ventana en donde fue colocado el nombre del canal, acto seguido, presionamos siguiente,

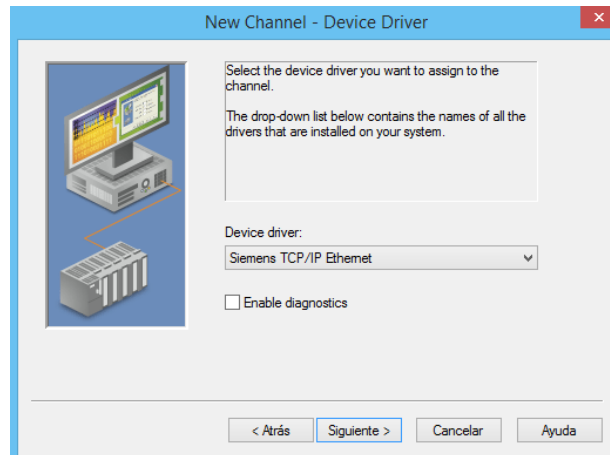
Figura 39. Creación de un nuevo canal.



Fuente: OPC Servers Administration

En la ventana sucesiva, se seleccionó el controlador de dispositivo, para este caso, utilizando una conexión vía Ethernet con nuestro PLC se escogió la opción “Siemens TCP/IP Ethernet”, activando la opción “Enable diagnostics” y se pulsó en siguiente.

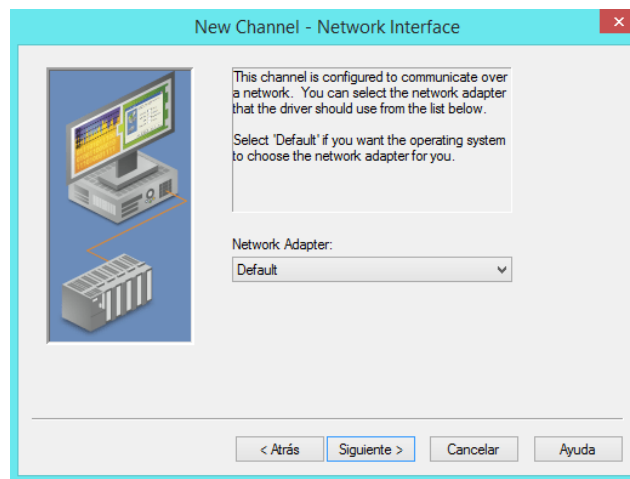
Figura 40. Selección del controlador.



Fuente: OPC Servers Administration

En la siguiente ventana, fue seleccionado el adaptador Ethernet del PC⁸ y siguiente.

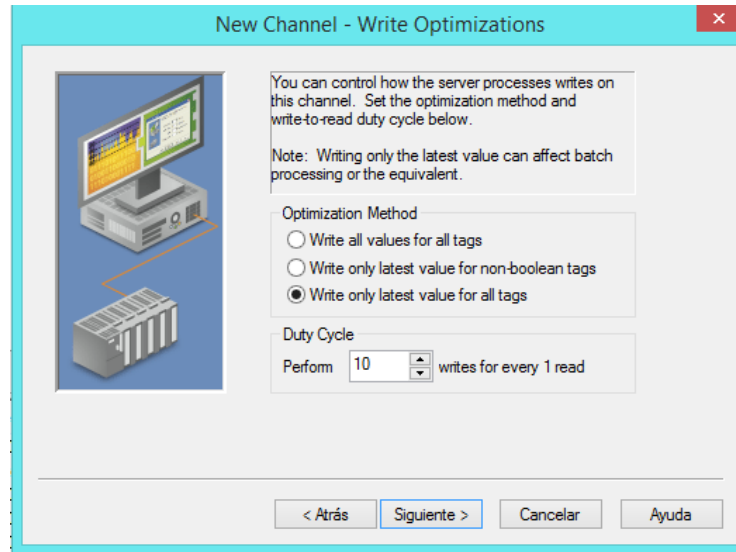
Figura 41. Selección del adaptador.



Fuente: OPC Servers Administration

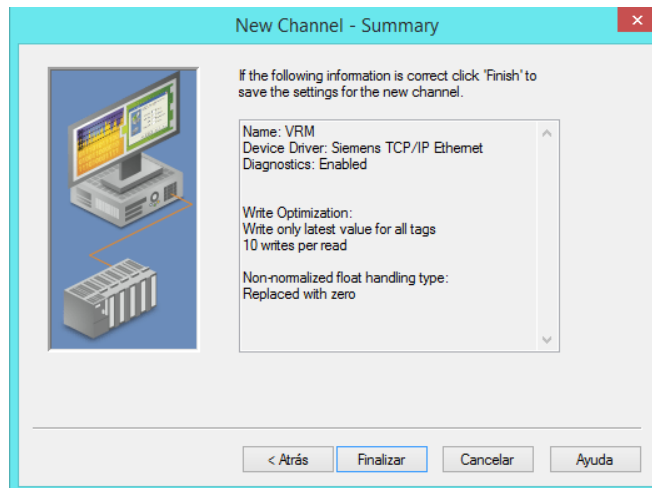
⁸ Para conocer el adaptador Ethernet del PC solo busca la opción “ejecutar” o es presionado la tecla de “Windows” + R y saldrá la ventana de terminal y se escribe “ipconfig”, posteriormente buscamos “Adaptador de LAN inalámbrica Wi-Fi/Dirección IP”. Esta IP es la seleccionada en “Network Adapter”.

Figura 42. Opciones de escritura.



Fuente: OPC Servers Administration

Figura 43. Resumen de la creación del canal.



Fuente: OPC Servers Administration

Ahora se debe crear el dispositivo. En este caso ya se va seleccionar el dispositivo específicamente y luego crear sus variables. Para crear un nuevo dispositivo se


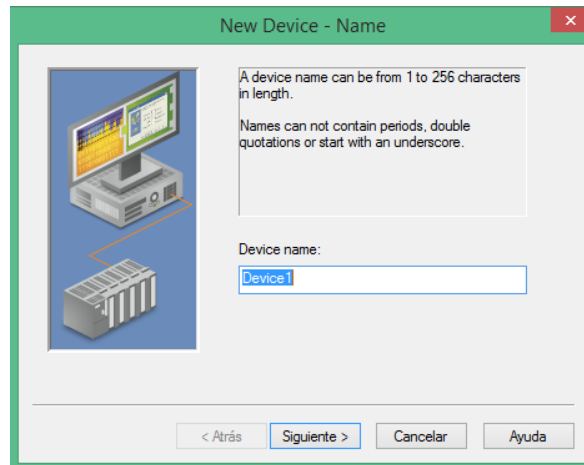
pulsó la opción  y apareció una nueva ventana para la configuración del dispositivo. Primero se encontró una ventana para darle un nombre.

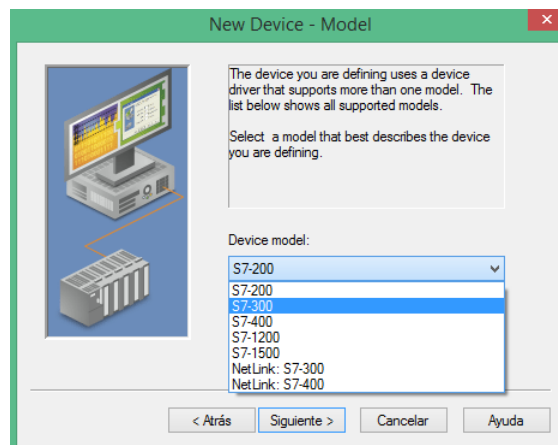
Figura 44. Creación de un nuevo dispositivo.



Fuente: OPC Servers Administration

En la siguiente ventana se colocó el modelo del PLC, en este caso S7-300,

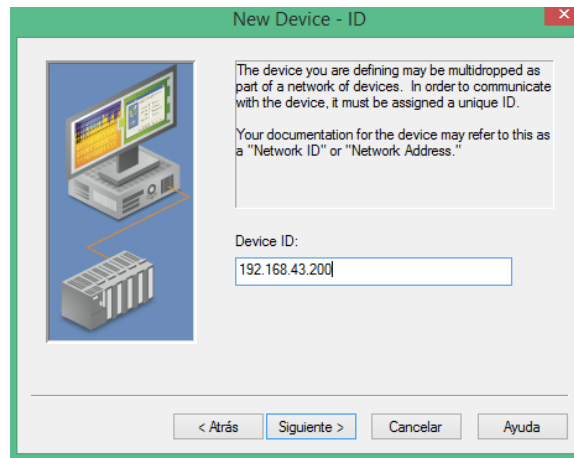
Figura 45. Modelo del dispositivo.



Fuente: OPC Servers Administration

En esta ventana se digitó la IP del PLC, que en este caso es 192.168.43.200,

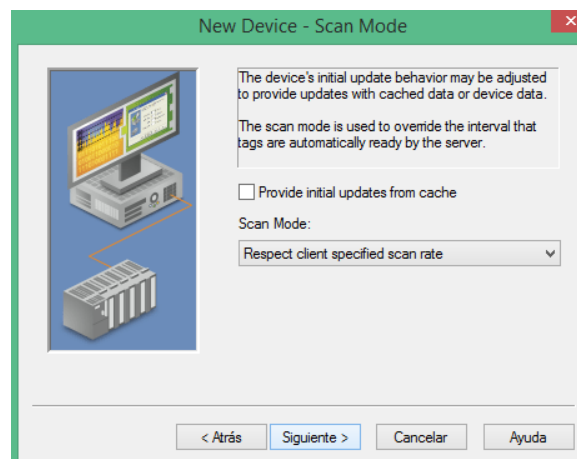
Figura 46. IP del dispositivo.



Fuente: OPC Servers Administration

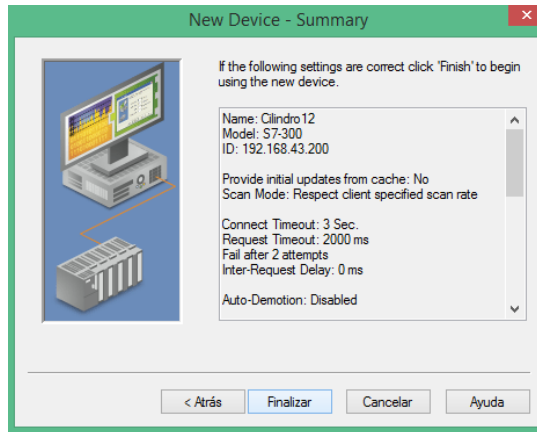
Y las siguientes opciones fueron dejadas por defecto hasta encontrar la opción de finalizar.

Figura 47. Modo de escaneo.



Fuente: OPC Servers Administration

Figura 48. Resumen de la creación del dispositivo.



Fuente: OPC Servers Administration


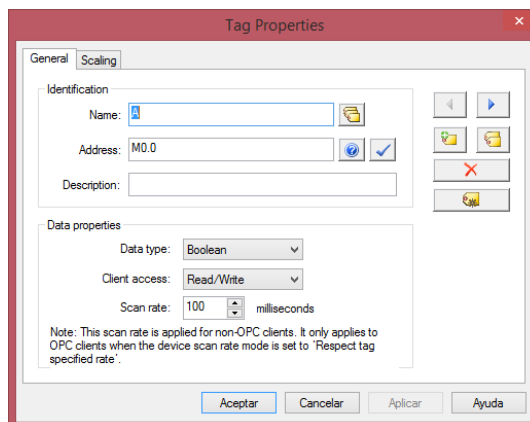
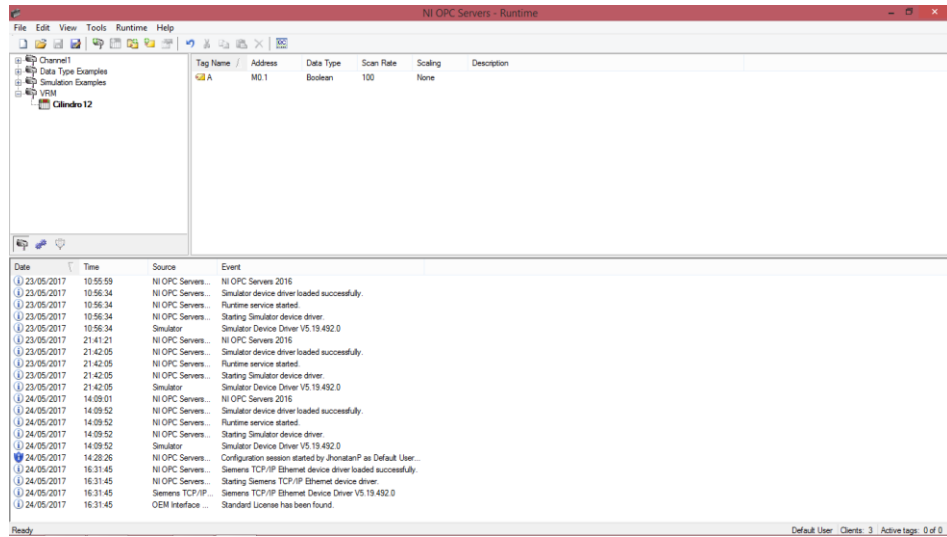
Para crear las variables del PLC, se seleccionó la opción  y emergió una nueva ventana. En ella se dio el nombre de las variables que se crearon en el PLC exceptuando únicamente las entradas y las variables de los estados. Colocamos el nombre de la variable, el cual quedó a consideración del diseñador pero lo que sí es importante es la dirección, ya que debe coincidir con la dirección de la variable creada en el TIA Portal.

Figura 49. Creación de variables.



Fuente: OPC Servers Administration

Figura 50. Creación de variables (continuación).



Al final se obtuvo una lista de variables como la siguiente que a su vez dependen de las variables que se crearon en la programación de la secuencialidad programada en el Software para PLC Siemens TIA Portal, explicada en seguida.

Figura 51. Variables creadas en el OPC.

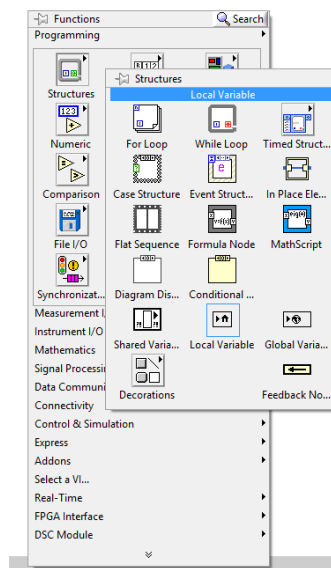
Tag Name /	Address	Data Type	Scan Rate	Scaling	Description
A	M0.0	Boolean	100	None	
B	M0.1	Boolean	100	None	
P	M0.2	Boolean	100	None	
PD	Q0.1	Boolean	100	None	
PI	Q0.0	Boolean	100	None	

3.2.2. Parte Control.

del automatismo previamente diseñado con la metodología GRAFCET. Pasaremos a resaltar algunos detalles que son útiles a la hora de programar nuestro Panel:

Utilizar la función **Local Variable** podemos tener una programación más organizada en el **Block Diagram**.

Figura 53. Menú de LabView para la configuración del pulsador.



Fuente: LabVIEW 2012

Se debe cambiar la acción mecánica de nuestro interruptor para convertirlo en pulsador.

Figura 54. Cambio interruptor a pulsador




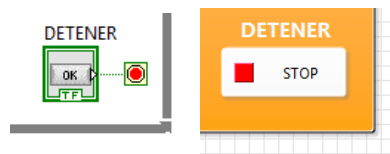
Siempre que se crea una estructura de **While Loop** en la esquina inferior derecha aparece un cuadro con círculo rojo , este permite detener el ciclo While, para ello solamente pulsamos clic derecho sobre la terminal que aparece cerca de él, Create/Control y aparecerá un botón que nos permitirá cada vez que sea pulsado, detener el programa.

Figura 55. Botón de Stop



Finalmente, para darle estética al panel se deben utilizar todos los bloques y funciones que aparecen en Controls/Silver en el Front Panel y conseguir un panel similar al de la Figura.

Figura 56. HMI del Banco pistón.

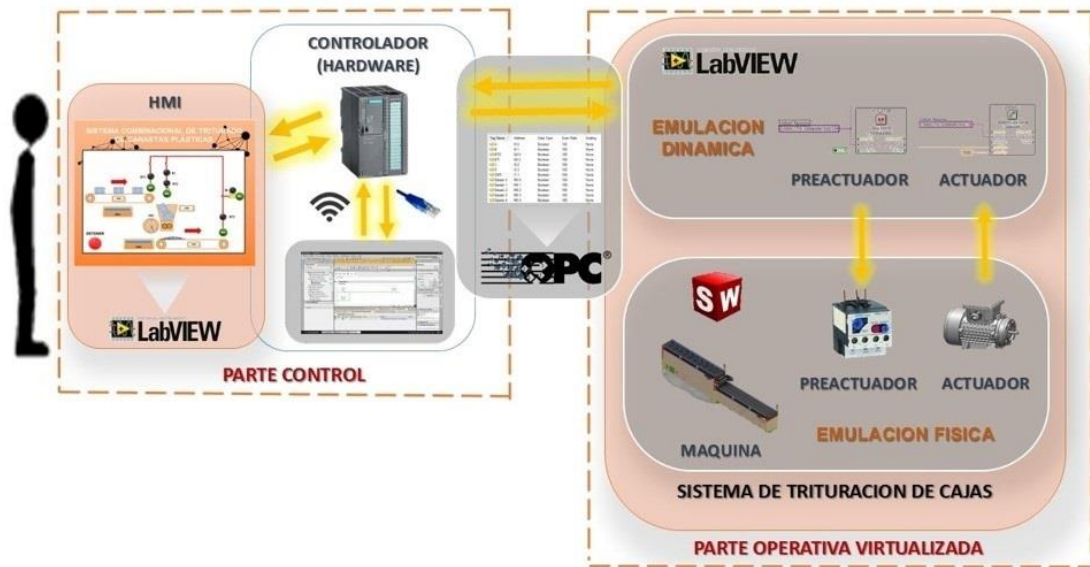


En resumen, el panel consta de una ilustración del mecanismo cilindro-pistón, un pulsador, un led indicador y el botón **STOP** que detendría totalmente el programa.

3.3. Bloque 2. Diseño de automatismos lógicos combinacionales; Virtualización de un sistema de trituración de cajas.

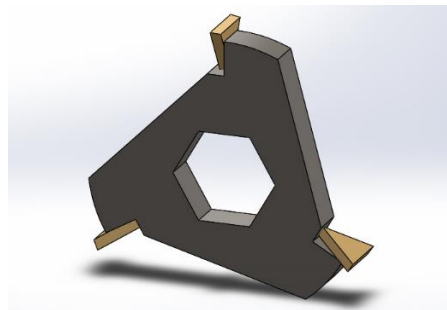
Generalmente las aplicaciones para sistemas combinacionales son sencillos en cuanto a su manera de operar ya que no se encuentran consideraciones más allá del estado de la entrada porque esta entrada afectará directamente el resultado de la salida. El banco creado para realizar prácticas en el diseño de automatismos lógicos combinacionales trata de una línea que inicia con el transporte de cajas reciclables que caen por gravitación a una trituradora de cuchillas dando como producto un triturado plástico que cae a la banda inferior para finalmente ser transportada hasta el otro extremo de la banda de salida.

Figura 57. Virtualización sistema de trituración de cajas



3.3.1 Parte operativa. Para este bloque de aprendizaje fue modelada una planta trituradora de cajas plásticas que consta de dos bandas transportadoras, un sistema de trituración de cuchillas triangular, 3 actuadores rotativos, 2 alarmas y la estructura que soporta la máquina.

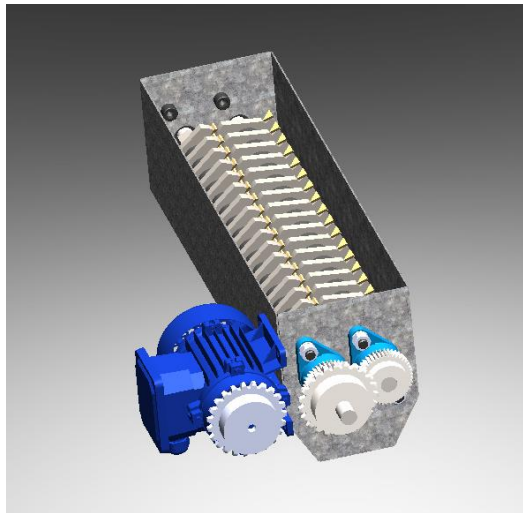
Figura 58. Porta cuchillas



Sistema de trituración. El sistema cuenta con una tolva de suministro donde van instaladas cuatro chumaceras o porta rodamientos, por su puesto, cuatro rodamientos y dos ejes donde están inscritos los porta cuchillas (Figura 58) de disco triangular que giran en sentido contrario uno respecto al otro gracias al mecanismo

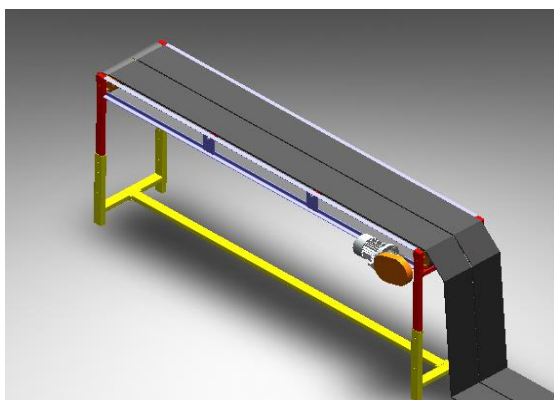
de transmisión de potencia que consta de dos engranajes y una transmisión por cadena. La fuente de poder es un motor eléctrico donde va conectado el piñón conductor de la transmisión de cadena. Todo el ensamble en detalle se puede observar en la Figura 59.

Figura 59. Ensamblaje sistema de trituración



Banda transportadora. El instrumento de transporte de esta planta son 2 bandas transportadoras encargadas de mover tanto la materia prima por medio de una banda superior y el producto o resultado de la trituración con una banda inferior ya que el triturado cae por gravitación. Para el movimiento de la banda, se modela un motor eléctrico que hace girar un cilindro para transmitir este giro a la banda. La estructura o soporte de este mecanismo de transporte es muy sencilla, como se observa en la Figura 60.

Figura 60. Banda transportadora



Sensores y actuadores. A condición de las entradas y salidas requeridas para el sistema, encontramos 5 variables lógicas de entrada distribuidas así: un pulsador de marcha o parada del sistema, tres relés térmicos para evitar sobresaltos energéticos que afecten directamente a cada motor y un relé de sobrecarga en el motor del sistema de trituración en caso tal que la banda inferior se atasque o por alguna razón haya sobrecupo de cajas en el sistema que alteren el buen funcionamiento del sistema.

Tabla 1. Entradas y salidas de la planta trituradora.

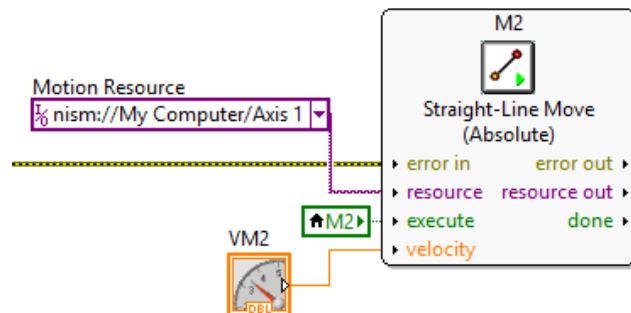
Entradas	Interruptor de marcha	M
	Relé térmico M1	RT1
	Relé térmico M2	RT2
	Relé térmico M3	RT3
	Relé de sobrecarga M2	R1
Salidas	Contactador motor M1	KM1
	Contactador motor M2	KM2
	Contactador motor M3	KM3
	Alarma	AL

La emulación de las entradas no se representa o modela en el archivo CAD de la planta. El modelado tuvo como objetivo exclusivo mostrar el movimiento de las

bandas y el proceso de trituración. Por tal razón, la emulación se llevó a cabo en el panel HMI de LabVIEW donde los relés y el interruptor son simplemente botones gráficamente dispuestos y programados con la favorabilidad de ser variables booleanas. En la sección “HMI” de este libro se explica con detalle la programación de las entradas.

La energía que reciben los motores depende de dispositivos de paso energético previos llamados preactuadores. Un contactor al igual que todas las variables dispuestas solo tiene dos valores posibles, un valor de 1 (paso de energía) o un valor 0 (obstrucción energética), así la emulación recae no tan solo en los motores si no en los preactuadores que posibilitan esta activación de las salidas.

Figura 61. Bloque de emulación Motor del sistema de trituración.



Es importante relatar una breve explicación del paso de la señal desde la activación de la entrada hasta el giro del motor. Esto es posible cuando el botón del panel se activa y manda una señal a la variable creada en el TIA Portal que se exporta para ser usada en la función lógica respectiva programada en LabVIEW. De allí, son activadas la(s) salida(s) asociada(s) a la función programada en el TIA Portal por el diseñador de automatismos. Luego, estas variables son tomadas de la misma manera que las entradas para generar el tratamiento emulativo de los actuadores programados con el bloque de movimiento “Straight Light Move” de SolidWorks en

el caso de los motores incitado por los contactores pertenecientes y el parpadeo del led de aviso de emergencia excitado por la salida “AL” (Ver tabla 2).

Figura 62. Actuador rotativo

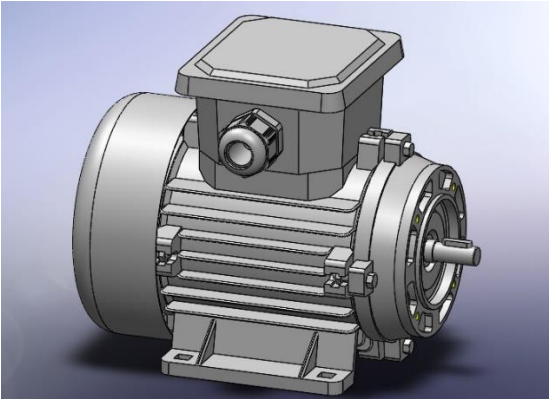
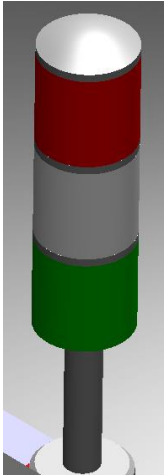


Figura 63. Alarma



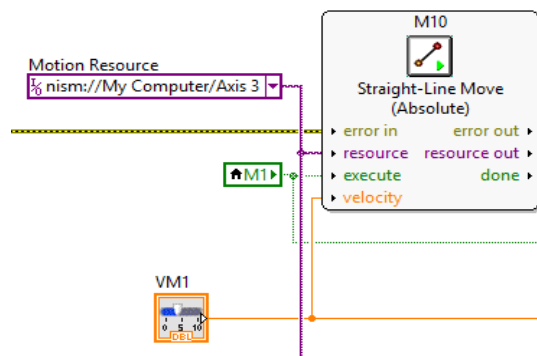
3.3.2. Parte control.

3.3.2.1. Autómata programable para el control. El controlador será físicamente el mismo para todos los bancos de pruebas. Un PLC es un SIEMENS s7-200 o s7-300 programado en el TIA Portal, un software hecho exclusivamente para controladores Siemens.

3.3.2.2. HMI. El panel de interacción hombre máquina fue diseñado en base a las entradas y salidas que debía tener el automatismo. Esta interfaz cuenta con 5 interruptores que simulan los relés de protección de sobrecarga y térmicos junto con el botón de marcha respectivo. De igual manera, para controlar la velocidad de los motores de las bandas y los cilindros de martillo se programaron velocímetros cuyo efecto se observará en el modelo CAD correspondiente.

En la Figura 64 se observa el bloque de programación de LabVIEW para el control cinemático de los mecanismos modelados donde el control se rige exclusivamente hacia la velocidad de las cajas puestas en la banda de transporte.

Figura 64. Bloque de movimiento para la banda superior.



Cuando se simula un fallo por medio de un interruptor, debe detenerse la producción de manera súbita, condicionada obviamente por las funciones lógicas que tenga el

automatismo. Para emular este estado o modo de parada se usa el bloque “Stop” que se observa en la Figura 65 activado y asociado con la variable lógica respectiva donde todo en conjunto con el bloque de movimiento (Figura 66) emulan la conexión cableada que se realizaría cuando la planta de producción es físicamente real.

Figura 65. Bloque de parada de movimiento.

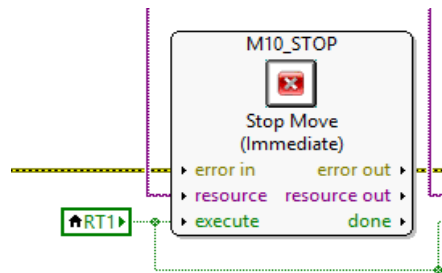
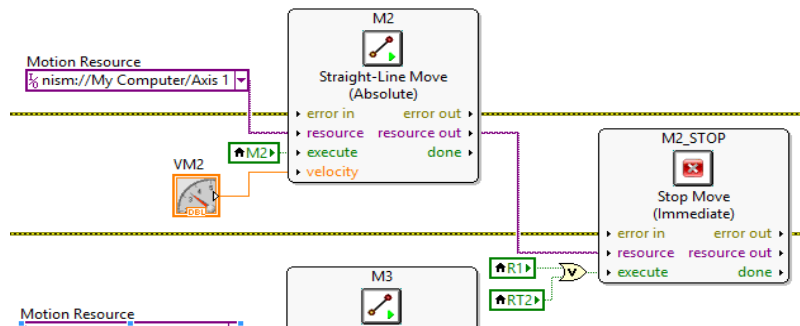


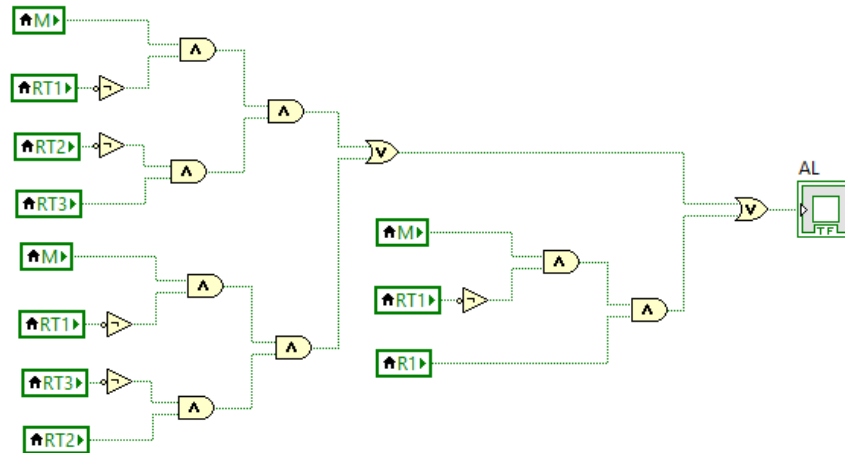
Figura 66. Condicionamiento del estado de las variables de entrada.



Cuando se presenta una falla en el automatismo combinacional el panel de manejo da un aviso de salida para aquel operario que este pendiente de la planta. La interfaz creada para este bloque cuenta con leds que se activan cuando existe un problema en los relés y en el motor de la banda inferior, simulando así una alarma de advertencia. La alarma es la salida de más importancia para este sistema porque advierte de un daño en el motor de la banda inferior que puede ocasionar un

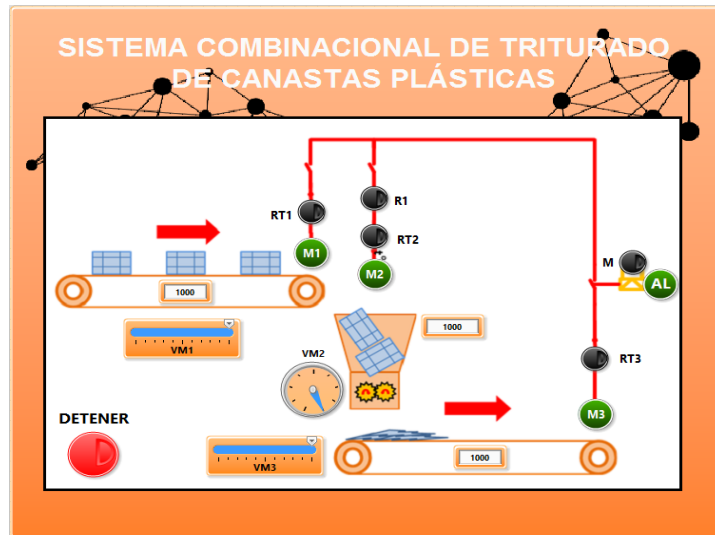
atascamiento de material y crear un caos en el sistema. La Figura 67 muestra la programación realizada en LabVIEW que representa la función booleana de la activación de la alarma.

Figura 67. Representación de la función lógica de la alarma.



Adicionalmente, en la interfaz se encuentra un botón de emergencia cuando se requiere parar todo el sistema sin necesidad de tener en cuenta en estado se encuentran las variables lógicas de entrada y de salida. Todo proceso industrial debe tener este paro por motivos de seguridad. Los demás detalles se crearon para darle un realismo más claro de todos los componentes que conforman el sistema de trituración de cajas.

Figura 68. Panel de control o HMI del banco de trituración.

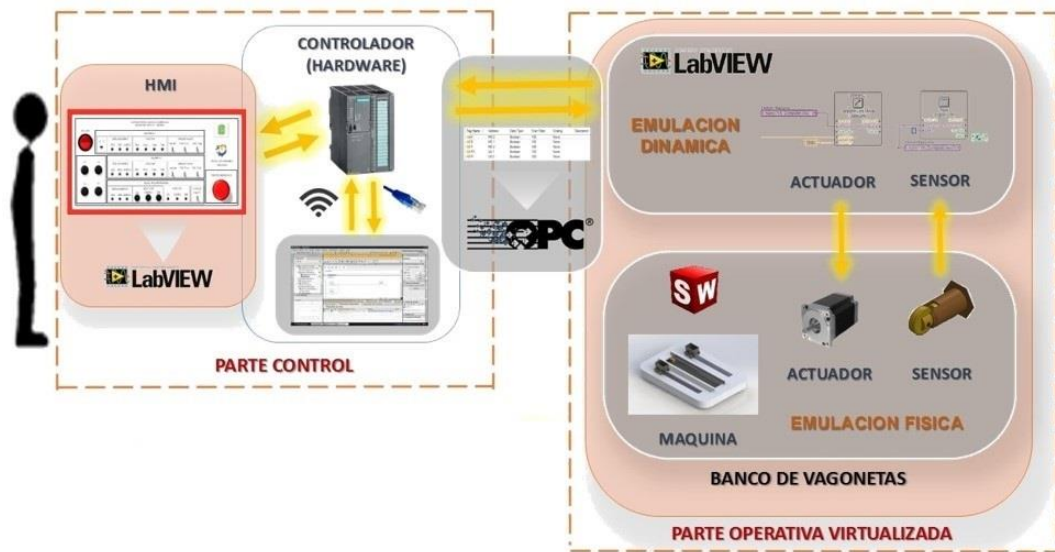


3.4. Bloque 3. Diseño de automatismos lógicos secuenciales. Vagonetas

El banco usado para el diseño de automatismos lógicos secuenciales cuenta con dos vagonetas de carga y una banda transportadora. Cuando se modela cualquier elemento en SolidWorks, el realismo basado en el detalle es parte importante para la comprensión del automatismo. En el caso del “Banco de Vagonetas” se efectuó la recuperación de información de las dimensiones que se obtuvieron de un previo diseño⁹ para modelar elementos con proporciones razonables. Cabe decir que no se siguió al pie del cálculo la configuración del banco, muchas de sus partes se crearon de manera sencilla sin dejar a un lado la racionalidad mecánica de los elementos.

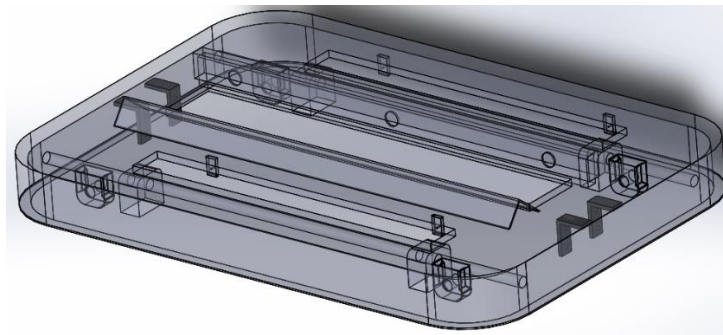
Figura 69. Virtualización banco de vagonetas.

⁹ MARTIN O., SIERRA A., *Objeto de aprendizaje para el diseño de automatismos lógicos secuenciales basado en GRAFCET. Diseño y construcción.* Escuela de Ingeniería Mecánica. Universidad Industrial de Santander.



3.4.1. Parte operativa.

Figura 70. Modelo estructura del banco de vagonetas



Fuente: Objetos de aprendizaje para el diseño de automatismo lógicos secuenciales basados en Grafcet. Diseño y construcción.

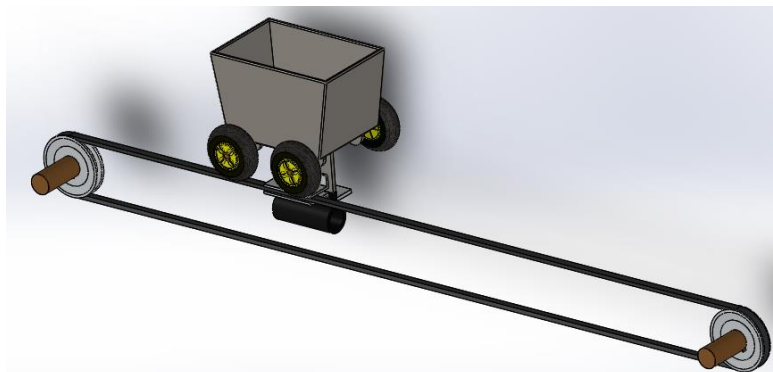
Estructura. Haciendo una recuperación de las medidas fabricadas para el banco de vagonetas real, se construye la estructura en el software modelamiento SolidWorks. Así, se constituye por una cobertura en aluminio, al igual que dos tubos guía para las vagonetas del mismo material. Por último, la estructura incluye

soportes tanto para los finales de carrera como para los tambores de la banda transportadora. A continuación se aprecia el ensamble las partes descritas. En general, ocupa un volumen con dimensiones de 790 mm X 550 mm X 70 mm.

Sistema de guías y movimiento de las vagonetas. El sistema de guías consta de una banda en V. Entre un par de placas, irá ajustada esta banda que a su vez se moverá gracias al accionamiento de dos poleas, aunque virtualmente estas no incurrirán directamente en el movimiento, como se verá más adelante, el motor de SolidWorks irá puesto en alguna superficie de la vagoneta. El buje que se encuentra de color negro en la Figura 6, estará ensamblado en los tubos de la estructura general como piloto del desplazamiento que debe efectuar la vagoneta.

Las vagonetas poseen una forma trapezoidal con las siguientes dimensiones: en la base 80 mm X 40 mm; en la parte superior 65 mm X 100 mm; con una altura de 60 mm, además de una placa donde ira solidario el buje de 40 mm X 47 mm.

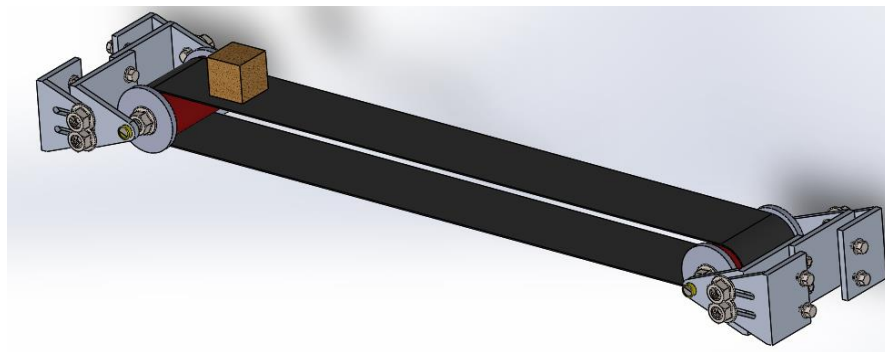
Figura 71. Vagoneta con su sistema de guía.



Fuente: Objeto de aprendizaje para el diseño de automatismos lógicos secuenciales basado en graficet, diseño y construcción

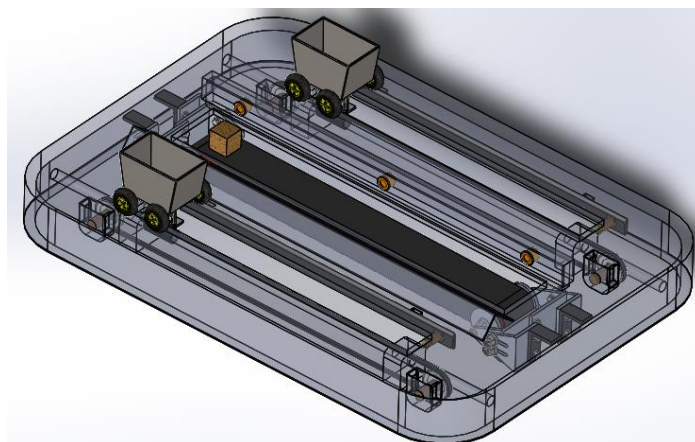
Banda transportadora. Esta banda consta de dos cilindros rotativos en los cuales una banda se ajusta para transmitir el movimiento de los cilindros a la banda. El nivel de presión que ejerce la banda sobre los tambores es graduado por medio de un sistema de tensión que a su vez sirve de soporte para los tambores. El resultado del modelado se muestra en la Figura 7.

Figura 72. Banda transportadora



Fuente: Objeto de aprendizaje para el diseño de automatismos lógicos secuenciales basado en grafset, diseño y construcción.

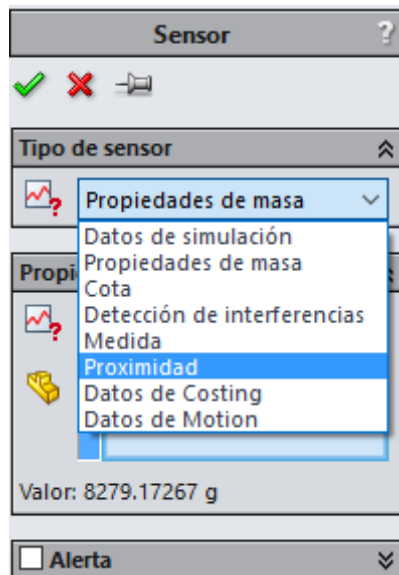
Figura 73. Banco de Vagonetas.



Fuente: Objeto de aprendizaje para el diseño de automatismos lógicos secuenciales basado en grafset, diseño y construcción.

Finales de carrera y sensores. El siguiente paso finalizado el modelamiento y ensamble del banco de vagonetas, fue la emulación de las entradas y salidas necesarias para ejercer el control sobre el automatismo. Se crearon 4 finales de carrera y dos sensores de proximidad por medio de la herramienta **Sensores** ubicada en el *FeatureManager* de *SolidWorks* (Figura 68), tal como en los dos bloques anteriores.

Figura 74. Creación de sensores Banco vagonetas



Fuente: *SolidWorks*


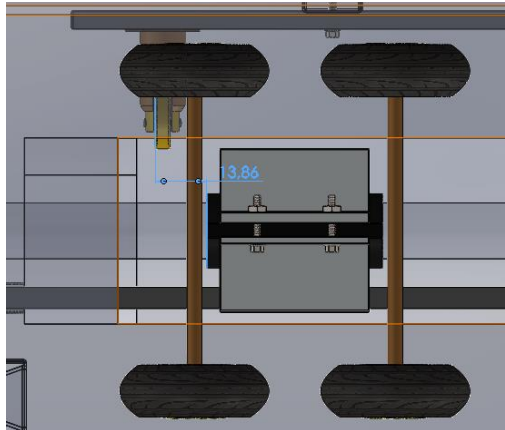
La herramienta **Sensores** tiene un menú de opciones para crear diferentes tipos de sensores. Los finales de carrera y sensores inductivos pueden ser emulados por dos opciones: **Proximidad** o **Cota** (Ver figura). En este caso se usó solamente la opción de **Cota**, la cual se implanta colocando una cota con la herramienta **Cota Inteligente** . Pinchando en esta opción, se seleccionaron dos caras o superficies como se muestra en la Figura.

Figura 75. Posicionamiento de una cota en el banco de vagonetas.




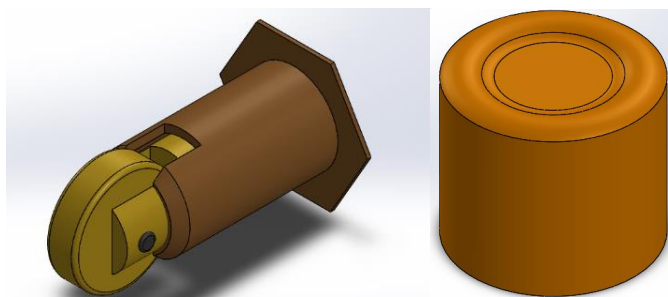
Luego de verificar la creación de la cota, se procedió a realizar la misma configuración del sensor como en los anteriores bancos. El valor de la cota impuesto para generar una alerta  en cada sensor fue a consideración del creador. El resultado se presenta en la Figura. Allí se observan 6 sensores, 4 que emularon los finales de carrera y los otros dos los sensores inductivos.

Figura 76. Final de carrera (izquierda) - Sensor inductivo (derecha)



Fuente: Fuente: Objeto de aprendizaje para el diseño de automatismos lógicos secuenciales basado en grafset, diseño y construcción.


Creación del estudio de movimiento. Motores o actuadores. Antes de empezar a configurar el estudio de movimiento de las vagonetas, fue necesario corroborar nuevamente si los complementos **Simulation** y **Motion**, están activados. Como se explicó anteriormente debe dirigirse al icono de **Opciones** . Allí, pudo encontrarse la opción “Complementos”. Al dar clic en esta opción aparecerá una ventana donde pudo observarse los diferentes complementos de este software, verificando si las requeridas para el estudio de movimiento estaban activas.

Figura 77. Opción "Complementos"

Complementos		
Complementos activos	Iniciar	Última hora de carga
Complementos de SOLIDWORKS Premium		
<input type="checkbox"/> CircuitWorks	<input type="checkbox"/>	--
<input type="checkbox"/> FeatureWorks	<input type="checkbox"/>	< 1s
<input type="checkbox"/> PhotoView 360	<input type="checkbox"/>	--
<input type="checkbox"/> ScanTo3D	<input type="checkbox"/>	--
<input type="checkbox"/> SOLIDWORKS Design Checker	<input type="checkbox"/>	< 1s
<input checked="" type="checkbox"/> SOLIDWORKS Motion	<input checked="" type="checkbox"/>	< 1s
<input type="checkbox"/> SOLIDWORKS Routing	<input type="checkbox"/>	--
<input checked="" type="checkbox"/> SOLIDWORKS Simulation	<input checked="" type="checkbox"/>	< 1s
<input type="checkbox"/> SOLIDWORKS Toolbox	<input type="checkbox"/>	--
<input type="checkbox"/> SOLIDWORKS Toolbox Browser	<input type="checkbox"/>	--
<input type="checkbox"/> SOLIDWORKS Utilities	<input type="checkbox"/>	< 1s
<input type="checkbox"/> SOLIDWORKS Workgroup PDM 2015	<input type="checkbox"/>	--
<input type="checkbox"/> TolAnalyst	<input type="checkbox"/>	--
Complementos de SOLIDWORKS		
<input type="checkbox"/> Autotrace	<input type="checkbox"/>	--
<input checked="" type="checkbox"/> SOLIDWORKS Composer	<input checked="" type="checkbox"/>	< 1s
<input checked="" type="checkbox"/> SOLIDWORKS Forum 2015	<input checked="" type="checkbox"/>	< 1s
Otros complementos		
<input type="checkbox"/> SOLIDWORKS XPS Driver 2015	<input type="checkbox"/>	--

Fuente: *SolidWorks*.


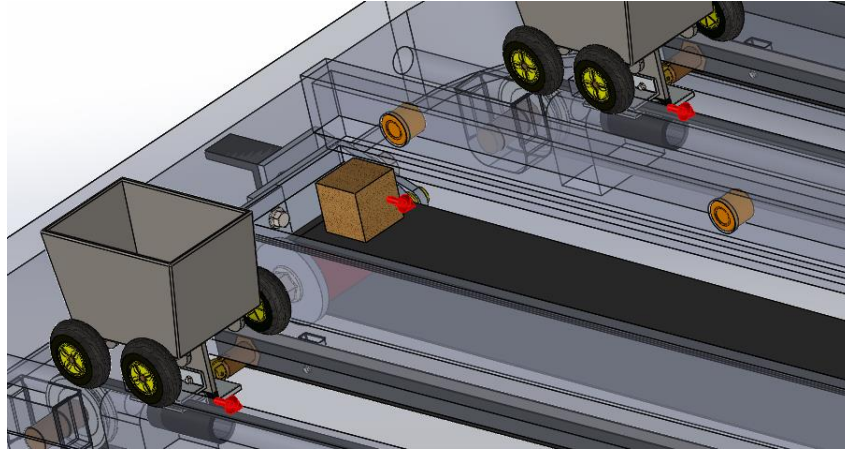
Como último paso, llevamos a cabo los mismos pasos realizados en el primer bloque para la disposición de los motores . La ubicación de los motores se puede observar en la Figura. Por otra parte, los motores de las vagonetas debieron tener una distancia de 420 mm y el bloque de la banda transportadora se creó con una distancia de 495 mm de recorrido.

Figura 78. Posicionamiento de motores para el análisis de movimiento.



Tratamiento de señales. Configuración de LabVIEW. Para la adquisición de competencias en el diseño de los automatismos lógicos secuenciales, se planteó desarrollar 4 ejercicios con diferente base lógica, por tanto, se crearon 4 diferentes archivos para el tratamiento de señales en LabVIEW ya que cada uno contiene la lógica respectiva del ejercicio. Claro está, la parte operativa será para todos, el mismo archivo de SolidWorks.

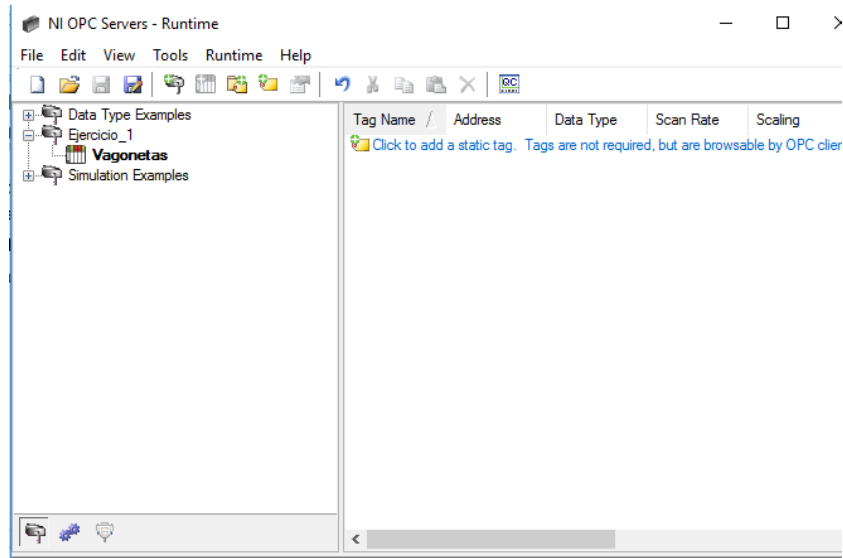
La Tabla 1 muestra las entradas y salidas que posee el automatismo de las vagonetas. La configuración en cada uno de los archivos de LabVIEW tendrá de base esta tabla y el procedimiento será muy parecido al que se efectúa en el primer y segundo bloque. Las señales booleanas se generan desde el PLC según la codificación de la lógica del automatismo. Para que causen efecto sobre el tratamiento que se programa en LabVIEW, previamente se realizó la configuración del cliente-servidor para compartir las variables creadas en el TIA Portal.

Tabla 2. Entradas y salidas que coincidan con la programación de las secuencias bajo la metodología GRAFCET

ENTRADAS	Pulsadores para el movimiento de las vagonetas	P1
		P2
		P3
		P4
	Pulsadores para la banda transportadora	IZQ
		CENTRO
		DER
	Finales de carrera de las vagonetas	FCI1
		FCD1
		FCI2
		FCD2
	Sensores inductivos de la banda transportadora	S1
S2		
S3		
SALIDAS	Motores de salida de las vagonetas	V1I
		V1D
		V2I
		V2D
	Motores de salida para la banda transportadora	BI
		BD

Configuración OPC. Crear un vínculo entre el PLC y el software de LabVIEW destaca su importancia para el intercambio de información acerca de las variables manejadas. Para ello, se creó un canal de comunicación tal como en los otros bloques por medio del servicio **OPC Administration**. Siguiendo al pie los mismos pasos, se obtuvo un canal como el que se encuentra en la Figura 79.

Figura 79. Panel principal del software OPC.



Autores: NI OPC Servers.

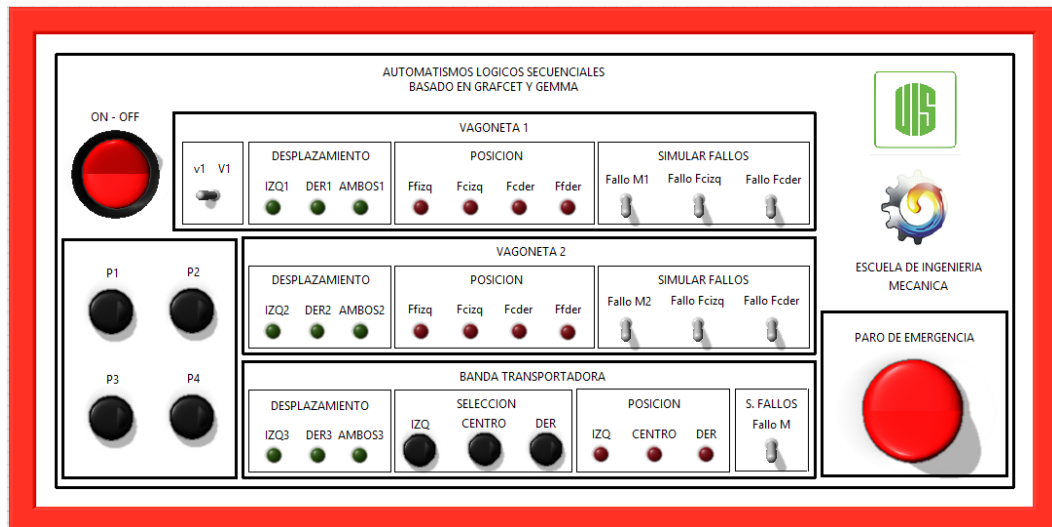
Como ejemplo, en la imagen se observa las variables usadas uno de los ejercicios que se pueden ejecutar en el banco de vagonetas. Creado el canal, se culminó con la programación de LabVIEW, cuyo resultado se plantea en la Figura. La parte operativa del objeto de aprendizaje basado en el banco de vagonetas ha culminado. Se da paso al control.

3.4.2 Parte control.

3.4.2.1. Autómata programable o PLC. El controlador será físicamente el mismo para todos los bancos de pruebas. Un PLC es un SIEMENS s7-200 o s7-300 programado en el TIA Portal, un software hecho exclusivamente para controladores Siemens.

3.4.2.2. HMI. En los objetos de aprendizaje de las vagonetas, encontramos que los fallos se pueden presentar en los motores que manejan la banda transportadora y las vagonetas 1 y 2. A su vez, se pueden encontrar fallos en los finales de carrera de cada vagoneta, al igual que en los sensores de proximidad que posee la estación de la banda a un costado de esta. En la figura 7 encontramos el panel de mando desarrollado en LabVIEW donde se especifica claramente cada una de las partes del HMI correspondiente al banco de vagonetas. Este es el más completo y complicado entre los objetos de aprendizaje desarrollados en el presente proyecto.

Figura 80. HMI virtualizado del banco de Vagonetas



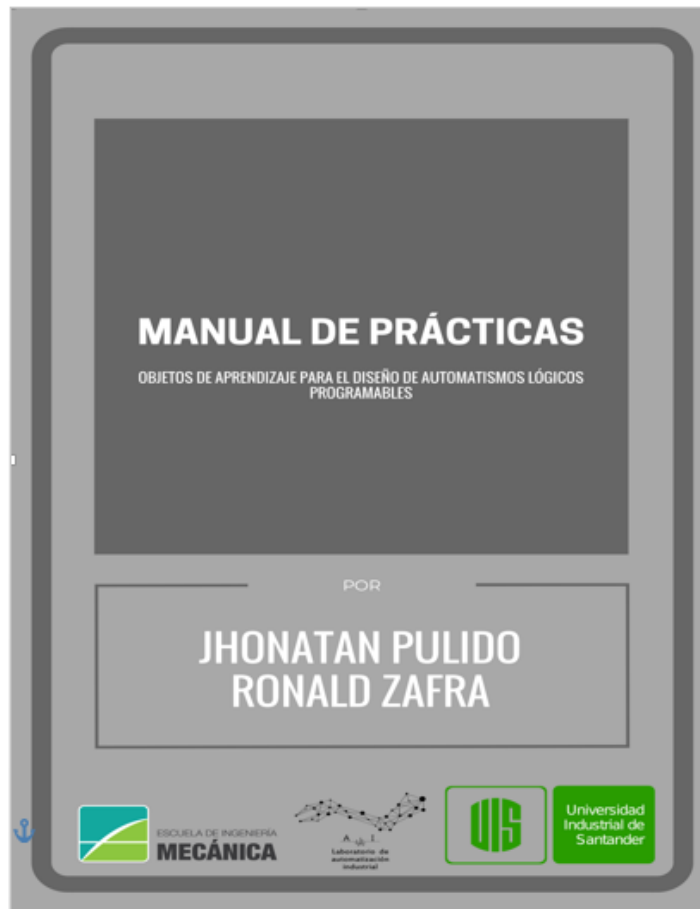
Fuente: Objeto de aprendizaje para el diseño de automatismos lógicos secuenciales basado en grafcet, diseño y construcción.

3.5. Manual de prácticas.

Como complementación de los objetos de aprendizaje fue escrito dos documentos de apoyo para profesores, laboratoristas y practicantes, en donde se plantean varias prácticas encaminadas al diseño de automatismos lógicos programables. El primero

para los estudiantes, donde encontrarán las prácticas divididas en tres bloques que van desde el reconocimiento de programas y ensamble de todo el sistema automatizado hasta el diseño de automatismos lógicos secuenciales. Este manual está escrito bajo una estructura diseñada para que el laboratorista pueda monitorear óptimamente el trabajo que el estudiante vaya a realizar antes, durante y después de todas las prácticas sustentadas.

Figura 81. Portada del manual de prácticas.



La estructura mencionada se compone de los siguientes tópicos para el manejo “paso a paso” de cada laboratorio:

1. Título de la práctica. Se establece el nombre que recibirá la práctica.
2. Descripción de la práctica. Explica de manera general lo que se desea realizar en ese laboratorio junto con algunas condiciones y necesidades de importancia que lo particularizan, además de las características principales del sistema automatizado.
3. Objetivos. Delimitan el alcance de cada práctica. Menciona la finalidad de las actividades presentadas en el procedimiento de las diferentes prácticas.
4. Implementos y herramientas. Este ítem contiene una lista de los dispositivos electrónicos y los programas necesarios para llevar a cabo la práctica.
5. Procedimiento. Están plasmados, literalmente, todos los pasos a ejecutar de manera secuencial, con imágenes explícitas de los resultados que se deben ir generando a medida que el estudiante avance en la ejecución de la práctica.
6. Evaluación de la práctica. Aquí se proponen algunas preguntas que el auxiliar del laboratorio o profesor puede realizar a todos los estudiantes que hayan realizado la práctica con el fin de asegurar o fortalecer los conocimientos adquiridos en el laboratorio.

Tanto las soluciones de los automatismos lógicos, videos de apoyo, planos de los pistones y todos los archivos asociados al desarrollo de las prácticas se encuentran en una carpeta en el disco local (F:) del computador de este proyecto o en una carpeta de Google Drive. Para consultar estos archivos, se usaron hipervínculos interactivos a lo largo de todo el manual, por ejemplo, en la Figura 82 se observa el Logo de *Youtube* y Google Drive. Al pulsar en el Logo de *Youtube*, redirigirán al

estudiante al canal de *Youtube* “VRM UIS”¹⁰ para que el estudiante use los videos como soporte para el desarrollo de sus prácticas y, por su parte, el enlace de Google Drive los llevará a los archivos que contienen las maquinas virtualizadas de *SolidWorks* y los archivos de la emulación en *LabVIEW*.

Figura 82. Hipervínculos interactivos redirigidos a Google Drive y Youtube.

https://drive.google.com/open?id=0Bw_Kt96lvURESgtoX1JUQVd2aTg



Además, el material de multimedia se puede encontrar en el canal de YouTube:
https://www.youtube.com/channel/UCLC_xrQ9dMo19I910cagPYg



3.5.1. Prácticas. En el manual se encuentran un total de 10 prácticas divididas en los tres bloques. El primero conlleva la virtualización, conexión y programación de un sistema automatizado de tres pistones hidráulicos. Para ello, se trazaron 4 prácticas¹¹:

¹⁰ Para ver el canal, diríjase al siguiente enlace:

https://www.youtube.com/channel/UCLC_xrQ9dMo19I910cagPYg

¹¹ Ver Manual de prácticas, sección: Bloque de virtualización y conexión de un sistema automatizado. Capítulo: 1.4. Procedimiento

- Práctica I. Título de la práctica. “Conexión modelo CAD con LabView”
- Práctica II. Título de la práctica. “Conexión del cilindro y el controlador PLC S7-300”.
- Práctica III. Título de la práctica. “Secuencia de con 3 cilindros hidráulicos”
- Práctica IV. Título de la práctica. “Conexión modelo Secuencia con el PLC”

El bloque 2 es exclusivo del diseño de automatismos lógicos combinacionales, por tanto, se presentan 2 problemas de diseño y programación de los mapas de Karnaugh para un sistema de trituración de cajas¹²:

- Práctica I. Título de la práctica. “Diseño de un automatismo lógico combinacional sin inclusión del PLC”
- Práctica II. Título de la práctica. “Comunicación del automatismo lógico combinacional (trituradora) con el PLC”

Finalizando, se encuentra el bloque para el diseño y programación de automatismos lógicos secuenciales puestos a prueba sobre el banco de vagonetas. Cada problema se diferencia una de otra por la lógica de las secuencialidades a automatizar en el banco. Los nombres de cada práctica argumentan esta diferenciación¹³:

- Práctica I. Título de la práctica. “Accionamiento independiente de dos vagonetas”.

¹² Ver Manual de prácticas, sección: Bloque de aprendizaje para el diseño de automatismos lógicos combinacionales. Capítulo: 2.5. Procedimiento

¹³ Ver Manual de prácticas, sección: Bloque de aprendizaje para el diseño de automatismos lógicos secuenciales. Capítulo: 3.5. Procedimiento

- Práctica II. Título de la práctica. “Sincronización de partida y regreso independiente de dos vagonetas”.
- Práctica III. Título de la práctica. “Sincronización de partida y regreso de dos vagonetas”.
- Práctica IV. Título de la práctica. “Movimiento de dos vagonetas con la banda transportadora”.

4. CONCLUSIONES

La virtualización de la parte operativa de los tres sistemas automatizados brinda un aporte tecnológico de innovación como modelo a seguir para futuros proyectos de creaciones de máquinas virtuales con una sofisticación, realismo y calidad más notables. Adicionalmente, este proyecto contribuye a un ahorro económico en cuanto al gasto monetario que implicaría el diseño, fabricación y mantenimiento de un banco real y una conservación de espacio con la posibilidad de tener diferentes bancos de pruebas en un mismo computador.

El grupo de investigación perteneciente al laboratorio de automatización de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander, en conjunto con el Centro de Investigación en Mecatrónica Automotriz (CIMA) de la Maestría en Ingeniería Automotriz del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey desarrollaron este proyecto de grado para afianzar el intercambio de conocimientos en asuntos concernientes a la automatización y control industrial, además, a futuro para expandir la evolución de esta alianza en otros campos de investigación ingenieriles ya que se generó un curso de introducción para la realización de Bancos o Máquinas Virtuales en el Tecnológico de Monterrey ubicado en Toluca.

Se implantaron bloques de aprendizaje basados en la emulación, fundamentado en la virtualización de 3 plantas de fabricación. La primera es un sistema de tres pistones hidráulicos con dos finales de carrera cada uno, seguido se creó una planta de trituración de cajas recicladas y por último un banco de vagonetas con banda transportadora incorporada. De igual manera, se elaboró un manual de prácticas donde los estudiantes encontrarán problemas que perfeccionarán sus habilidades

frente al diseño de automatismos lógicos, poniéndolos a prueba sobre las plantas virtualizadas.

Con la ejecución de este proyecto, se logró aportar al laboratorio de automatización industrial y a la Escuela de Ingeniería Mecánica, un conjunto de bloques de aprendizaje constituido por tres sistemas automatizados y un manual de prácticas, para fortalecer y consolidar las competencias necesarias para el diseño de automatismos lógicos programables.

5. RECOMENDACIONES

Los objetos de aprendizaje de este proyecto, específicamente, los bancos de pruebas virtuales, fueron creados para el desarrollo de competencias en automatismos lógicos secuenciales, aunque, se recomienda seguir incursionando en la virtualización de plantas de prueba con otro tipo de aplicaciones de automatización industrial, tales como procesos continuos o cuasicontinuos, con el propósito de crear estudiantes con un mayor grado de capacidades en el tema de automatización de procesos industriales.

La velocidad de transmisión de las señales virtuales en la lectura o respuesta hacia los sistemas emulados es un factor determinado por el nivel de procesamiento de la computadora. Las plantas creadas en este proyecto son, en cuanto a simultaneidad de procesos, de complejidad baja y media, por tanto, la velocidad de procesamiento de la computadora no debe ser tan alta. Aunque, para este proyecto se encontraron muchos problemas sobre este ítem, debido a que los programas implementados, usan niveles de procesamiento y una RAM tal que ralentizan la dinámica de los mecanismos. En conclusión, es recomendable el uso de computadoras más robustas que permitan un realismo más pronunciado en las máquinas y a su vez, en un futuro, la creación de bancos de pruebas cuya lógica de automatización sea más compleja.

Las variables para la programación de automatismos son booleanas. Si se plantean proyectos para otras aplicaciones de control, se recomienda usar el lenguaje de programación SQL para el manejo de variables continuas (tipo int, char, etc).

Cuando el usuario desee diseñar un automatismo y ponerlos a prueba sobre los sistemas virtualizados, se recomienda el uso del manual de prácticas pertenecientes a estos objetos de aprendizaje, donde se encuentran ejercicios de práctica sugeridos que pueden fortalecer en gran medida las competencias sobre el diseño de automatismos lógicos.

BIBLIOGRAFIA

BALCELLS, Josep; ROMERAL, José. Autómatas programables, Cap. 2, Marcombo S.A., Barcelona, 1997

CARRO SUAREZ, Jorge, FLORES NAVA, Irma y FLORES SALAZAR, Fabiola. Simulación y control de un sistema mecatrónico aplicando diseño asistido por computadora. Tepeyanco, Tlaxcala: Universidad Politécnica de Tlaxcala. 2013.

HERNANDEZ, Laura. LabVIEW y SolidWorks ® para Integrar Sistemas de Movimiento. Ciudad de México: National Instruments de México.

JUAREZ RAMIRO, Luis; ALVAREZ TREJO, Alvino; HERNANDEZ GARCIA, Edgar y VERGARA BETANCOURT, Ángel. Comunicación OPC para Monitoreo de datos analógicos en tiempo real (PLC300-KepserverEx-LabView). Puebla: Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla. 2011. OPC-LabVIEW.

LUNA JIMENEZ, Cuauhtémoc Vladimir. Diseño e implementación de un prototipo virtual de una mesa de coordenadas. Ciudad de México: Universidad Nacional - Autónoma de México. p. 70-89.

LUTHER, Erik. LabVIEW 3D control simulation using SolidWorks 3D models. OpenStax-CNX. 2009.

MANDADO, Enrique; MARCOS, Jorge; FERNANDEZ, Celso y ARMESTO, José. Autómatas programables y sistemas de automatización, vol. 2, Cap. 1, Alfaomega Grupo Editor. México. 2009.

OPC: Un estándar en las redes industriales y buses de campo. 2009.

PASCUAL, Fernando y PEREZ, Moisés. Tudela, España: Centro Integrado Politécnico "ETI".

SIERRA BUENO, Jose Antonio y MARTIN MORENO, Cristian Orlando. Objeto de aprendizaje para el diseño de automatismos lógicos secuenciales basado en GRAFCET, diseño y construcción. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. 2011.

VALLEJO GUEVARA, Antonio Jr. y MACIAS GARCIA, Manuel E. Compendio de innovación educativa 2012. Laboratorio de automatizaciones y redes industriales. Torreón: Tecnológico de Monterrey. 2012.

ANEXOS

Anexo A. Automatismos Lógicos¹⁴.

Se denominan automatismos lógicos a los automatismos cuyas variables de entrada y de salida solo poseen dos estados diferenciados, “ON” y “OFF”, consideradas como variables lógicas o booleanas. La naturaleza de estas variables es discreta y binaria por lo que los dispositivos de entrada y salida que se asocian son elementos tales como leds, interruptores, relés, contactores, etc.

Anexo B. Automatismos lógicos Combinacionales.

Un automatismo combinacional es aquel cuyas salidas asociadas dependen única y exclusivamente del estado de las entradas. Esto quiere decir que el resultado es independiente del estado inicial de partida. Las funciones de transferencia son simplemente funciones lógicas que combinan los operadores binarios comunes: “Y”, “O” y “NO” relacionando las entradas y las salidas con combinaciones de estos operadores. El nombre de combinacional se deriva del hecho que las variables de salida dependen de la combinación de las variables de entrada que se aplique.

¹⁴ MANDADO, Enrique; MARCOS, Jorge; FERNANDEZ, Celso y ARMESTO, José. Autómatas programables y sistemas de automatización, vol. 2, Cap. 1, Alfaomega Grupo Editor. México. 2009.

Anexo C. Automatismos lógicos Secuenciales.

Por otro lado, los automatismos secuenciales son aquellos cuyas salidas dependen del estado de sus entradas y del estado inicial de partida considerando que cualquier estado posible del automatismo se puede considerar como estado inicial otorgando a estos automatismos la característica de memorizar todos los estados posibles los cuales se memorizan gracias a la existencia de variables internas llamadas variables de estado. Se denomina secuenciales debido a que las variables de salida son condicionadas por los estados de las variables de entrada y la secuencia anterior de estado de dichas entradas.

Los sistemas secuenciales se pueden entender de dos maneras razonables. Por un lado, estructuralmente podría decirse que los sistemas secuenciales son una reunión de bloques combinacionales con un aditivo, una variable interna que vuelve a introducirse como una de entrada; Por otro lado, un enfoque matemático plantea que las funciones de un sistema secuencial siguen siendo lógicas pero con la implementación de variables que memorizan la evolución de los estados del sistema, por tanto, además de las variables booleanas básicas, existe una llamada "Memoria". En la automatización es normal encontrar los términos de SET y RESET que indican la acción de memorización para el automatismo donde SET indica la memorización 1 y RESET memorización 0.

Anexo D. Definición de GRAFCET y GEMMA¹⁵.

¹⁵ BALCELLS, Josep. ROMERAL, José. Autómatas programables. Barcelona. Marcombo S.A, 1997. p.18.

Previo a la programación de la lógica contemplada en el automatismo lógico, es recomendable el uso de un método gráfico para la modelación de los estados o eventos discretos de la secuencialidad de un proceso automatizado. Los eventos discretos son los posibles estados secuenciales que puede llegar a tener un sistema dinámico y cuyo paso de uno a otro estado depende de condiciones o variables lógicas. El Grafcet, es un grafo para el modelado de eventos discretos que permite representar la evolución de los estados por medio de la unión de dos tipos de nodos: Las etapas y las transiciones. Las características principales en la arquitectura de un GRAFCET son:

- Una etapa siempre está unida a una transición y viceversa. No pueden estar unidas dos nodos del mismo tipo.
- Solamente una etapa puede estar marcada en un instante de tiempo, a excepción de que exista simultaneidad en alguna parte de la ejecución de la secuencia de un proceso. Con marcaje se hace referencia a que la etapa este activa o no.
- Cada etapa lleva asociada una acción. A su vez estas acciones pueden contener condiciones o receptividades. El conjunto de etapas activas define el estado del proceso.
- Para pasar de una etapa a otra, debe estar activa la etapa inmediatamente anterior y se deberá cumplir con la condición asociada a la transición que permitirá el avance hacia la etapa en cuestión.
- Como característica especial encontramos que este método grafico de representación tiene la posibilidad de bifurcar varias etapas, ya sea en

disyunción o conjunción, útil para evidenciar un sistema en simultaneidad o alternación.

Un proceso productivo automatizado, de manera ideal, funcionaría continuamente desarrollando todas las etapas creadas en el GRAFCET del automatismo. La probabilidad de que ocurran acciones imprevistas en un automatismo que sean causantes del fallo o parada de un sistema e interrumpen el modo automático de una planta no son concebidas en un GRAFCET. Por tal razón, las mismas asociaciones que crearon este sistema gráfico, desarrollaron una metodología que previera cualquier tipo de fallo que afectase el automatismo dando como consecuencia la consideración absoluta de todos los estados posibles del automatismo y de esta manera encargarse de la seguridad operacional y la máxima disponibilidad del mismo. La metodología GEMMA (Guía de estudio y modos de marcha y paradas) es una representación organizada de todos los modos o estados posibles de marcha o parada que puede tener un proceso de producción automatizado orientando con claridad acerca de las transiciones de un estado a otro.

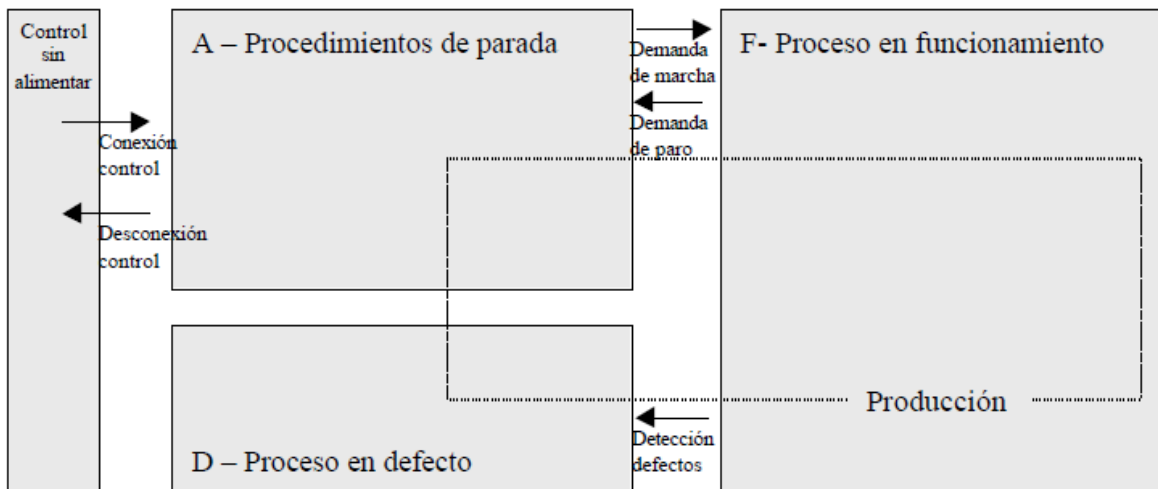
Se dice que un sistema de producción automatizado tiene 5 situaciones en las que se puede encontrar produciendo o no. Estas son:

- Control sin alimentar.
- En funcionamiento. Quiere decir que la planta de producción está desarrollando su tarea al 100% sin ningún percance. Se infiere que se encuentra en proceso de producción.
- Parado. Cuando la condición del sistema automático o paradas de emergencia provocan la inmovilización total o parcial del automatismo se considera que la planta está en modo de parada.

- Defecto. Aquí puede que la parte operativa este en marcha, pero su producción se considera defectuosa debido a cambios en las variables de producción que provocan alteraciones fuera de las limitantes. Allí el sistema debe solucionar el problema de manera automática, detener la producción o ayudar al operario a encontrar el problema y que el encargado solucione el percance.
- Producción: Esta situación es un plus a las posibilidades en las que se puede encontrar una planta de producción ya que se interioriza en las anteriores posibilidades, pero viéndolo únicamente desde el punto de vista de producción se denota tal cual como en el gráfico presentado en la figura.

De esta manera, en conclusión en combinación de las situaciones, el GEMMA presenta 17 estados diferentes de funcionamiento posible.

Figura 83. Modos de funcionamiento.



Fuente: Modos de marcha y parada. La guía GEMMA

Anexo E. Autómata programable o PLC.

Se define como autómata programable a los sistemas electrónicos con uso masivo en la industria, que contienen una memoria interna programable para el almacenamiento de instrucciones programadas por el usuario con el fin de controlar en tiempo real máquinas o procesos.

Se caracterizan por tener una estructura basada en 3 partes: Una unidad central de procesamiento, una memoria de almacenamiento y módulos de entrada/salida. Por su parte, la unidad central es la encargada de realizar el tratamiento de las señales basado en las instrucciones que se encuentran en la memoria y como resultado envía señales de salida para la activación del módulo de salidas que tiene el autómata, actualmente PLC. La memoria, tiene como función guardar las instrucciones que el usuario programe y a su vez almacenar la información actual de los estados de las entradas y salidas, incluyendo las variables internas. Por último, el módulo de entradas y salidas se encarga de recoger la información de los procesos controlados para que la CPU lo procese y de entregar los resultados al mismo proceso por medio de la activación o no de sus salidas para la variación en tiempo real de la máquina o proceso.

En la actualidad los autómatas más usados son los PLC's, los cuales tienen como función principal el control booleano sobre procesos, aunque también puede, por ejemplo, ser aplicado un control continuo por medio de estos sistemas. Además, tienen todas las características de un autómata mencionadas con anterioridad.

Anexo F. Objetos de aprendizaje.

Un objeto de aprendizaje puede definirse como un conjunto de contenido teórico, actividades, elementos de autoevaluación y contextualización con un propósito de enseñanza-aprendizaje autocontenible.

En busca de innovación en los métodos usados para que los estudiantes comprendan los temas que se expliquen previamente, los objetos de aprendizaje se construyen bajo la utilidad de los innumerables recursos tecnológicos que encontramos en la actualidad. Un software cualquiera, un banco de pruebas, ilustraciones secuenciadas y videos de ejemplificación, constituyen una mínima parte de lo que podría usarse como elementos de un objeto de aprendizaje.

El propósito primordial es que el estudiante logre adquirir competencias y habilidades en temas donde vaya aplicado el objeto de aprendizaje. Al ser autocontenible, aseguramos que todos los componentes internos de los objetos lleven al alumno desde la introducción al tema, siguiendo por los conceptos pertinentes, luego los ejemplos de contextualización, actividades de refuerzo y evaluaciones, finalizando con la adquisición general de conocimientos concerniente al asunto de estudio¹⁶.

Anexo G. Estructura general de un sistema automatizado.

La automatización sobre las aplicaciones industriales, agrícolas, administrativas o científicas de los sistemas que los ejecutan, genera sobre las variables a controlar optimizaciones particulares en sus resultados. Es imprescindible para un ingeniero poseer las cualidades necesarias en el diseño, construcción y ensamblaje de la

¹⁶ Objetos de aprendizaje. Citado 20 de Junio de 2017. Disponible en: <http://aprendeonline.udea.edu.co/lms/men/oac4.html>

lógica de control de las magnitudes implicadas, además, los componentes mecánicos pertenecientes a los subprocesos, específicamente, por ejemplo, tareas de llenado u operaciones de mecanizado más complicadas.

Por tanto, es necesario distinguir y comprender la estructura generalizada de un sistema automatizado. Sin importar su implementación tecnológica, encontramos que se dividen en dos partes bien definidas: Parte operativa y parte de control. (Ver figura 4)

La parte operativa hace referencia a la planta, subproceso o máquina conformada por los diferentes mecanismos que cumplirán con un propósito lógico de fabricación o producción, ya sea el transporte simultáneo de varias piezas, el control de la entrada de aire en los actuadores de una prensa neumática, hasta el movimiento de un aparato dedicado a barnizar las partes de un automóvil.

Por otro lado está la parte de control, encargada de realizar un monitoreo continuo, en tiempo real, sobre todas las unidades que conforman la parte operativa y de esta manera mantenerla bajo acción normal en base a rangos preestablecidos. Normalmente hacen parte de este conjunto, un controlador lógico programable encargado del tratamiento de las señales, dicho de otro modo, es quien manda, quien impone las ordenes sobre los procesos, y una interfaz de usuario HMI encargada de establecer un puente de diálogo entre el sistema automatizado y el operario.

Un intercambio de información entre estas dos partes, para el sometimiento de la operativa, es posible gracias al intercambio de señales generadas por los captadores, transductores y sensores. Estos recogen estas señales y las transportan hasta los dispositivos de control, siendo procesados allí. El resultado es devuelto por los mismos transductores y algunas veces pasan por dispositivos que realizan un tratamiento final de estas señales, llamados preactuadores.