



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Implementación de una plataforma
electro-neumática para la evaluación de
estrategias de control secuencial

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Eléctrico - Electrónico

PRESENTA

Dalia Isabel Salazar Maldonado

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Hoover Mujica Ortega



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019

Jurado asignado

Presidente: Dr. Gerardo René Espinosa Pérez

Secretario: Dr. Paul Rolando Maya Ortiz

Vocal: Dr. Hoover Mujica Ortega

1^{er} suplente: Mtra. Gloria Correa Palacios

2^{do} suplente: Dra. Sofía Magdalena Ávila Becerril

Ciudad Universitaria, Departamento de Control y Robótica, Laboratorio de Automatización.

Ciudad de México

Director de tesis

Dr. Hoover Mujica Ortega

Agradecimientos

A mi querida Universidad Nacional Autónoma de México, mi *alma máter*.

A Isabel Maldonado, por todo el amor, el apoyo, la tolerancia y por aceptarme tal cual soy. Por ser mi ejemplo a seguir y también a superar. Gracias por todos los consejos y por los que vendrán, por tu historia de vida que me enorgullece y es de presumir. Me has demostrado que no hay obstáculo que no se pueda vencer. Que siempre aprenda y tome lo mejor de las personas que me rodean. Que a pesar de la artritis no has dejado de ser la mujer trabajadora, risueña y parlanchina. Recordándome que la vida hay que disfrutarla. Gracias por siempre escucharme, con un café en la mano y con la frase que empieza todo: “cuéntame la historia de tu vida”.

A Relmy Salazar, pues no existen personas ni acciones que me puedan contradecir del gran corazón que tienes, me has enseñado con tu ejemplo a ayudar a las personas sin esperar nada a cambio, a ser agradecidos y nunca olvidar de donde venimos. Que si uno deja su lugar de origen es solo para superarse. Inculcándome que la familia siempre es primero. Gracias por no desalentarme de estudiar ingeniería, y al contrario, decirme que la carrera era de resistencia y no de velocidad.

A mis padres, Relmy e Isabel, por ser los mejores ejemplos de vida, mi equipo de apoyo, por alentarme a ser mejor cada día, aprender de cada situación y tener el coraje para enfrentar mis miedos. Siempre los admiraré por las personas que son, por sus logros individuales y como matrimonio, las gracias nunca serán suficientes.

A mi abuelo, mi superhéroe.

A los profesores que me han dejado una enseñanza dentro y fuera de las aulas.

A mi profesor y asesor Dr. Hoover Mujica Ortega.

A la Prole, por permanecer unidos por más de nueve años, por vernos crecer como personas y profesionistas, vendrán otras etapas de la vida donde seguramente estaremos juntos a pesar de la distancia.

A Pamela, gracias totales.

A mi primo Lenin, pues no recuerdo a alguien más en mi infancia que no sea él.

A mis primeros *roomies*: Pablo, Karen y Mauricio.

A mis amigos de la prepa 6: Marco, Moi, Celeste, Carmen, Pamela, Atziri, Pepe, Josué e Itzayana.

A Enrique, por ser un gran amigo y compañero en la universidad.

Al Ing. Hiram Sánchez y al Ing. Marco Ramírez, mis primeros jefes en el UNIVERSUM, gracias por todos sus consejos.

A mis compañeros del Laboratorio de Automatización, pues jamás hubo un día donde las horas no pasaran volando mientras trabajábamos, nos apoyábamos y al paso de los meses, hicimos buenas migas.

Dedicatoria

A mi superhéroe porque siempre dijiste que la única forma de salir adelante es a través del estudio.

A mis padres y a sus primeros 25 años de casados.

A Camila, mi pequeña sobrina, mi abuelo me dejó claro que tenía que cuidarte, pero también ser un ejemplo como persona y profesionalista.

A tí, Dalia, porque mientras muchos creen en tí y te apoyan, debes ser tú la primera en entender que no por la casualidad y la suerte has llegado a donde otros desearían y que también falta más por lograr. Dalia, confía en tí y en tus capacidades.

Resumen

El presente trabajo de tesis describe el desarrollo e implementación de una plataforma didáctica, compuesta por elementos electro-neumáticos empleados en entornos industriales, con el propósito de garantizar el logro de los objetivos educacionales en control automático de sistemas secuenciales. Adicionalmente, se propone una metodología sistemática fundamentada en el Aprendizaje Basado en Proyectos, para ser empleada durante el proceso de enseñanza–aprendizaje. Dicha metodología, busca fortalecer las habilidades comunicativas, interpersonales y técnicas de los estudiantes a través de la ejecución de un proyecto siguiendo estándares empleados en el ambiente industrial.

Este desarrollo surge de la necesidad de disminuir la brecha entre las destrezas técnicas y las comunicativas de los estudiantes de ingeniería, con lo cual, se espera alcanzar un equilibrio entre ellas, lo que permitirá que el futuro egresado enfrente en mejores condiciones la constante evolución tecnológica influenciada por la Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0.

Con el fin de lograr tal equilibrio, la plataforma electro-neumática permite desarrollar constantemente las habilidades técnicas, ya que es utilizada en las sesiones de clase para adquirir conocimientos específicos sobre la instrumentación que la compone, así como evaluar su funcionamiento por medio de diferentes estrategias de control secuencial con ayuda de la metodología GRAFCET, a través de su implementación en controladores industriales programables. Por otro lado, se pretende que las habilidades comunicativas e interpersonales estén dirigidas a que los estudiantes sean capaces de planificar, conducir, ejecutar, supervisar y controlar el desarrollo de sus experimentos por medio de las recomendaciones del PMBOK, el cual es valorado por las industrias dada a la importancia del conocimiento sobre la gestión de proyectos.

Con vista en lo anterior, para indagar en los estudiantes el nivel de las habilidades antes mencionadas, se evaluó la metodología de aprendizaje basada en proyectos con estudiantes de la asignatura Controladores Industriales de Lógica Programable, tras la ejecución del proyecto denominado “Control secuencial de sistema electro–neumático”. Los resultados obtenidos confirman que la plataforma es un apoyo significativo para las sesiones de clase, además en conjunto con la rúbrica de evaluación y la encuesta realizada se observó que

los estudiantes presentan dificultades para comunicarse eficazmente de manera oral y escrita, debido a que durante su formación académica no presentaron trabajos suficientes donde se refuercen equitativamente las habilidades ya mencionadas.

En este sentido y considerando el contexto actual en el que estamos inmersos, se espera que los profesionales en ingeniería cuenten con conocimientos sólidos, habilidades comunicativas, trabajo colaborativo, iniciativa, pensamiento crítico y creativo, entre otras para su crecimiento profesional y lograr así, una mejor inserción en el ambiente laboral.

Por tanto, se recomienda emplear esta metodología en otras asignaturas donde se pueda desarrollar proyectos para garantizar el aprendizaje de los contenidos, con lo cual se espera contribuir al logro de los atributos del egresado en las instituciones educativas.

Contenido

Índice de figuras	IX
Índice de tablas	XI
Siglas	XIII
1. Introducción	1
1.1. Motivación	3
1.2. Antecedentes	4
1.3. Formulación del problema	9
1.4. Objetivo	10
1.5. Contribuciones	10
1.6. Organización de la tesis	11
2. Importancia de la innovación en la formación ingenieril	13
2.1. La Cuarta Revolución Industrial	13
2.1.1. México frente a la Industria 4.0	14
2.2. Perfil del profesional para la Cuarta Revolución Industrial	15
2.3. Procesos de manufactura automatizada	16
2.3.1. Sistemas de Manufactura Flexible (FMS)	16
2.3.2. Componentes para la automatización de un FMS	16
2.3.3. Electro–neumática	17
2.3.4. Estrategias de control secuencial	17
2.3.4.1. Método de programación GRAFCET	18
2.3.4.2. Lenguaje de programación SFC	18
2.4. Formación de profesionales del campo de la automatización	19
2.5. Herramientas para promover y evaluar el aprendizaje	19
2.5.1. Aprendizaje basado en proyectos (PjBL)	19
2.5.2. Gestión de proyectos	20
2.5.2.1. Guía del PMBOK [®]	20
2.5.3. Rúbricas de evaluación	21
2.5.4. Guías de clase	21
2.5.5. Plataformas educativas	22

3. Diseño y desarrollo de la plataforma electro–neumática	23
3.1. Descripción	23
3.2. Compresor neumático	25
3.3. Unidad de mantenimiento FRL	26
3.4. Parada de emergencia	27
3.5. Unidad de mantenimiento miniatura con válvula de corte manual	28
3.6. Válvulas distribuidoras o de vías	28
3.7. Válvulas de procesamiento	30
3.8. Sistemas de accionamiento y actuadores	30
3.8.1. De simple efecto	30
3.8.2. De doble efecto	31
3.9. Señales de control	32
3.10. Indicador visual	33
3.11. Interruptores	34
3.12. Temporizador neumático	34
3.13. Control secuencial automatizado	35
4. Metodología sistemática de enseñanza–aprendizaje	37
4.1. Propósito del proyecto	37
4.2. Especificaciones del proyecto	38
4.3. Ejecución del proyecto	44
5. Evaluación y resultados de la propuesta de proyecto	47
5.1. Rúbrica de evaluación de exposición oral	47
5.2. Rúbrica de evaluación del informe de proyecto	48
5.3. Resultados de la propuesta de proyecto	49
5.4. Medición de la metodología propuesta	51
6. Conclusiones	53
Apéndices	55
A. Propuesta de secuencia de control	55
B. PAC, diagramas de conexiones eléctricas y neumáticas	59
C. Portada de proyecto	63
D. Guías de clase	65
E. Encuesta de evaluación del proyecto	69
Referencias	71

Índice de figuras

1.1. Sistema modular <i>Learnline</i>	5
1.2. Equipo TP 201 - Nivel básico	5
1.3. Módulo PNEUTRAINER-400	6
1.4. Kit didáctico RT 770	7
1.5. Comparación de la taxonomía de Bloom	8
3.1. Plataforma electro-neumática	25
3.2. Compresor	26
3.3. Unidad de mantenimiento	27
3.4. Parada de emergencia	27
3.5. FRL miniatura con válvula de corte manual	28
3.6. Electroválvulas	29
3.7. Válvulas de procesamiento AND y OR	30
3.8. Pistones de doble efecto	31
3.9. Pistones de doble efecto	31
3.10. Final de carrera neumático	32
3.11. Sensor <i>Reed</i>	33
3.12. Botonera con presencia de aire	33
3.13. Botonera sin presencia de aire	33
3.14. Temporizador neumático	35
4.1. Carátula de la presentación de proyecto final	39
4.2. Ejemplo de ruta crítica	40
4.3. Ejemplo de seguimiento	41
4.4. Secuencia a implementar con base en un diagrama de tiempos	42
5.1. Rúbrica de evaluación de exposición oral	48
5.2. Rúbrica de evaluación del informe de proyecto	49
5.3. Resultados de la rúbrica de evaluación de exposición oral	50
5.4. Resultados de la rúbrica de evaluación del informe de proyecto	51
A.1. Rutina en lenguaje LD implementada en Studio 5000 Logix Designer	56
A.2. Rutina en lenguaje SFC implementada en Studio 5000 Logix Designer	57
B.1. Controlador ControlLogix [®] 1756-L71	59
B.2. Diagrama de conexiones al módulo de entradas digitales	60
B.3. Diagrama de conexiones al módulo de salidas digitales	61

B.4. Diagrama neumático	62
C.1. Propuesta de rúbrica de evaluación para proyecto de la materia de CILP	64
D.1. Configuración del Emulador ControlLogix [®] – Temporizadores	66
D.2. Introducción a la neumática con sistemas secuenciales	67
D.3. Desarrollo de rutinas de control secuencial	68
E.1. Cuestionario propuesto para la evaluación del proyecto de la materia de Controladores Industriales de Lógica Programable (CILP)	70

Índice de tablas

2.1. Habilidades emergentes para México	15
2.2. Comparación de la demanda de habilidades, 2018 vs. 2022	15
3.1. Tabla de componentes	24
4.1. Tabla de ordenamiento de variables	42

Siglas

- ABET** Accreditation Board for Engineering and Technology. 2
- ADEPA** Agence nationale pour le développement de la production automatisée. 18
- AFCET** Association Francaise pour la Cybernetique Economique et Technique. 18
- CACEI** Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería, A.C.. 2, 37
- CILP** Controladores Industriales de Lógica Programable. 37, 38, 44, 49, 53, 70
- CNC** Computerized Numerical Control. 17
- COPAES** Consejo para la Acreditación de la Educación Superior A.C. 2
- CPM** Critical Path Method. 9
- FBD** Function Block Diagram. 35
- FMS** Flexible Manufacturing System. 1, 10, 11, 16, 23
- GRAFCET** Graphe de Comands Etape/Transition. 1, 18, 35, 38, 39, 44
- IEC** International Electrotechnical Commission. 1, 18, 40, 44
- IL** Instruction List. 35
- LD** Ladder Diagram. 35, 38, 44, 45
- OCDE** Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. 14
- OPC** OLE for Process Control. 11
- PAC** Programmable Automation Controller. 17, 34, 35, 38
- PERT** Program Evaluation and Review Techniques. 9
- PjBL** Project-Based Learning. 8, 19, 20, 44
- PLC** Programmable Logic Controller. 1, 7, 11, 17

PMBOK Project Management Body of Knowledge. 9, 20, 38

PMI Project Management Institute. 9, 20

SFC Sequential Function Chart. 18, 35, 38, 45, 53

SMC Sintered Metal Corporation. 6

WEF World Economic Forum. 2, 3, 15

Capítulo 1

Introducción

El ser humano siempre ha tenido la necesidad de crear herramientas y máquinas que le ayuden a facilitar su trabajo en tareas peligrosas, pesadas y repetitivas, sustituyendo en un principio la fuerza humana y animal. Con el paso del tiempo y la continua necesidad por agruparse, se dio origen al desarrollo de espacios para el comercio, propiciando así, la creación de primitivas industrias, hasta llegar a la Primera Revolución Industrial en el siglo XVIII y en consecuencia a la automatización. Esto significó la transición de la industria artesanal a la producción en serie, debido a la influencia del desarrollo de la economía y a los diversos avances científicos como la máquina impulsada por vapor en 1782 por James Watt, el automóvil en 1885 por Karl Benz, entre otros. Posteriormente, para principios del siglo XX se integró la teoría y la práctica de la administración del trabajo, gracias a Frederick Winslow Taylor, con el objetivo de determinar el mejor método para hacer las cosas, con base en la observación, la medición y el análisis [Higuera, 2005], por lo cual, las empresas se vieron en la necesidad de incrementar sus índices de productividad y calidad a través de la implementación de los llamados sistemas de manufactura flexible (Flexible Manufacturing System (FMS)) alrededor de los años 60, con la capacidad de producir una gama de familias o de tipos de piezas, así como su posterior montaje [Capuz, 1999]. Por tal motivo, surgieron métodos para definir algoritmos de control para procesos productivos, como lo es el diagrama de control con etapas y transiciones (Grphe de Comands Etape/Transition (GRAFCET)), en 1977, que consiste en una representación gráfica del modelo del proceso a automatizar. Pero para que los procesos puedan ser manipulados *y/o* supervisados, actualmente se usan uno o varios controladores de eventos discretos tales como los Controladores de Lógica Programable (Programmable Logic Controller (PLC)), cuya programación está regida bajo el estándar International Electrotechnical Commission (IEC) 61131-3, donde se propone la sintaxis y semántica de cinco lenguajes de programación: diagrama escalera, lista de instrucciones, diagrama de bloques de funciones, texto estructurado y carta de funciones secuenciales, este último, es la implementación directa de GRAFCET [Orozco, *et al.*, 2009].

Hoy en día, a causa de la globalización e integración de la economía mundial, la automatización industrial se encuentra en constante evolución, alcanzando prácticamente todos los sectores de la vida humana; desde el personal hasta el laboral, impactando significativamente en la educación, ya que es considerada como el instrumento para enfrentar el mundo moderno.

Con lo anterior, el avance tecnológico ha obligado a los profesionistas a desarrollar un equilibrio entre las competencias sociales e intelectuales para afrontar los nuevos retos del futuro, pero esta transformación depende de la influencia de los sistemas educativos, de los gobiernos y de los perfiles profesionales que buscan las empresas. La publicación del informe *The Future of Jobs: Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution* de Septiembre de 2018 por parte del Foro Económico Mundial (World Economic Forum (WEF)), provee un análisis de lo que académicos, consultores y gobiernos debaten sobre el futuro del empleo, sobre los beneficios y déficits en las economías, las sociedades y el impacto para las generaciones más jóvenes que se encuentran estudiando y que formarán parte de la fuerza laboral.

Como menciona el informe, en algunos casos, las brechas de habilidades técnicas, comunicativas e interpersonales pueden acelerar las tendencias hacia la automatización, pero también pueden representar barreras para la adopción de nuevas tecnologías. En tal sentido, es prioridad cubrir aspectos para la formación de los profesionales, reforzando los medios para la mejora continua del aprendizaje, así como aportar elementos que puedan servir para el desarrollo de procesos de planeación de la educación en ingeniería.

Por su parte, el Consejo para la Acreditación para Ingeniería y Tecnología (Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET))¹, tiene como tarea el asegurar que un programa universitario cumpla con los estándares de la profesión, esperando que en el ambiente laboral los ingenieros tengan habilidades de comunicación (oral y escrita), trabajo en equipo, ética, aprendizaje significativo, inteligencia emocional y creatividad.

En México, Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería, A.C. (CACEI)² es considerada la primer organización acreditadora en el país, con el objetivo de promover la mejora continua de la calidad en la formación de ingenieros y es reconocida por Consejo para la Acreditación de la Educación Superior A.C (COPAES). CACEI a inicios de 2018 entró en vigor su nuevo proceso de acreditación, donde el Marco de Referencia [CACEI y COPAES, 2018] menciona los siguientes atributos de egreso:

1. Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.
2. Aplicar, analizar y sintetizar procesos de diseño de ingeniería.
3. Desarrollar y conducir experimentos, analizar datos e interpretar resultados para alcanzar conclusiones basadas en su formación de ingeniero.
4. Comunicarse eficazmente de manera oral y escrita sobre temas de ingeniería.
5. Servir a la sociedad con valores éticos y sensibilidad social que tomen en cuenta el impacto de las soluciones de ingeniería en los entornos económico, ambiental y social.
6. Actualizarse y superarse en su ámbito de especialización para adaptarse a los cambios de tecnología con el propósito de encontrar las soluciones más adecuadas a los problemas de ingeniería.

¹Fundada en 1932 en Estados Unidos.

²Constituida desde 1994.

7. Trabajar en equipo con el objeto de diseñar, desarrollar e integrar, planear y poner en operación sistemas analizando riesgos.

De igual manera, el espacio de trabajo es clave para el desarrollo del estudiante, pues es el entorno físico de aprendizaje. En el caso particular de un laboratorio, las habilidades que se pueden desarrollar van desde la construcción de productos, procesos y sistemas hasta la facilidad de que los estudiantes se involucren directamente en su propio aprendizaje y en el aprendizaje social, siendo el escenario perfecto para que puedan aprender unos de otros.

Como menciona el autor [Vega-González, 2013]: “La intención es que los ingenieros egresados puedan insertarse correcta y oportunamente en las unidades productivas en las que les corresponderá participar para continuar siendo elementos centrales de los procesos de innovación económica y social”.

1.1. Motivación

Actualmente estamos inmersos en la Cuarta Revolución Industrial. Este concepto fue mencionado por el Dr. Klaus Schwab, fundador del WEF, en su libro [Schwab, 2016], donde describe las particularidades de esta nueva revolución tecnológica, la cual se caracteriza por la digitalización del sector manufacturero, con base en el aumento de los volúmenes de datos, la potencia en los sistemas computacionales y la conectividad. Por lo que las industrias deben estar dispuestas a nuevas alternativas para mantenerse competitivas.

La Industria 4.0 además de involucrar lo antes mencionado, transformará la manera de vivir, trabajar y relacionarse unos con otros, al mismo tiempo provocará un cambio en los perfiles laborales, reflejándose en las nuevas tendencias de habilidades duras relacionadas con la tecnología. También habrá un impacto en las habilidades blandas con el objetivo de aprovechar capacidades humanas únicas, que van desde inteligencia emocional, trabajo en equipo, motivación, ética del trabajo, liderazgo, entre otras, permitiendo el desarrollo del conocimiento.

Sin embargo, como se mencionó anteriormente, existen brechas que dificultan un equilibrio entre las habilidades blandas y habilidades duras, importantes para la formación de los profesionistas en ingeniería. Por lo que surge el deseo de potenciar dichas habilidades creando una sinergia entre ellas. En tal sentido, se puede hacer uso de las plataformas educativas, como una herramienta para adquirir un conocimiento gradual y profundo sobre los conceptos de interés ya que ayudan a replicar las condiciones que se tendría en el ambiente laboral apoyándose de metodologías sistemáticas de aprendizaje, como es la ejecución de un proyecto, lo que permite obtener y desarrollar niveles cognitivos más altos. Así como integrar actividades de planeación de tareas, diseñar, conducir y evaluar experimentos. Encaminando el proceso a una presentación oral y un trabajo escrito, que sirvan como ejercicios para el estudiante, poniendo a prueba desde su expresión corporal, su capacidad de síntesis, justificación de su trabajo hasta su dominio del tema.

Considerando lo anterior, es de interés promover el uso de metodologías de diseño y programación de control secuencial para sistemas de manufactura flexible, con apoyo de las plataformas educativas que ayudan a mejorar el proceso enseñanza–aprendizaje. Así

como el conocimiento sobre la gestión de proyectos, importante para asegurar el éxito en el desarrollo de un producto para una empresa.

1.2. Antecedentes

Debido a la importancia de disminuir la brecha entre las habilidades blandas y duras, asegurando así la calidad formativa de los egresados en el área de la automatización industrial y tomando como opción el estudio de estrategias de control secuencial a base de electro-neumática por su flexibilidad de aplicación que ofrece desde soluciones simples hasta complejas, se buscaron trabajos en la literatura relacionados al enfoque de esta tesis.

Por un lado, para comprender el funcionamiento de la combinación de sistemas eléctricos y neumáticos, se encontraron marcas de nivel internacional dedicadas a este rubro, las cuales han desarrollado plataformas didácticas para varios propósitos, desde el beneficio propio de la empresa (exponer sus equipos para elevar las ventas), capacitación de personal hasta ser una introducción experimental para los futuros profesionistas. A continuación se citan algunas marcas que han desarrollado plataformas didácticas con la tecnología que se busca implementar en esta tesis.

Festo Didactic: soluciones para la información técnica

La empresa alemana es líder internacional, en desarrollos en áreas como neumática, electro-neumática y electro-mecánica. De la cual se desprende su división llamada Festo Didactic, enfocada al campo de la formación y perfeccionamiento industrial. Estando presente en México desde hace más de 40 años.

Uno de los sistemas de aprendizaje con que cuenta es el llamado *Learnline* como se observa en la Figura 1.1, es descrita como flexible y modular, para implementar varias configuraciones de montaje con la posibilidad de ser una estación de trabajo individual o de grupo. La placa permite hasta dos compresores con un depósito (tanque donde se almacena el aire comprimido) menor a 24 litros cada uno, así como cajones para almacenamiento del equipo de instrumentación que no esté siendo utilizado. Sin embargo, los dispositivos electro-neumáticos deben ser seleccionados a parte. Entre los equipos que venden, toman en cuenta el nivel de conocimientos que se busca (básico o avanzado). Para fines prácticos, se optó por ver las características del equipo TP 201 - Nivel básico, que es el que se muestra en la Figura 1.2, para la formación en electro-neumática con control a base de sistemas de relés.



Figura 1.1. Sistema modular *Learnline*

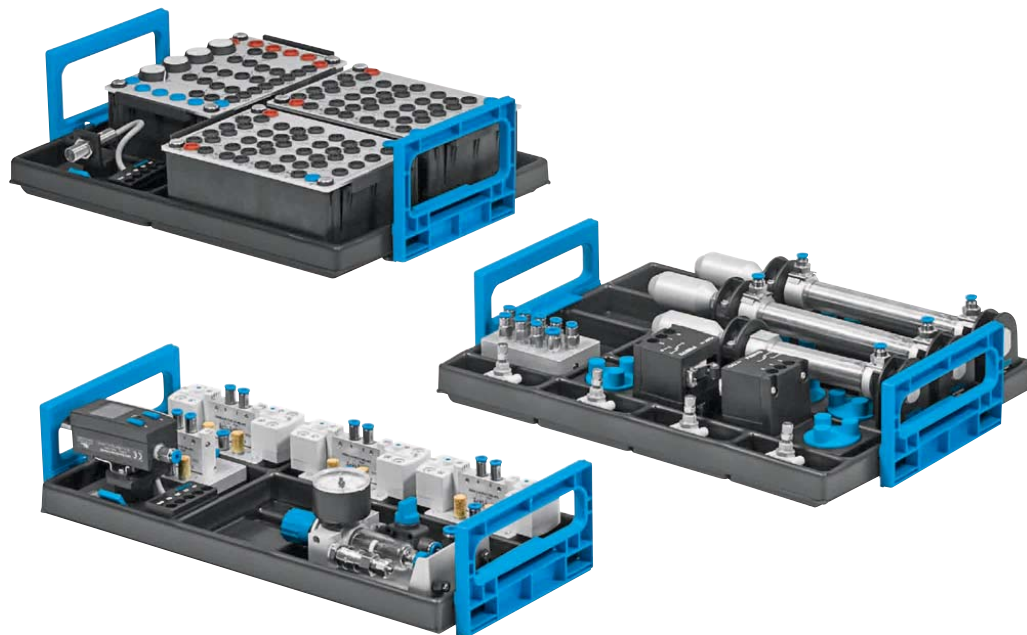


Figura 1.2. Equipo TP 201 - Nivel básico

Sintered Metal Corporation (SMC)

La empresa SMC desde hace más de 50 años ha incursionado en la línea de productos didácticos, cubriendo las necesidades que la industria va requiriendo, así como apoyo para universidades, centros de formación técnica hasta empresas que cuentan con capacitación interna. La empresa desarrolla y fabrica sus propios componentes industriales los cuales son utilizados en sus módulos didácticos. Entre su gama de productos está el Pneutrainner-400 - Neumática y Electro-neumática como se observa en la Figura 1.3, permitiendo alcanzar competencias como analizar, diseñar, elaborar e interpretar documentación sobre neumática y manejo y operación de sensores.



Figura 1.3. Módulo PNEUTRAINER-400

gunt HAMBURG

La empresa alemana tiene una característica que la hace diferente a las antes descritas y es que busca un acercamiento con las universidades para el diseño de las propias plataformas. Como un ejemplo apegado a lo que se busca, está el módulo RT 770 Kit didáctico de neumática y electro-neumática con PLC (ver Figura 1.4), equipado con componentes industriales normalizados así como con un compresor con un tanque menor a 24L. Promete ser de apoyo para la introducción experimental de técnicas de control, de dispositivos neumáticos y esquemas de circuitos lógicos, con el uso de un PLC con *software*.

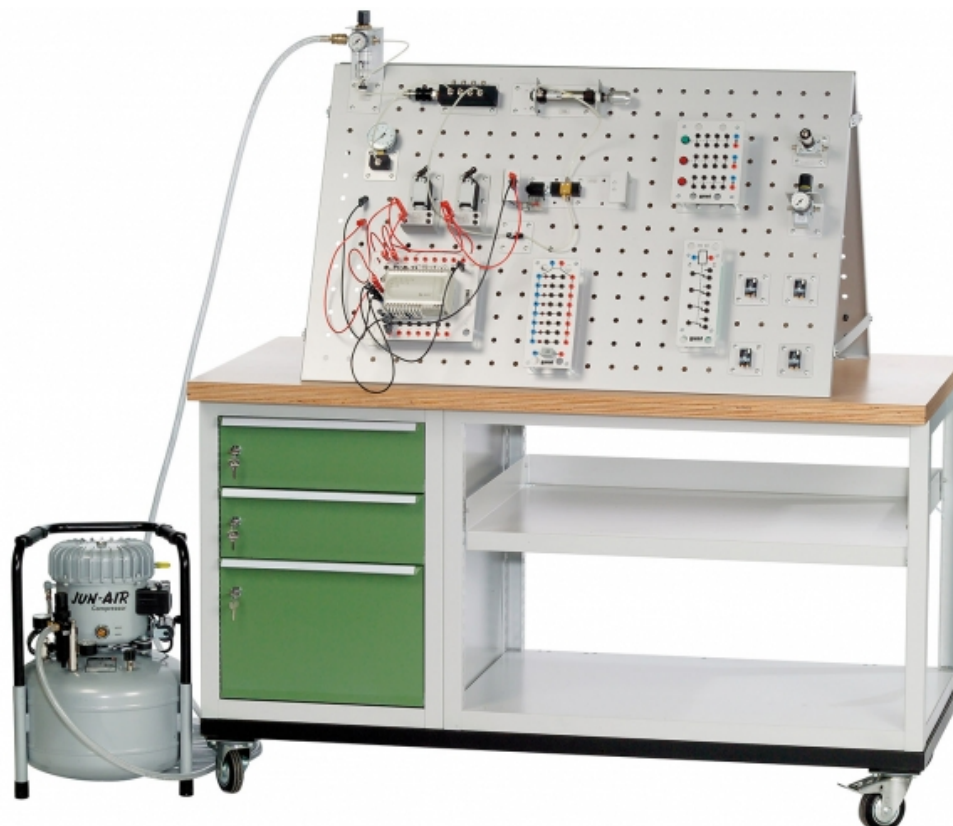


Figura 1.4. Kit didáctico RT 770

Hasta este punto, las plataformas educativas sólo van orientadas a potenciar las habilidades técnicas, pues ninguna empresa que desarrolla tales módulos habla de las habilidades sociales. Es por eso que se siguió con otra línea de investigación directamente relacionada a las metodologías sistemáticas de aprendizaje para el logro de niveles cognitivos altos. En tal sentido, se pensó en la taxonomía de Bloom¹[Bloom, 1986], la cual es un sistema de clasificación de objetivos educacionales con base en una jerarquía, donde cada habilidad se construye sobre las anteriores. Además, sirve como ayuda para el diseño de los programas

¹La cual surgió en una reunión de la Asociación norteamericana de psicología en 1948, liderada por Benjamin Bloom, psicólogo enfocado a la educación por parte de la Universidad de Chicago cuyo trabajo se dio a conocer hasta 1956.

como para su aplicación y, desde luego, para su evaluación [Juste, 2006].

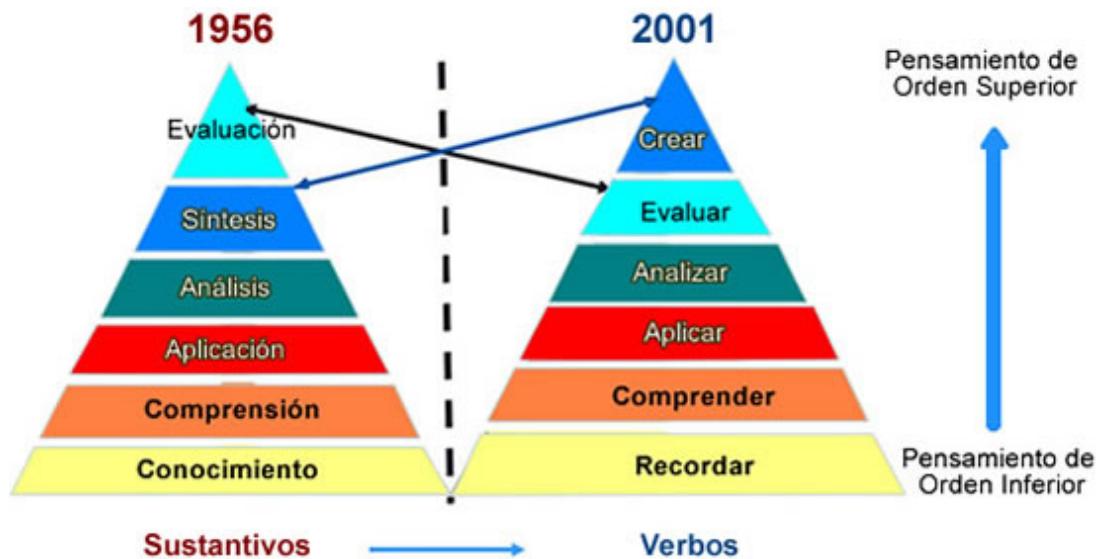


Figura 1.5. Comparación de la taxonomía de Bloom

Fuente: EDUTEKA, *Tecnologías de Información y Comunicación para Enseñanza Básica y Media* (2003).

La taxonomía de Bloom guió a los educadores durante más de 40 años, pero es en 2001 por medio de Lorin Anderson y David R. Krathwohl [Anderson, *et al.*, 2013], quienes publicaron una nueva revisión sobre el documento, haciendo cambios en el uso de verbos, los cuales se refieren generalmente a acciones asociadas con el proceso cognitivo que ha de realizarse con el contenido, así como un cambio en la secuencia dentro de la taxonomía como se observa en la Figura 1.5.

Tomando en cuenta lo antes escrito, la taxonomía de Bloom se puede implementar a las diferentes metodologías de aprendizaje existentes, las cuales son importantes para la adquisición de habilidades y actitudes.

Una de las estrategias didácticas para promover el aprendizaje significativo, es a través del Aprendizaje Basado en Proyectos (Project-Based Learning (PjBL), por sus siglas en inglés), el cual tiene sus antecedentes en el constructivismo, surgiendo en la década de los 90. Es una teoría explicativa de los procesos de aprendizaje a partir de conocimientos ya adquiridos. Su premisa es que, en lugar de seguir la ruta tradicional de exponer la información y luego aplicarla, se invierte el proceso, pues el estudiante aprende a planificar, instrumentar y evaluar su propio proyecto, el cual tiene aplicación en el mundo real, más allá del aula.

Existen cuatro grandes categorías de los fundamentos para el PjBL:

- Motivos profesionales
- Motivos humanitarios
- Motivos cognitivos

- **Motivos pedagógicos**

Relacionándose lo anterior con la práctica de la orientación y la formación en el trabajo, ya que los profesionistas en algún momento enfrentarán la vida laboral donde la mayoría de las tareas requieren el uso combinado de conocimiento interdisciplinario, así como potenciar en el estudiante la capacidad para la solución de problemas, aptitudes para la planificación y coordinación. Maximizando la metodología con una aplicación real como es el conocimiento sobre la gestión de proyectos, la cual ha estado presente desde comienzos del siglo XX, cuando las empresas empezaron a plantearse objetivos, metas, con base en un calendario de actividades, administración de recursos, con el fin de culminar todo el trabajo requerido.

Por lo que destacan antecesores como: Henry Gantt, llamado padre de técnicas de planificación y control, y a Henri Fayol, por su creación de las cinco funciones de gestión (planificación, organización, dirección, coordinación y control), considerándolas universales, esto es, aplicables en cualquier empresa. Para 1950 formalmente la gestión de proyectos empezó a ser vista como una disciplina, a la par que aparecieron otros métodos para el cálculo de tiempos y plazos en la planificación de proyectos, como:

- Método de la ruta crítica (Critical Path Method (CPM)), desarrollada entre DuPont Corporation y Remington Rand Corporation en 1957, en EUA.
- Las Técnicas de Revisión y Evaluación de Programas (Program Evaluation and Review Techniques (PERT)), creada por la Oficina de Proyectos Especiales de la Marina de Guerra del Departamento de Defensa de EUA en 1958.
- Project Management Institute (Project Management Institute (PMI)), una organización fundada en 1969 en Newtown Square, Pennsylvania, EUA, con la idea de servir a los intereses de la industria.

Para 1981, el PMI publicó la primera edición de la Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Project Management Body of Knowledge (PMBOK)), la cual contiene los estándares, pautas y normas para la gestión de proyectos, su última versión fue publicada en 2017. El impacto de su implementación se ha visto reflejado en el aumento de la eficiencia en las empresas, pues uno de sus objetivos son beneficios a corto, mediano y largo plazo en las áreas de control de producción y administrativa.

1.3. Formulación del problema

Los rápidos avances y la sofisticación de las tecnologías tendrán serias implicaciones para el trabajo y el empleo, por tal motivo, los gobiernos deberían estar preparados para ello. En tal sentido, México, de acuerdo al reporte [ABB, 2018], ocupa el lugar 23 de 25 países, con un puntaje de 40.7 sobre 100 posibles referente al índice de preparación de su entorno de políticas para la automatización. En contraste con el puesto 19 de 25 que nuestro país tiene gracias a las políticas relativamente sólidas para apoyar el desarrollo de habilidades y conocimientos del siglo XXI. El informe también recalca que la educación debe tomar un papel importante para aquellos países que deseen enfrentar los desafíos de la automatización.

Por otro lado, como sabemos, la automatización industrial tiene una extensa gama de aplicaciones, por ejemplo: los sectores de alimentos y bebidas, farmacéutica, petroquímica, armadoras, mineras, entre otros; por lo que adquirir un equipo utilizado en un proceso real y trasladarlo a un laboratorio que está limitado de espacio, es imposible, aunado al alto costo que implicaría, así como su respectivo mantenimiento, de igual forma, las condiciones son las mismas si se optara por comprar un producto comercial de empresas que se dedican al diseño de plataformas educativas. Por lo que surge la necesidad de contar con una plataforma experimental, pues en la industria sería imposible que se detuviera el proceso para facilitar la formación de talento, además son las propias empresas las que requieren de ingenieros con habilidades y competencias que tienen por sentado que la universidad las provee.

El Laboratorio de Automatización de la Facultad de Ingeniería cuenta con una plataforma electro-neumática que no tiene la capacidad de comunicación con otro controlador industrial, lo que limita la evaluación de estrategias de control secuencial, las cuales hoy en día son importantes para procesos industriales.

Tampoco se cuenta con una metodología que asegure el uso, aprovechamiento y evaluación de la plataforma experimental y que asocie el desarrollo de las destrezas técnicas con las habilidades sociales y de colaboración, aún cuando con base en el informe del Foro de Davos, denominado *The future of the Jobs*, las empresas para el año 2020 exigirá todo eso a los futuros profesionistas.

1.4. Objetivo

Diseñar e implementar una plataforma experimental basada en dispositivos electro-neumáticos que permita evaluar estrategias de control secuencial. Adicionalmente, se busca proponer una metodología de enseñanza–aprendizaje con aplicación en el ambiente industrial, de tal modo que el estudiante pueda planificar, conducir, ejecutar, supervisar y controlar el desarrollo de sus experimentos. De manera que, lo anterior pueda verse como una herramienta para la evaluación de las habilidades comunicativas, técnicas e interpersonales del futuro egresado.

1.5. Contribuciones

Durante el desarrollo de este trabajo de tesis se generaron las siguientes contribuciones:

- Como medida ante la constante evolución de la tecnología y en consecuencia, con la innovación de los FMS se implementó una plataforma electro-neumática como material de apoyo para el área de automatización; fácil de relacionar con el ámbito laboral y que favorece el proceso de enseñanza–aprendizaje.
- Por lo que es posible el diseño y la evaluación de estrategias de control secuencial con el uso de controladores industriales.

- Para lograr lo anterior, la plataforma tiene la capacidad de intercambiar información por medio de los protocolos de comunicación OLE for Process Control (OPC) y EtherNet/IP, lo que permite sea considerada escalable, quiere decir, que tiene la flexibilidad de comunicación con cualquier marca de PLC debido al uso de conectores Centronics, lo que le permitirá al estudiante conocer otros entornos de programación.
- Teniendo la capacidad de control y comunicación, se propuso el desarrollo de un proyecto, el cual se les dio a conocer a los estudiantes por medio de una presentación, describiendo la manera en que se tendría que llevar a cabo, incluyendo la explicación y los ejemplos para cada paso de ejecución del mismo.
- En tal sentido para que el estudiante de forma correcta y dirigida manipule la plataforma se diseñaron y desarrollaron guías de clases, así como sus respectivas presentaciones, con el propósito de explicar el funcionamiento que cada dispositivo que la compone, su control, comunicación, así como los riesgos y cuidados asociados a ella.
- Finalmente, con base a todo lo anterior, se diseñó una rúbrica de evaluación específica para el proyecto con el fin de medir las habilidades técnicas y sociales de cada estudiante, por medio de la exposición oral y un informe escrito, lo que permitió generar conclusiones para este trabajo, además se realizó una encuesta para conocer la opinión directa de los participantes.

1.6. Organización de la tesis

El presente trabajo consta de seis capítulos que abordan a la plataforma electro-neumática desde su diseño, su control, implementación y la manera en que los estudiantes se ven beneficiados al ser considerada una herramienta para la evaluación de habilidades duras y blandas. Por tanto, el Capítulo 1 pone en evidencia el impacto de la Cuarta Revolución Industrial, la evolución de los FMS y la necesidad de cubrir las nuevas demandas de los perfiles laborales con ayuda de plataformas educativas en conjunto con una metodología que asegure el continuo del aprendizaje de los futuros egresados como lo señalan algunas acreditadoras de la educación. Razones por las cuales permita entender la motivación del desarrollo de esta tesis, así como los objetivos planteados que se buscaron alcanzar.

Posteriormente, el Capítulo 2 presenta de forma general la importancia de la innovación en la formación ingenieril, desde el contexto de la Cuarta Revolución Industrial a nivel mundial y en México. Mencionando las tecnologías para la automatización, las estrategias de control secuencial presentes, además se aborda el tema de las metodologías de aprendizaje y su impacto en la industria.

Por su parte, el Capítulo 3 se enfoca en el desarrollo de la plataforma educativa, desde el diseño y montaje de los dispositivos utilizados, así como una breve explicación de la utilidad de cada uno; incluyendo también la forma de comunicación y el control de la plataforma electro-neumática.

Para el Capítulo 4, se reporta la metodología de aprendizaje propuesta, describiendo cada paso de su desarrollo hasta su ejecución e implementación como una herramienta de evaluación para los estudiantes del área de automatización.

En tal sentido, el Capítulo 5 recopila la información obtenida a partir de la evaluación de la rúbrica de cada estudiante que desarrolló el proyecto, así como las opiniones generadas a partir de una encuesta propuesta para conocer el impacto de uso de la plataforma electro–neumática y su combinación con el conocimiento de la gestión de proyectos.

Para finalizar, el Capítulo 6 menciona las conclusiones a las que se llegó con base en los objetivos planteados en el presente trabajo. Así como el trabajo futuro que podría desarrollarse para tener un impacto cada vez más significativo en los estudiantes.

Capítulo 2

Importancia de la innovación en la formación ingenieril

Uno de los grandes desafíos del sistema universitario es demostrar la capacidad de adaptación a los cambios en la sociedad actual y sus nuevas demandas, enfocándose en las denominadas competencias sociales e intelectuales [De los Ríos, *et al.*, 2010]. En tal sentido, el docente de la educación superior se enfrenta al reto de integrar en la enseñanza de su disciplina habilidades y competencias que van desde la resolución de problemas prácticos relacionados con la profesión, hasta el dominio de habilidades cognitivas y lingüísticas. Es por ello que surge la necesidad de realizar un análisis del papel que desempeña el docente y su impacto, logrando así la colaboración de los alumnos para que se hallen dispuestos y motivados para aprender.

También se busca satisfacer las demandas de hoy en día en la industria, ya que los cambios tecnológicos en dispositivos de control, robots, computadoras industriales y redes de comunicación han ido transformando los medios de manufactura existentes en sistemas de manufactura integrados y versátiles, favoreciendo el cambio para aquellas industrias que deseen mantenerse competitivamente en la era de la información y la globalización [Fúquene, *et al.*, 2007]. Formando egresados que conformen la fuerza de trabajo que impulse la innovación del sector productivo.

Las brechas de habilidades continúan siendo una de las principales preocupaciones de las empresas, ya que 3 de cada 4 (74 %) ejecutivos globales creen que la falta de habilidades es un problema que enfrentan sus industrias [Intelligence, 2018].

El cambio no esperará, por lo que líderes empresariales, los educadores y los gobiernos deben ser proactivos en capacitar a las personas, para que todos puedan beneficiarse de la Cuarta Revolución Industrial.

2.1. La Cuarta Revolución Industrial

Se le llama Revolución Industrial a un periodo histórico en el cual se desarrollan cambios importantes en las formas de producción y los cuales han sido determinantes para la historia de la humanidad.

Desde la primera Revolución Industrial se ha ido reinventando constantemente la industria hasta hoy en día que estamos inmersos en la denominada Industria 4.0, cuyo concepto fue mencionado por primera vez en la Hannover Messe (la feria tecnológica para la industria Hannover, en Alemania en abril de 2011).

Esta cuarta fase, implica cambios importantes en los modelos de producción pues se observa una tendencia a la automatización total de la manufactura, así como en la sociedad, la economía y el modo de hacer negocios. Con base en los resultados que presentó *General Electric* en la sexta edición del *Global Innovation Barometer 2018*, elaborada a partir de entrevistas a 2 090 directivos de 20 países, representa una realidad sobre el mercado de trabajo y su naturaleza, debido al desarrollo de la robótica y la automatización.

2.1.1. México frente a la Industria 4.0

De acuerdo con el informe generado por [Intelligence, 2018], el crecimiento en innovación de 2014 a 2018 ha sido de +6 puntos, ubicando a Polonia, Malasia, Canadá, Francia y China por encima del promedio, sin embargo, el resultado para México no es favorable pues se ubica por debajo del promedio con -16 puntos.

Por otro lado, un punto importante que se extrajo del estudio [McKinsey & Company, 2017], afirma que los salarios medios-bajos del país pueden frenar el proceso de automatización ya que si la mano de obra continúa siendo barata convendrá más que la compra de maquinaria.

En el año 2015, México fue uno de los miembros perteneciente a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) que menos invirtió en investigación y desarrollo, con un porcentaje 0.5 % cuando el promedio fue de 2.4 %.

En tal sentido, se debe buscar que la iniciativa privada invierta más, ya que los países desarrollados, extraen de las empresas la mayor parte de inversión, impulsando así la innovación, así mismo, aporta beneficios en términos de aumento de la eficiencia, optimización de operaciones y ahorro de costos.

Además, como lo menciona el reporte [Insight, 2018], la clave es invertir en educación. Por lo que las universidades y tecnológicos mexicanos deben enfocar sus recursos en la preparación de profesionales, buscando un vínculo con las empresas. Deseando que los profesionistas de nuestro país, alcancen las habilidades necesarias para competir en la Industria 4.0, las cuales se observan en la Tabla 2.1.

Habilidades emergentes
<ol style="list-style-type: none"> 1. Pensamiento analítico e innovación 2. Creatividad, originalidad e iniciativa 3. Aprendizaje activo y estrategias de aprendizaje 4. Diseño y programación de tecnología 5. Razonamiento, solución de problemas e ideación 6. Resolución de problemas complejos 7. Liderazgo e influencia social 8. Pensamiento crítico y análisis 9. Resistencia, tolerancia al estrés y flexibilidad 10. Inteligencia emocional

Tabla 2.1. Habilidades emergentes para México

2.2. Perfil del profesional para la Cuarta Revolución Industrial

A medida que los avances tecnológicos evolucionan, la forma de producir también. Es por eso que se habla de la Industria 4.0, teniendo un gran impacto en el mercado laboral. Además de exigir profesionales más calificados y flexibles, esta nueva fase también toma en cuenta a los trabajadores creativos y capaces de encontrar nuevas soluciones para problemas ya conocidos. Los trabajadores necesitarán tener las habilidades apropiadas que les permitan prosperar en el lugar de trabajo del futuro. Incluso para aquellos que actualmente tienen estas habilidades, el ritmo de las tareas y las capacidades va en aumento, cambiando constantemente.

Lo anterior se dio a conocer por primera vez desde que el WEF publicó su informe inicial sobre este nuevo mercado laboral: *The Future of jobs: Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution* en Enero de 2016. Para 2018, se generó un nuevo reporte [Insight, 2018], donde estima que para el 2022, el 35% de las habilidades que hoy día son importantes en el profesionista, habrán cambiado. Esto se observa en la tabla comparativa 2.2.

En 2018	En 2022
<ol style="list-style-type: none"> 1. Pensamiento analítico e innovación 2. Resolución de problemas complejos 3. Pensamiento crítico y analítico 4. Aprendizaje activo y estrategias de aprendizaje 5. Creatividad, originalidad e iniciativa 6. Atención al detalle, confiabilidad 7. Inteligencia emocional 8. Razonamiento, solución de problemas y planeación 9. Liderazgo e influencia social 10. Coordinación y gestión del tiempo 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pensamiento analítico e innovación 2. Aprendizaje activo y estrategias de aprendizaje 3. Creatividad, originalidad e iniciativa 4. Diseño y programación de tecnología 5. Pensamiento crítico y analítico 6. Resolución de problemas complejos 7. Liderazgo e influencia social 8. Inteligencia emocional 9. Razonamiento, solución de problemas y planeación 10. Análisis y evaluación de sistemas

Tabla 2.2. Comparación de la demanda de habilidades, 2018 vs. 2022

De entre la lista de habilidades requeridas para el 2022, destaca la creatividad, ya que con la aparición de nuevos productos, nuevas tecnologías y nuevas formas de trabajar,

los profesionistas tendrán que ser más ingeniosos para beneficiarse de estos cambios. Así mismo, destacan dos nuevas habilidades: inteligencia emocional y flexibilidad cognitiva, necesarias para progresar en un ambiente laboral.

Finalmente, se espera aumente el interés por impulsar reformas en los sistemas de educación, capacitación y políticas del mercado laboral, para el impulso de las habilidades (Tabla 2.2), haciendo frente a los requerimientos de la industria 4.0.

2.3. Procesos de manufactura automatizada

La industria manufacturera es una actividad importante desde el punto de vista tecnológico, económico e histórico, afectando directa o indirectamente la vida diaria y beneficiando a la sociedad. Al mismo tiempo ayuda a fortalecer la economía de un país generando fuentes de empleo calificadas y formales.

Desde el punto de vista tecnológico, una planta de manufactura consiste en un conjunto de procesos y sistemas diseñados para transformar materia prima en productos con valor agregado. Los materiales, procesos y sistemas, constituyen el núcleo central de la manufactura moderna, la cual hoy en día se realiza con maquinaria computarizada y automatizada.

2.3.1. Sistemas de Manufactura Flexible (FMS)

Los FMS comenzaron a implementarse a fines de la década de los 60 y consisten en la integración de los procesos de manufactura o ensamble, transporte de materiales, comunicación y control por computadora. Las características de un FMS son:

- Procesar diferentes estilos de partes.
- Aceptar cambios en el programa de la producción.
- Responder en forma inmediata cuando se presentan averías y errores en el equipo.
- Emitir distintas instrucciones para el proceso de manufactura, sobre cada pieza consecutiva que pasa por la estación de trabajo.

Por lo que es necesario el uso de una computadora central que controle y coordine los componentes del sistema.

2.3.2. Componentes para la automatización de un FMS

Se refiere a los dispositivos que se utilizan para mejorar los procesos en la producción industrial en los FMS:

Sistemas neumáticos e hidráulicos :

Los sistemas neumáticos se basan en la utilización de aire comprimido, siendo una fuente de potencia en la industria ya que presenta múltiples ventajas como: es segura, económica, fácil de implementar y resistente a ambientes hostiles.

En cambio, los sistemas hidráulicos es a base de la transmisión de los efectos de fuerzas y potencias mediante la aplicación de presión estática de un fluido ya sea

agua, aceite, sustancias no oxidantes y lubricantes. Sus ventajas radican en la emisión de grandes fuerzas en espacios reducidos, además de que el fluido hidráulico actúa como lubricante por lo que sus componentes tienden a tener una vida útil elevada.

Instrumentación:

Se refiere a todos los dispositivos que intervienen dentro de un sistema, por lo que es importante tener un conocimiento más profundo sobre los mismos, desde sus parámetros de medición hasta su funcionamiento, con lo anterior se asegura tener un mayor control y un criterio para la selección de los materiales.

Autómatas programables:

Son todos los elementos de control como los controles por contactos mediante relés, PLC, Programmable Automation Controller (PAC), Computerized Numerical Control (CNC), entre otros, los cuales tienen las siguientes funciones: controlar, regular, vigilar, captar datos (de un proceso), comunicar y diagnosticar. Por medio del *software* de aplicación del controlador industrial se establece la estrategia de control sobre los actuadores.

Comunicación industrial:

Se entiende por todas las redes y protocolos de comunicación industrial, indispensables para realizar un enlace entre las distintas capas de la pirámide de la automatización.

2.3.3. Electro-neumática

Las combinaciones de electricidad y neumática se usan frecuentemente en máquinas e instalaciones. La principal aplicación de los sistemas electro-neumáticos se encuentran en aquellos casos en el que el aire comprimido se usa como fuente de energía con la ayuda de cilindros, mientras que los distribuidores son accionados eléctricamente [Guillén, 1988].

Como su estructura se compone de dos tipos de circuitos, uno eléctrico y otro neumático, requiere dos tipos de energías para operar, energía eléctrica y energía neumática. La energía eléctrica se requiere para habilitar el piloto eléctrico de las válvulas, los sensores y el circuito a base de relevadores o PLC y la energía neumática para realizar los movimientos de los dispositivos que conforman el circuito neumático. Esta energía se crea por la presión del aire comprimido obtenida de un compresor [Soria, 2013]

Cabe destacar que el uso de sistemas electrónicos y neumáticos proporciona una serie de ventajas, basadas en gran medida en los circuitos y sistemas que se benefician de la simplicidad de disposición y de las amplias funciones lógicas y aritméticas del PLC [Hyde, *et al.*, 1998], además son más económicos, fáciles de operar y de identificar fallos.

2.3.4. Estrategias de control secuencial

La automatización de procesos industriales en los cuales se involucre tecnología como la neumática, requieren el uso de metodologías para la realización de secuencias de operaciones mediante el uso de estrategias que permitan estructurar el desarrollo del control adecuado para cada caso [Muriel, *et al.*, 2009].

Los sistemas de control secuencial se consideran, en forma general, como sistemas de lazo abierto, en ellos, se manejan variables de tipo binario, esto es, que sólo tengan dos valores posibles: encendido o apagado.

2.3.4.1. Método de programación GRAFCET

En 1977 se definió un lenguaje gráfico denominado GRáfico Funcional de Control de Etapas y Transiciones (GRAFCET), con la colaboración entre Asociación Francesa para la Cibernética Económica y Técnica (Association Francaise pour la Cybernetique Economique et Technique (AFCET), por sus siglas en francés) y la Agencia nacional para el desarrollo de la producción automatizada (Agence nationale pour le développement de la production automatisée (ADEPA), por sus siglas en francés), adecuado para especificar el comportamiento de un sistema de control lógico secuencial [Balcells, *et al.*, 1997]. En consecuencia, la IEC inició el estudio de una norma basada en él, que finalmente se publicó como IEC-848 [Pérez, *et al.*, 2009]. Hasta nuestros días, es considerado un modelo de representación gráfica del funcionamiento de un sistema automático. Dicho modelo está definido en los siguientes elementos y reglas:

- **Etapas:** Representan cada uno de los estados del sistema. El símbolo empleado para representar una etapa es un cuadrado con un número o símbolo en su interior que identifica. Y para diferenciar con las etapas iniciales, éstas se representan por un cuadrado con doble línea.
- **Líneas de evolución:** Son las que unen entre sí las etapas que representen actividades consecutivas.
- **Transiciones:** Representan las condiciones lógicas necesarias para que inicie la etapa siguiente.

2.3.4.2. Lenguaje de programación SFC

El lenguaje de Carta de Funciones Secuenciales (Sequential Function Chart (SFC), por sus siglas en inglés) forma parte de la norma IEC 61131-3 un estándar internacional desde 1992 de programación de autómatas programables. Sus principales objetivos son diseñar y representar la evolución de estados de un automatismo secuencial [Pérez, *et al.*, 2009]. Por lo que al tener similitud con un diagrama de flujo, se pueden agregar subprogramas o subrutinas programadas en los otros lenguajes de la norma antes mencionada, formando así el programa de control.

El SFC se emplea frecuentemente en el diseño de soluciones asociadas a sistemas secuenciales donde el programa se ejecuta paso a paso conforme se cumplen determinadas condiciones por lo que su programación es más vista en el entorno industrial [Martín, 2010].

La programación SFC cuenta con tres principales elementos, los cuales son:

- Pasos o etapas
- Transiciones o condiciones
- Acciones

El funcionamiento del programa pasará de una etapa a otra sólo si se van cumpliendo las condiciones y en cada etapa se ejecutarán las acciones que se hayan definido.

2.4. Formación de profesionales del campo de la automatización

El aumento de los sistemas industriales automatizados ha obligado a la comunidad científica y académica a encontrar actualizaciones para todas las disciplinas dentro del campo de la automatización. Este hecho ha motivado a las universidades a disponer de laboratorios multiusos que puedan ayudar a los estudiantes a desarrollarse y capacitarse en los diferentes campos de la ingeniería [Moreno, *et al.*, 2012]. Por lo que el estudiante se sentirá motivado con el uso de recursos didácticos, con estrategias creativas e innovadoras que propicien interés para llevar a la práctica diaria de los contenidos en clase.

Es un hecho que la comprensión y el aprendizaje sostenible (aquel que se dirige hacia la construcción de una base de conocimiento inteligente que se caracteriza por conocimientos organizados, reflexivos y útiles para situaciones en el presente o en el futuro) están vinculados a las actividades que se llevan a cabo en un laboratorio, es en este tipo de espacios de trabajo donde debe prevalecer el aprendizaje activo, ya que es un método de enseñanza en el que los estudiantes se involucran directamente en actividades de reflexión y resolución de problemas, dando pie a la participación de los alumnos en la manipulación, la aplicación, el análisis y la evaluación de ideas.

Con lo anterior, el estudiante podrá asumir roles que simulen la práctica profesional de la ingeniería, por ejemplo, en proyectos de diseño, implementación y presentación de los mismos.

2.5. Herramientas para promover y evaluar el aprendizaje

La gran demanda que tienen las empresas de profesionales, ha provocado que el rubro de la educación promueva el aprendizaje con el uso de recursos innovadores que ayuden a lograr los objetivos propuestos por la materia, seleccionando las estrategias adecuadas. Con lo anterior, se busca que el estudiante sea el beneficiado con el objetivo de ampliar sus conocimientos sobre el contexto mundial actual, con la intención de proveerlo de herramientas que le ayuden a procesar de manera fácil la información nueva [Díaz-Barriga y Hernández, 2007]. Ya que el saber teórico y práctico ayudan a desarrollar experiencias en la vida del estudiante donde puede afrontar situaciones únicas, inciertas y desafiantes [Gimeno y Pérez, 2000].

Por lo tanto, la metodología a emplear en el proceso de aprendizaje debe reconducirse para que el proceso de formación recoja las complejidades con las que el ingeniero se va a enfrentar en su etapa profesional [Gómez, *et al.*, 2013].

2.5.1. Aprendizaje basado en proyectos (PjBL)

Una de las maneras para medir las habilidades intelectuales y sociales, es con ayuda del PjBL, permitiendo que los estudiantes puedan analizar, planear, implementar, encontrar,

evaluar y usar recursos adecuados de aprendizaje, así como trabajar en equipo y comunicarse efectivamente. Considerada una buena preparación para enfrentarse a los problemas del mundo real en muchos ámbitos profesionales [Gómez, *et al.*, 2013].

Una definición más formal sobre el PjBL es la que dan los autores [Prince y Felder, 2006]: *El aprendizaje basado en proyectos comienza con una tarea para llevar a cabo una o más actividades que conducen a la obtención de un producto final (un diseño, un modelo, un dispositivo o una simulación por computadora), culminando normalmente en un informe escrito u oral, que resume el procedimiento utilizado para producir el producto al mismo tiempo se presentan los resultados.*

Dicho brevemente, el alcance de esta metodología es que los estudiantes mejoren su propio conocimiento y adquieran nuevas habilidades en el terreno interpersonal.

2.5.2. Gestión de proyectos

El conocimiento de la gestión de proyectos hoy en día es fundamental para el éxito de los mismos, ya que permite el logro de los objetivos contemplados dentro de la ejecución del proyecto.

En tal sentido, una de las asociaciones con mayor reconocimiento internacional sobre este tema es el PMI. Es una asociación profesional sin fines de lucro, fundado en 1969, pero que hasta los años 70 su implementación se llevó a cabo empezando por el campo de la ingeniería. Actualmente tiene presencia en más de 160 países, entre ellos México, que se incorporó en la década de los 90. El PMI es la organización con más impacto en materia de administración de proyectos gracias a su relación con empresas, universidades, asociaciones de profesionales, especialistas y consultores en proyectos. Por lo que la dirección de proyectos como lo define el propio PMI, es la aplicación del conocimiento, de las habilidades, y de las técnicas para ejecutar proyectos de forma eficiente y efectiva. Dicho lo anterior, su importancia de aplicación radica en reducir los riesgos y aumentar así la posibilidad de éxito, logrando para la empresa mayores beneficios y resultados económicos.

Para ilustrar mejor el impacto del PMI en una empresa, se tiene el ejemplo de la compañía alemana Bosch, la cual se encarga de la distribución de partes y sistemas en la industria automovilística, herramientas de uso industrial o casero, entre otras. Esta señala que la planificación y el procesamiento sistemático de proyectos es un tema crítico para el éxito, no solo para el desarrollo de productos, sino también en la producción, ventas y distribución, o en el campo comercial.

2.5.2.1. Guía del PMBOK®

La Guía del PMBOK®, o Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos, es un compilado de las mejores prácticas en el tema de gestión de proyectos, elaborado por el PMI.

Su finalidad está dirigida a identificar las buenas prácticas para la aplicación de habilidades, herramientas y técnicas, con el objetivo de aumentar las probabilidades de éxito de un proyecto. Abarcando el inicio, planificación, ejecución, seguimiento y control, hasta el cierre, considerado como el ciclo de vida de un proyecto. Para ser más específicos, las áreas con las cuales los profesionales de proyectos aprenden a manejar son:

- Gestión de la integración
- Gestión del alcance
- Gestión del tiempo
- Gestión de los costes
- Gestión de la calidad
- Gestión de los recursos humanos
- Gestión de las comunicaciones
- Gestión de los riesgos
- Gestión de las adquisiciones

2.5.3. Rúbricas de evaluación

La rúbrica es un instrumento de evaluación auténtica del desempeño de los estudiantes. Son guías precisas que valoran los aprendizajes y productos realizados. Se pueden identificar como tablas que desglosan los niveles de desempeño que los estudiantes en un aspecto determinado, con criterios específicos sobre rendimiento. Permitiendo que los alumnos identifiquen con claridad la relevancia de los contenidos y objetivos de los trabajos académicos establecidos. En el nuevo paradigma de la educación, las rúbricas o matrices de valoración brindan otro horizonte con relación a las calificaciones tradicionales, ya que se busca valor el grado del aprendizaje, expresadas en números o letras.

Cualquier rúbrica debe considerar las siguientes premisas: ser coherente con los objetivos educativos que se persiguen, apropiada ante el nivel de desarrollo de los estudiantes, y establecer niveles con términos claros. Como instrumento de evaluación formativa, facilitan la valoración en áreas consideradas subjetivas, complejas o imprecisas mediante criterios que cualifican progresivamente el logro de aprendizajes, conocimientos y/o competencias [Gatica-Lara y Uribarren-Berrueta, 2013].

2.5.4. Guías de clase

Un material es potencialmente significativo cuando permite la conexión de manera no arbitraria con la estructura cognitiva del alumno, es decir, el nuevo material (que puede ser un texto) debe dar lugar a la construcción de significados.

De igual manera, como menciona el M. en C. Arturo Ronquillo Arvizu en [Ugarte, 2018], es importante que las asignaturas de las carreras de ingeniería, cuenten con guías o prácticas con lo que permita adquirir un conocimiento más significativo, desde ejercicios donde los alumnos desarrollen habilidades en el manejo de *software* y *hardware*, hasta resolver problemas similares a los que se presentan realmente en la industria.

2.5.5. Plataformas educativas

Una plataforma educativa o también conocida como módulo didáctico, es una herramienta física, virtual o una combinación de ambas. Son diseñadas para que el estudiante obtenga un conocimiento gradual y profundo sobre los temas de interés [Benítez, *et al.*, 2007], lo que contribuye a la evolución y aseguramiento de los procesos de enseñanza–aprendizaje. Por otra parte, brinda la capacidad de interactuar con uno o varios usuarios. Siendo una alternativa y/o complemento de las prácticas de la educación tradicional. Lo que permite al docente gestionar, administrar y flexibilizar los tiempos de aprendizaje de los estudiantes, al mismo tiempo, que respondan a las necesidades orientadas al mundo laboral [Chuc Us, *et al.*, 2016].

En tal sentido, las universidades han incluido el uso de plataformas educativas para el desarrollo y capacitación de los profesionistas en los diferentes campos de la ingeniería [Moreno, *et al.*, 2012].

Capítulo 3

Diseño y desarrollo de la plataforma electro–neumática

3.1. Descripción

El diseño e implementación de la plataforma tiene como objetivo ser un aporte alternativo para la formación de profesionales en el área de automatización. Como se mencionó antes, se requieren módulos didácticos orientados a los FMS debido a la trascendencia de los procesos de producción. Por tal razón, se optó por una plataforma orientada a la electro–neumática, ya que sus soluciones son robustas, versátiles y fáciles de dominar desde un punto de vista técnico, permitiéndole al estudiante realizar una amplia gama de configuraciones para procesos de producción típicos de industrias en un entorno de aprendizaje seguro, así como una herramienta auxiliar para la aplicación de proyectos de ingeniería complementándolos con toda la formación que se puede generar entorno a la plataforma, desde guías de clase, diagramas de conexiones hasta el diseño de estrategias de control secuencial.

Por lo anterior, en este capítulo se describe el diseño y desarrollo de la plataforma, constituida por elementos relacionados a la automatización industrial como se observa en la Figura 3.1, adicionalmente se incluyen elementos vitales para su funcionamiento, mantenimiento y comunicación con la misma.

Al momento de construir la plataforma electro-neumática, el laboratorio ya contaba con los dispositivos que la conforman (Ver Tabla 3.1.) por lo que no fue necesario cotizar ni adquirir ninguno de los materiales, sin embargo, se consideraron ciertos aspectos para el montaje:

- Optimizar el espacio de la celda metálica, a fin de distribuir y utilizar todos los dispositivos disponibles.
- Hacer visible, manipulable y de fácil acceso a cada dispositivo, esto último, si se desea dar mantenimiento.
- Montar los dispositivos dentro de la celda para que su distribución pueda ser vista como dos áreas de trabajo. Lo que significa que ambas divisiones cuenten con la

misma cantidad de equipo, con el fin de duplicar el número de estudiantes trabajando al mismo tiempo.

- Con base en el punto anterior, es necesario integrar válvulas de corte manual. Lo que permite el uso independiente de cada área de trabajo y el control del aire dentro de la plataforma.
- Colocar los cilindros neumáticos orientados a un solo sentido, con el objetivo de visualizar el desarrollo de las secuencias que serán implementadas para el control de los mismos.
- Inclinar la celda metálica para visualizar todos los dispositivos a distancia.
- Incluir indicadores visuales para observar la presencia de aire dentro de la plataforma.
- Etiquetar los cilindros neumáticos para su rápida identificación.

Dispositivo	Cantidad
Cilindro de doble efecto	6
Cilindro de simple efecto	4
Temporizador neumático	4
Compuertas neumáticas	8
Interruptor final de carrera	12
Contacto <i>Reed</i>	12
Manifold con 8 válvulas 5/2	2
Accionamiento de válvulas (solenoide)	14
Interruptor con enclavamiento	2
Fuentes de aire	16
Indicador visual	2
Válvula de corte manual	2
Botonera	1
Carril DIN	1
Interruptor tipo pulsador	4

Tabla 3.1. Tabla de componentes

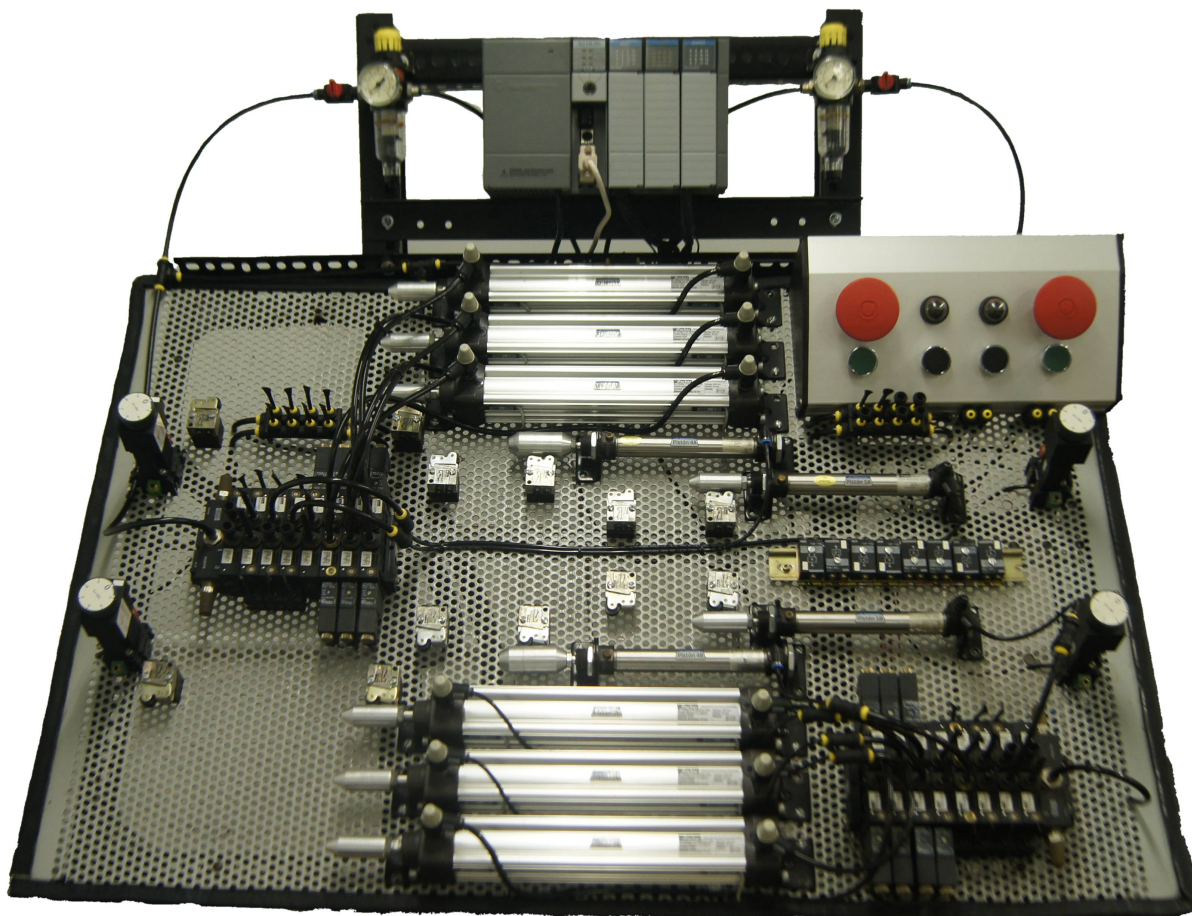


Figura 3.1. Plataforma electro-neumática

Finalmente, se espera que el desarrollo de la plataforma motive y consolide el conocimiento en temas como control secuencial, comunicación industrial e instrumentación orientada a la electro-neumática.

A continuación se describen las características principales de los dispositivos interconectados de la plataforma.

3.2. Compresor neumático

El primer elemento que interviene en una instalación neumática es un compresor. La función que tiene es aspirar aire a presión atmosférica y comprimirlo a una presión más elevada. Por la hoja de datos del compresor que se encuentra en el laboratorio y que se observa en la Figura 3.2, refiere a que se trata de un compresor de tipo pistón o también conocido como de émbolo y que es accionado por un motor eléctrico.



Figura 3.2. Compresor

3.3. Unidad de mantenimiento FRL

La unidad de mantenimiento también llamada FRL (Filtro–Regulador–Lubricador) (como se observa en la Figura 3.3.), se monta al inicio de cualquier sistema neumático, lo cual para esta plataforma no es la excepción. La unidad tiene como funciones: preparar, filtrar, regular y lubricar el aire comprimido. Su importancia radica en que no es factible usar el aire comprimido directamente de la salida del compresor.

- **Filtro de aire comprimido:** La importancia de instalarlo, es para no provocar un desgaste prematuro en los dispositivos neumáticos, evitando así el condensado, las partículas de suciedad y el excedente de aceite.
- **Válvula reguladora de presión:** Es la encargada de mantener una presión de trabajo constante, independientemente del aire comprimido generado por el compresor. Por lo que su posición es detrás del filtro de aire.
- **Lubricador de aire comprimido:** La literatura recomienda montar el lubricador justo delante de los elementos que consumen el aire comprimido, pues su función es agregar aceite pulverizado, en caso de que el sistema neumático así lo requiera, es por esta razón que el sistema visto de forma general, cumple con lo antes dicho.

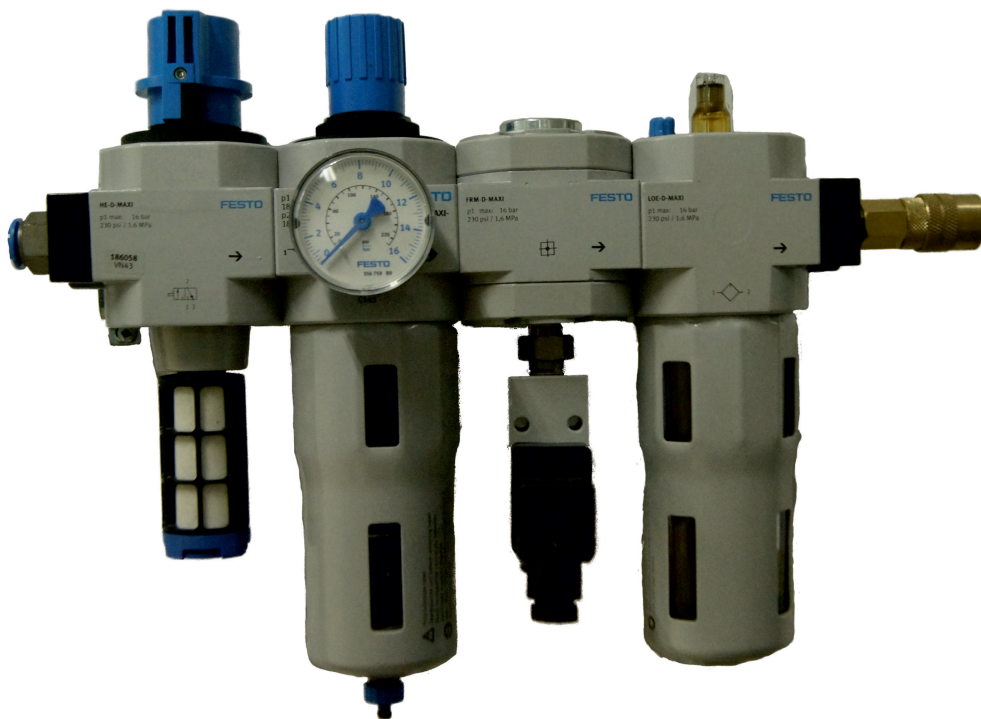


Figura 3.3. Unidad de mantenimiento

3.4. Parada de emergencia

En situaciones de peligro, el operario activa manualmente el interruptor de **parada de emergencia**. Además, la literatura marca que al ser un interruptor manual, debe de ser un pulsador saliente, debe de ser llamativo color rojo y la superficie debajo del interruptor de emergencia debe ser de color amarillo, para contrastar, es por esa razón que el laboratorio cuenta con uno que cumple con tales especificaciones como el que se observa en la 3.4. La función principal del paro de emergencia es detener lo más rápidamente posible los actuadores.

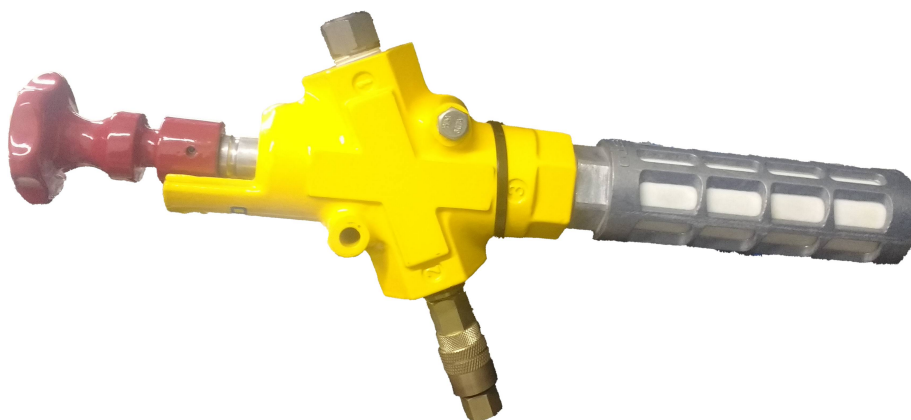


Figura 3.4. Parada de emergencia

3.5. Unidad de mantenimiento miniatura con válvula de corte manual

Esta unidad de mantenimiento secundaria engloba tanto un filtro como un regulador, asegurando que no habrá restos de agua ni humedad que puedan afectar a los dispositivos. En conjunto con la válvula de corte manual o vista como una válvula de tres vías, tiene como propósito cortar o dejar pasar el flujo de aire, como último filtro para la plataforma electro–neumática y que sea manual implica que el operador tiene la decisión de lo anterior. Como la disposición de los dispositivos se sub dividen, se puede elegir qué parte es con la que se piensa trabajar, así el gasto de aire es menor, y no se tiene que cerrar el caudal desde la unidad de mantenimiento.

La Figura 3.5 ilustra lo antes descrito. La parte del manómetro corresponde a la unidad de mantenimiento y la válvula de corte manual está representada por la rosca de conexión de color rojo.



Figura 3.5. FRL miniatura con válvula de corte manual

3.6. Válvulas distribuidoras o de vías

Las válvulas de vías son elementos pensados para el arranque, parada y dirección del flujo de aire en un circuito neumático. Es la encargada de accionar el cilindro o de enviar señales a otras válvulas. Las tareas más importantes de las válvulas distribuidoras son las siguientes:

- Abrir o bloquear al alimentación de aire comprimido
- Permitir que los cilindros avance y retrocedan

Su clasificación se basa en dos características principales: por el número de vías y el número de posiciones. La plataforma cuenta con 16 válvulas denominadas de biestables de 5/2 vías, indica que tiene 5 conexiones y 2 posiciones de mando, accionada por ambos lados, significa que memoriza su estado de conmutación.

La literatura explica que dependiendo del accionamiento de las válvulas se pueden diferenciar en dos grupos:

- Directo: el instrumento de mando está directamente montado sobre la válvula y actúa sobre su sistema de apertura o cierre. A su vez se dividen en:
 1. Mecánicos
 2. Manual
 3. Neumáticos
 4. Eléctricos
- Indirecto: el sistema de accionamiento actúa sobre un elemento auxiliar que transmite la señal a la válvula
 1. Servopilotaje
 2. Pilotaje diferencial
 3. Pilotaje por depresión

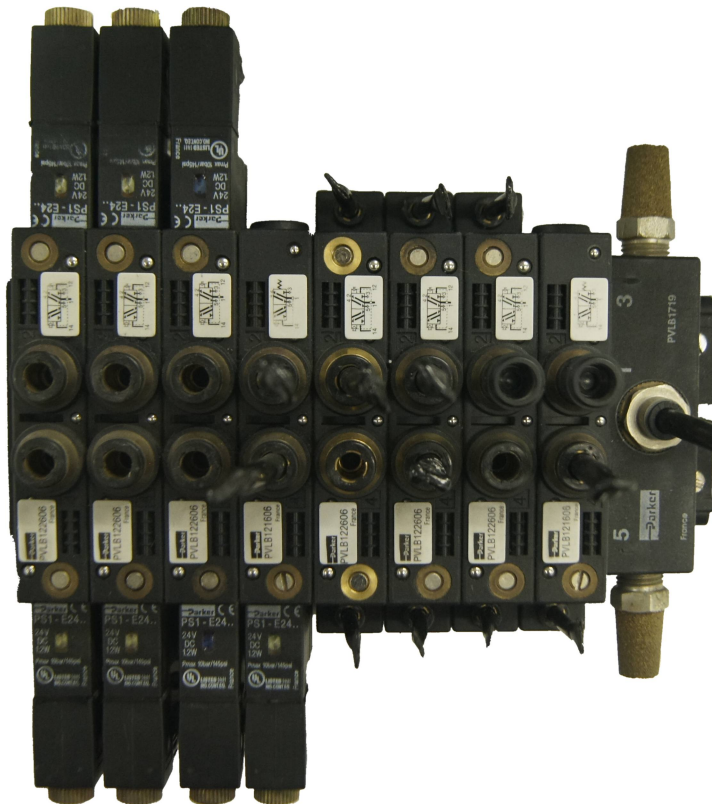


Figura 3.6. Electroválvulas

Cuando se habla de válvulas distribuidoras, estas son empleadas para controlar todo tipo de actuadores. Pero si su función es ser válvulas de mando o pilotaje, se usan para accionar de forma directa o indirecta, las válvulas antes mencionadas. La plataforma cuenta con 16 válvulas distribuidoras, que a su vez, por su accionamiento directo, 8 son de tipo eléctrico y 8 puramente neumáticas, agrupadas en dos *manifolds* con la ventaja que solo existe una alimentación de aire, como se observa en la Figura 3.6.

3.7. Válvulas de procesamiento

Son elementos de maniobra que se utilizan para el procesamiento lógico de dos señales de entrada, y por ende de la señal resultante. La plataforma electro-neumática cuenta cuatro válvulas de simultaneidad y cuatro válvulas selectoras, como se observa en la Figura 3.7.

- **Válvula de simultaneidad:** Permiten enlazar dos señales de entrada con la función “Y”. Está compuesto por dos entradas y una salida, por lo que el flujo de aire comprimido solo está abierto si la válvula recibe una señal en ambas entradas.
- **Válvula selectora:** Se utiliza para establecer un enlace lógico “O”. Cuenta con dos entradas y una salida, si se aplica presión en la entrada del lado izquierdo, el émbolo bloquea la entrada del lado derecho y viceversa.

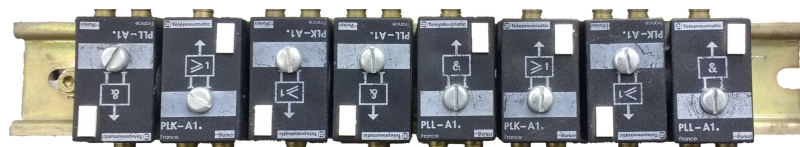


Figura 3.7. Válvulas de procesamiento AND y OR

3.8. Sistemas de accionamiento y actuadores

Son componentes robustos, fáciles de instalar, poco propensos a sufrir fallos y de gran duración, convierten energía en trabajo. Si tienen las dimensiones apropiadas, pueden ejecutar movimientos a gran velocidad. La configuración apropiada y el montaje correcto son indispensables para el buen funcionamiento del sistema. La plataforma cuenta con diez cilindros lineales, cuatro son de simple efecto y seis de doble efecto.

3.8.1. De simple efecto

En los cilindros de simple efecto, el aire se alimenta solo de un lado. Por ello, estos cilindros solamente pueden ejecutar trabajo en un solo sentido. Para que el cilindro retroceda, debe descargarse primero el aire contenido en la cámara para que se mueva el vástago por la fuerza que ejerce el resorte/muelle incorporado. Cuando se tiene un cilindro de simple efecto con muelle incorporado, como es el caso de la plataforma, la carrera está limitada por la longitud del cilindro.

Este dispositivo puede ejecutar diversas tareas, tales como: derivar, juntar, distribuir, sujetar, prensar, elevar y entregar piezas.

A su vez, los pistones con los que cuenta la plataforma son cilindros de simple efecto de fuelle como se observa en la Figura 3.8, los cuales son elementos de accionamiento mediante la alimentación y el escape de aire. Aplicándoles una presión permanente, los cilindros pueden utilizarse como elemento de amortiguación.



Figura 3.8. Pistones de doble efecto

3.8.2. De doble efecto

Reciben aire comprimido en ambos lados. Por ello, estos cilindros pueden ejecutar un trabajo en ambos sentidos. La fuerza que se aplica en el vástago es algo superior en avance que en retroceso, ya que la superficie es mayor en el lado del émbolo que en lado del vástago.

Los cilindros de doble efecto como se muestran en la Figura 3.9 tienen una conexión en cada lado, es decir, en cada cámara de presión. Antes de ejecutarse el movimiento en el sentido contrario, es necesario descargar primero el aire contenido en la cámara del lado opuesto (lado del vástago o lado del émbolo), de forma que la fuerza que se aplica en el vástago es algo superior en avance que en retroceso, ya que la superficie es mayor en el lado del émbolo que en lado del vástago.



Figura 3.9. Pistones de doble efecto

3.9. Señales de control

También llamados detectores, tienen la función de captar información y de transmitir señales procesables a las unidades de evaluación. En numerosas aplicaciones se utilizan detectores de diversas formas y modos de funcionamiento.

En la técnica de la automatización se utilizan principalmente detectores con salida digital, ya que son mucho menos sensibles a posibles interferencias que los detectores de salida analógica.

Los detectores más utilizados en la automatización industrial son los llamados detectores de posición.

- **Interruptor de final de carrera:** Los finales de carrera o sensor de contacto como se ilustra en la Figura 3.10, son dispositivos de señal neumáticos, en este caso, con accionamiento por rodillo, situado al final del émbolo de un cilindro lineal cuando se encuentra completamente expulsado. Detectan la posición de un elemento móvil mediante accionamiento mecánico. Este tipo de interruptor es normalmente abierto cuando está en reposo, es decir, sin pulsar hay presencia de aire a la salida, cuando se acciona, deja de pasar el aire y no hay presión neumática a la salida.

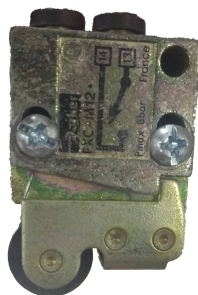


Figura 3.10. Final de carrera neumático

- **Detectores con contacto de conmutación mecánico:** Con la ayuda de estos indicadores se comprueba la presencia (o la aproximación) de una pieza. Los detectores de posición conmutan sin establecer contacto y, por lo tanto, sin que sea necesaria la presencia de una fuerza mecánica externa. Por ello tienen una gran duración y son muy fiables. Los contactos *Reed* (ver Figura 3.11) son detectores de posición de accionamiento magnético. Estos detectores tienen dos lengüetas de contacto que se encuentran en un tubo de vidrio lleno de gas inerte. Por efecto de una imán se cierra el contacto entre las dos lengüetas, de modo que pueda fluir corriente eléctrica. Los contactos *Reed* tienen una gran duración y su tiempo de respuesta es muy corto (aprox. 0,2 ms). Además, de un nulo mantenimiento, aunque no deben utilizarse en zonas expuestas a campos magnéticos fuertes.



Figura 3.11. Sensor *Reed*

3.10. Indicador visual

Ayuda a visualizar de manera fácil si existe flujo de aire por la plataforma, este indicador neumático sin señal de aire permanece en color negro, y gira a otro color cuando hay presencia de fluido de trabajo. Son indispensables para el operador, ya que evita el contacto físico con los dispositivos, reduciendo riesgos importantes desde rasguños hasta fracturas, dependiendo de la presión y velocidad de los cilindros neumáticos.

Para la plataforma electro-neumática se montaron dos indicadores visuales para cada subdivisión. En la Figuras 3.12 y 3.13, se observa el cambio de color cuando existe o no la presencia de aire.

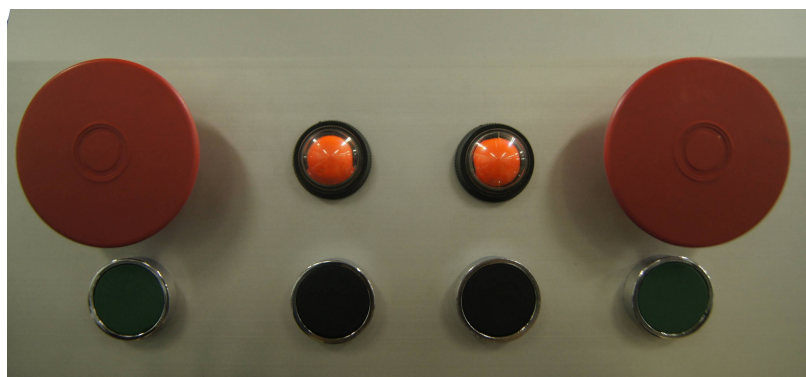


Figura 3.12. Botonera con presencia de aire

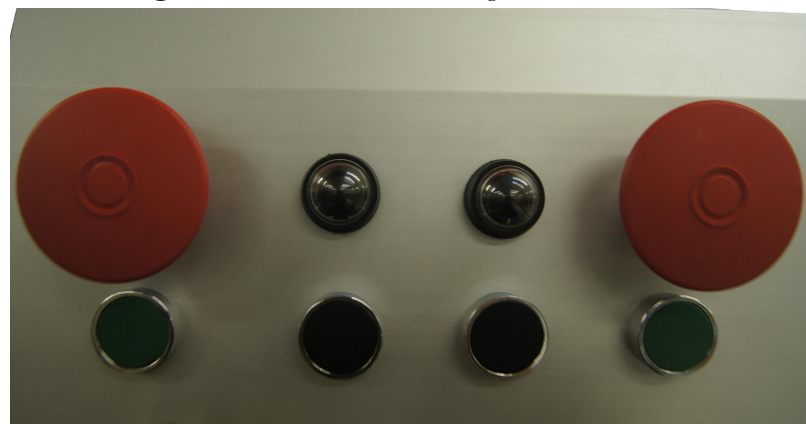


Figura 3.13. Botonera sin presencia de aire

3.11. Interruptores

Las botoneras son ampliamente utilizadas en la industria y en casi cualquier proceso se puede encontrar a nivel de campo, como la que se observa en la Figura 3.12. Las cuales tienen la función de permitir o interrumpir el flujo de corriente en un circuito eléctrico con el uso de pulsadores. En el caso de la plataforma electro–neumática dentro de la botonera se montaron dos pulsadores verdes sin enclavamiento con contacto normalmente abierto, además de dos pulsadores rojos con enclavamiento con contacto normalmente cerrado, con comunicación con el PAC.

Es importante conocer las características de los pulsadores al momento de involucrarlos en una rutina de control, por lo existen dos clasificaciones, descritas a continuación:

1. Por su posición:

- **Pulsadores sin enclavamiento:** Mantienen la posición de conmutación únicamente mientras se mantienen pulsados.
- **Pulsadores enclavados o con enclavamiento:** Mantienen su posición de conmutación (*ON/OFF*). Estos interruptores mantienen su posición hasta que son accionados nuevamente.

2. Por su estado de conmutación:

- **Contacto normalmente abierto:** El circuito está interrumpido mientras el interruptor se encuentra en su posición normal. Accionando el interruptor, se cierra el circuito eléctrico y se alimenta corriente eléctrica a la unidad consumidora. Soltándolo, el interruptor tipo pulsador recupera su posición normal por acción de un muelle, por lo que se interrumpe nuevamente el circuito eléctrico.
- **Contacto normalmente cerrado:** El circuito de corriente está cerrado por efecto de la fuerza del muelle mientras el interruptor se encuentra en su posición normal. Al accionar el pulsador, se interrumpe el circuito de corriente.

3.12. Temporizador neumático

En muchas aplicaciones de automatización es necesario que el vástago del un cilindro neumático mantenga su posición durante un tiempo determinado. Por lo que el uso del temporizador como el que se observa en la Figura 3.14 provoca o interrumpe una operación de conmutación con un retardo definido.

El temporizador está compuesto por dos válvulas, un elemento acumulador de aire a presión y una válvula distribuidora 3/2 con accionamiento neumático. Este dispositivo se considera como normalmente cerrado, esto es, que cuando su tiempo de temporización termina, permite el paso del aire.

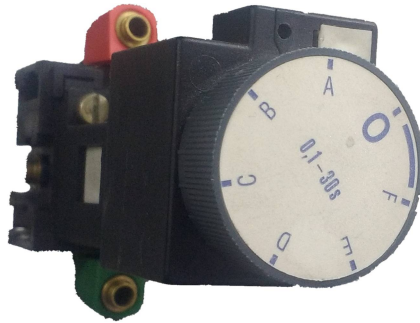


Figura 3.14. Temporizador neumático

3.13. Control secuencial automatizado

Con la finalidad de que la plataforma sea manipulada mediante un controlador industrial, se consideraron los sensores *Reed* como entradas digitales y las electroválvulas como las salidas digitales, en tal sentido fue necesario generar una tabla de ordenamiento de variables (ver Tabla 4.1).

Para tener la lectura y el control de los dispositivos de la plataforma electro-neumática desde el controlador industrial se recurrió al uso de conectores Centronics, ya que se pueden transmitir los datos de forma paralela, lo que permite otra ventaja importante y es la de estandarizar la comunicación con otro controlador industrial, dándole otra característica a la plataforma electro-neumática y es que se considere escalable, por las razones ya dadas.

Para ejemplificar el control secuencial que se le puede implementar en la plataforma electro-neumática se recurrió al uso del controlador ControlLogix 1756-L71 5571 (ver Apéndice B.1), el cual es un PAC, a través de su entorno de programación *Studio 5000 Logix Designer*[®], ya que admite la sintaxis y semántica de los cinco lenguajes de programación: diagrama escalera (Ladder Diagram (LD)), lista de instrucciones (Instruction List (IL)), Diagrama de Bloques de Funciones (Function Block Diagram (FBD)), texto estructurado (ST) y la Carta de Funciones Secuenciales (SFC)

Para este trabajo, se recurrió al lenguaje LD y SFC, por la práctica continua de ellos y su traducción directa de la metodología GRAFCET. Finalmente, dicho desarrollo se observa en los apéndices A.1 y A.2.

Capítulo 4

Metodología sistemática de enseñanza–aprendizaje

Con base en la literatura consultada, se optó por el modelo de Aprendizaje Basado en Proyectos, ya que sus objetivos tales como: fomentar el desarrollo de destrezas y habilidades, el aprendizaje significativo, y lo más importante, que relaciona el mundo educativo con el laboral, son puntos destacados para alcanzar los atributos de egreso de CACEI así como el nuevo perfil del estudiante por la influencia de la Industria 4.0; en tal sentido, se asegura la enseñanza continua del aprendizaje.

Mientras tanto, al realizar y resolver el proyecto en un contexto real, se promueven competencias específicas de la materia involucrada y transversales, como trabajo en equipo, comunicación afectiva, resolución de conflictos, liderazgo, capacidad de investigación, de planeación de tareas, entre otras.

Por lo anterior, se puede entender el concepto de proyecto en un sentido técnico, como al conjunto de actividades que, combinando recursos humanos, materiales, financieros y técnicos, se realizan con el propósito de conseguir un determinado objetivo o resultado, de acuerdo con los objetivos previstos en su diseño y conceptualización. Dichas actividades deben ser concretas, estar interrelacionadas y coordinarse entre sí [Egg, *et al.*, 2009]. De forma general, un proyecto tiene las siguientes etapas:

- Propósito del proyecto
- Planeación del proyecto
- Ejecución del proyecto

Finalmente, se trataron esos puntos para desarrollar y aplicar el proyecto para la materia CILP, tal como se describe a continuación.

4.1. Propósito del proyecto

Conformar una herramienta de evaluación para los estudiantes de la materia CILP, con base en los conocimientos previos que debe de adquirir el estudiante a lo largo del semestre con ayuda de guías de clase enfocadas al uso de la plataforma electro–neumática,

el diseño de algoritmos de control secuencial por medio de la filosofía GRAFCET y su implementación en lenguaje SFC. Con el objetivo de desarrollar un proyecto que esté fundamentado en el PMBOK, por lo cual se asegura una proyección hacia el ámbito laboral.

Todo lo anterior, está encaminado a crear una sinergia de habilidades técnicas, sociales, ya que involucra varias disciplinas del conocimiento, importantes para el futuro ingeniero.

4.2. Especificaciones del proyecto

El resultado de una buena planeación se verá reflejado en los objetivos que se quieren alcanzar, permitiendo el desarrollo integral y una difusión eficaz de la enseñanza en el estudiante.

Por consiguiente se puede hablar de manera formal de la propuesta de evaluación, la cual se aplica y se lleva a cabo en el Laboratorio de Automatización, en donde se localiza la plataforma electro–neumática, y a la vez, es el espacio de trabajo donde se imparte la materia de CILP.

El desarrollo de las guías de clase de teoría de CILP es la base para obtener el conocimiento del manejo del *software*, comunicación con el PAC, la instrumentación que integra la plataforma, la filosofía GRAFCET así como los lenguajes LD y SFC. Adicionalmente, es la pauta para darle a conocer a los estudiantes el proyecto final denominado “Control secuencial del sistema electro–neumático”, en donde es posible añadir el conocimiento sobre la gestión de proyectos, con el uso del PMBOK[®], procurando que el estudiante se sienta motivado y apto para realizar las actividades que lleven con éxito el proyecto.

La estructura del proyecto se da a conocer a través de una presentación (ver Figura 4.1). Los puntos a abordar son:

1. Alcance del proyecto
2. Calendarización
3. Automatización
4. Diagrama Gantt
5. Presentación final
6. Tabla de ordenamiento de variables
7. Diagrama de tiempos de la secuencia de pistones
8. Especificaciones de la secuencia
9. Diagrama de conexiones
10. GRAFCET traducido a SFC
11. Contenido del informe del proyecto
12. Rúbrica



Figura 4.1. Carátula de la presentación de proyecto final

Desglosando la lista anterior, se puede hablar más en detalle de cada punto:

Alcance del proyecto.- A continuación se mencionan los alcances del proyecto, los cuales desarrollará el estudiante:

- Automatizar el sistema de pistones de doble efecto de la plataforma electro-neumática mediante la filosofía GRAFCET
- Planificar tareas mediante un diagrama Gantt
- Generar el reporte del proyecto
- Realizar una presentación autocontenida
- Poner en funcionamiento el algoritmo diseñado

Los estudiantes de antemano saben reconocer y manipular la instrumentación de la plataforma, así como aplicar estrategias de control secuencial. Por lo que el desarrollo del proyecto se enfoca a que pongan en práctica lo que ya saben, de tal manera que puedan planear y priorizar tareas, así como conducir experimentos, tener la capacidad de síntesis, justificar su trabajo y tener una expresión corporal adecuada para la presentación oral.

Calendarización.- Con base en el desarrollo de las guías de clase, después de la guía que tiene por nombre “Desarrollo de rutinas de control secuencial” (ver Apéndice D.3), se considera el punto de partida para dar a conocer el proyecto. Programando la evaluación del mismo para la primera semana de finales, cuando las actividades de teoría y laboratorio hayan finalizado. De igual manera se prevee la disponibilidad en el laboratorio para que los estudiantes puedan desarrollar su estrategia de control secuencial.

Automatización.- En este apartado, se deben mencionar las características que debe tener el algoritmo de control secuencial. Desde la instrumentación a utilizar de la plataforma electro–neumática, el controlador donde se programará la secuencia, así como el lenguaje que esté bajo el estándar IEC 61131–3.

Diagrama Gantt.- Por medio del *software Microsoft Project* considerado como una herramienta gráfica estándar para la administración de proyectos se puede ejemplificar y realizar el diagrama Gantt, el cual es importante hacer hincapié de la importancia en las empresas, ya que es de relevancia saber planificar y priorizar tareas, además de poder visualizar el tiempo previsto para cada actividad y por consecuencia el tiempo de dedicación para todo el proyecto. Finalmente, este punto es importante para saber y entender el desarrollo y culminación del proyecto del estudiante, mismo que ellos realiza.

Un ejemplo del diagrama Gantt es como se observa en la Figura 4.2, la cual indica la ruta crítica, esto es, el saber cuáles son las actividades con mayor importancia, necesarias e indispensables para que el proyecto concluya según lo planificado.

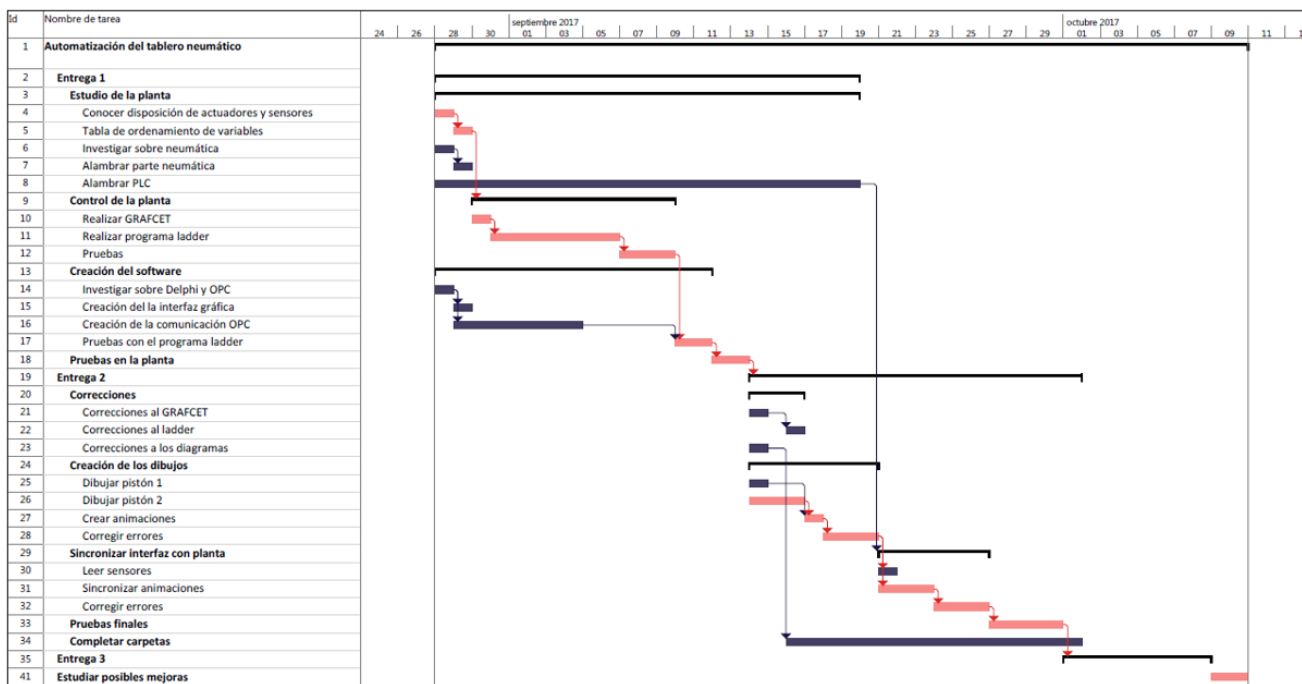


Figura 4.2. Ejemplo de ruta crítica

Por otro lado, la Figura 4.3 señala la ruta de seguimiento, esto es, la relación entre cada tarea, así como su tiempo destinado para realizarse y el porcentaje de avance de cada una.

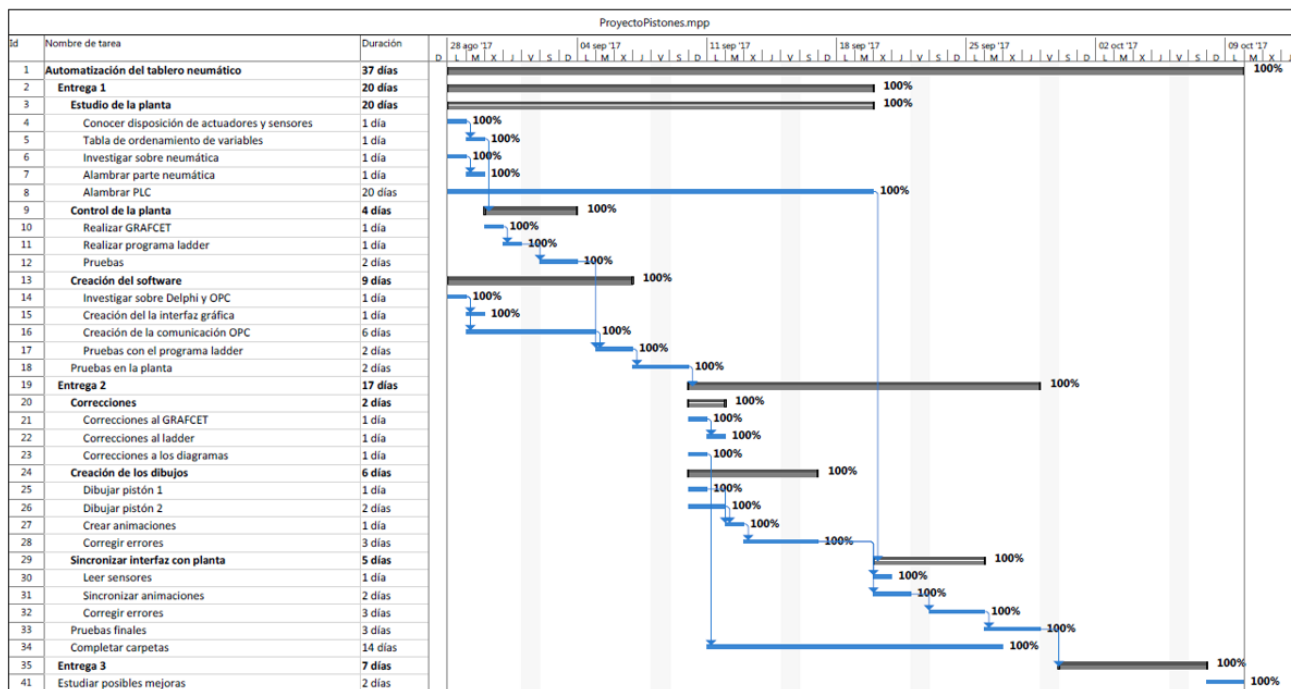


Figura 4.3. Ejemplo de seguimiento

Presentación Final.- Se asientan todos los puntos a ser evaluados, desde el funcionamiento de la secuencia de control sobre los cilindros de doble efecto, la documentación que se extiende desde el algoritmo implementado y explicado, así como la tabla de ordenamiento de variables, los diagramas de conexiones al controlador, diagrama neumático, diagrama Gantt y la información que el estudiante considere relevante para complementar su reporte y presentación.

Tabla de ordenamiento de variables.- Los estudiantes a lo largo del semestre aprenden a diseñar dicha tabla. Lo que la caracteriza es que cuenta con tres columnas donde se especifica la dirección, el nombre y la descripción de las variables que se han generado a partir del diseño del algoritmo de control. Para el proyecto se elaboró previamente la Tabla 4.1, lo cual busca homogeneizar el trabajo de todos los estudiantes para que identifiquen los dispositivos a controlar y también se eviten malos direccionamientos a partir del *software*.

ENTRADAS			SALIDAS		
DIRECCIÓN	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	DIRECCIÓN	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
Local:2:I.Data.0	START	Pulsador de arranque	Local:3:O.Data.0	EV_E1	Electroválvula de expulsión Pistón 1A
Local:2:I.Data.1	STOP	Pulsador de paro	Local:3:O.Data.1	EV_C1	Electroválvula de contracción Pistón 1A
Local:2:I.Data.2	SC1	Sensor contraído Pistón 1A	Local:3:O.Data.2	EV_E2	Electroválvula de expulsión Pistón 2A
Local:2:I.Data.3	SE1	Sensor expulsado Pistón 1A	Local:3:O.Data.3	EV_C2	Electroválvula de contracción Pistón 2A
Local:2:I.Data.4	SC2	Sensor contraído Pistón 2A	Local:3:O.Data.4	EV_E3	Electroválvula de expulsión Pistón 3A
Local:2:I.Data.5	SE2	Sensor expulsado Pistón 2A	Local:3:O.Data.5	EV_C3	Electroválvula de contracción Pistón 3A
Local:2:I.Data.6	SC3	Sensor contraído Pistón 3A			
Local:2:I.Data.7	SE3	Sensor expulsado Pistón 3A			
Local:2:I.Data.8	START	Pulsador de arranque			
Local:2:I.Data.9	STOP	Pulsador de paro			
Local:2:I.Data.10	SC4	Sensor contraído Pistón 1B	Local:3:O.Data.8	EV_E4	Electroválvula de expulsión Pistón 1B
Local:2:I.Data.11	SE4	Sensor expulsado Pistón 1B	Local:3:O.Data.9	EV_C4	Electroválvula de contracción Pistón 1B
Local:2:I.Data.12	SC5	Sensor contraído Pistón 2B	Local:3:O.Data.10	EV_E5	Electroválvula de expulsión Pistón 2B
Local:2:I.Data.13	SE5	Sensor expulsado Pistón 2B	Local:3:O.Data.11	EV_C5	Electroválvula de contracción Pistón 2B
Local:2:I.Data.14	SC6	Sensor contraído Pistón 3B	Local:3:O.Data.12	EV_E6	Electroválvula de expulsión Pistón 3B
Local:2:I.Data.15	SE6	Sensor expulsado Pistón 3B	Local:3:O.Data.13	EV_C6	Electroválvula de contracción Pistón 3B

Tabla 4.1. Tabla de ordenamiento de variables

Diagrama de tiempos de la secuencia de pistones.- La disposición de los cilindros de doble efecto, al estar orientados hacia un solo sentido permite visualmente observar la expulsión y contracción de cada émbolo. Sin embargo, la elección de la secuencia es con base a las condiciones repetidas en algunos puntos, lo que representa un reto para el estudiante, quien debe diseñar un algoritmo robusto, esto es, a prueba de perturbaciones, que no genere fallos o pueda alterarse su secuencia, así como las veces que debe repetirse. Con base en un diagrama de tiempos como se observa en la Figura 4.4 se debe explicar la secuencia propuesta que se desea lograr.

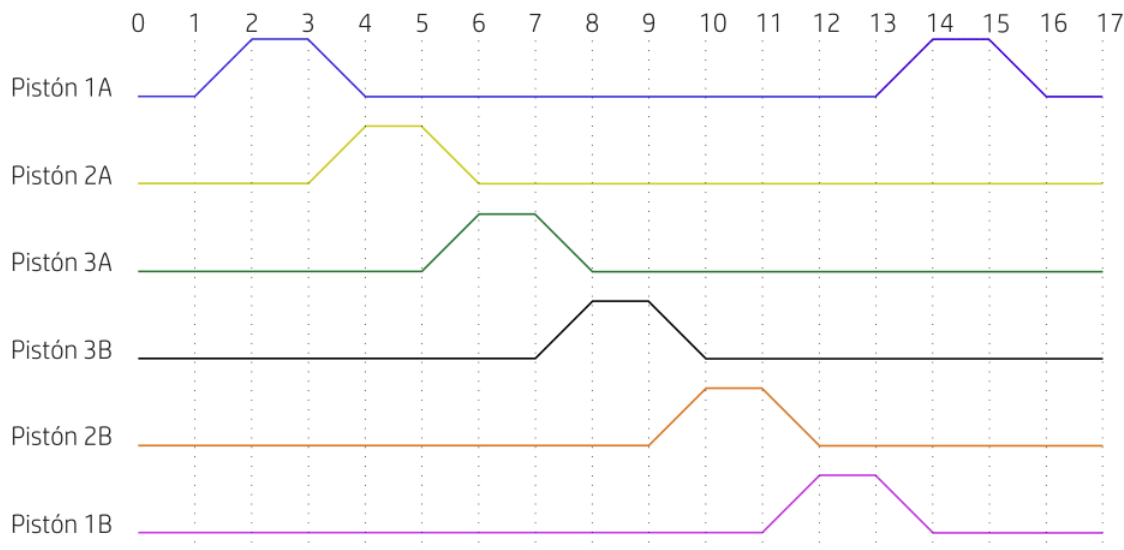


Figura 4.4. Secuencia a implementar con base en un diagrama de tiempos

Especificaciones de la secuencia.- Con base en lo anterior y con el apoyo del diagrama de tiempos como una manera sencilla y visual de entender la secuencia es como se deben aclarar otros puntos:

1. Etapa *Home*: Todos los pistones deben iniciar contraídos, lo cual asegura que la secuencia va a empezar como se propone, y esto debe ser antes de que el operador presione el pulsado de *START*.
2. Al presionarse el pulsador *START* la secuencia debe iniciar, expulsando el pistón 1A y continuar como lo marca el diagrama de tiempos.
3. El pulsador *STOP* detiene completamente la secuencia en la etapa actual. Para continuar, se debe quitar *STOP* y presionar nuevamente *START*.
4. Para la condición de *RESET*, deben considerarse los pulsadores *START* y *STOP*, sólo cuando ambos estén presionados, se activa.
5. La secuencia debe repetirse tres veces.

Diagramas de conexiones.- Una de las habilidades que requieren los estudiantes es la elaboración de documentos técnicos con el uso de *software* especializado y que además sea relevante en el ambiente laboral. El elaborar diagramas de conexiones permite tener una visión sobre la distribución de la energía eléctrica, sobre lo que está conectado y su representación y las normas que los rigen.

Actualmente las conexiones de los *slots* del Controlador *Allen-Bradley ControlLogix 1756-L71* (ver B.1) son como se muestran en los Apéndices B.2 y B.3

Contenido del informe del proyecto.- Es donde se asientan los puntos que deben estar plasmados en el reporte por escrito, de tal manera, que el estudiante después del desarrollo de su proyecto, muestre su capacidad de análisis y síntesis, ya que se relacionan con varias competencias como pensamiento crítico, resolución de problemas, organización, planificación y toma de decisiones, entre otras. Los cuales son los siguientes:

1. Portada (rúbrica)
2. Índice de contenidos
3. Planteamiento del problema
4. Objetivos
5. Desarrollo del proyecto
6. Aportaciones del grupo de trabajo
7. Conclusión
8. Discusión
9. Referencias

Cabe señalar que una de las habilidades a potenciar es el capacidad de trabajo en equipo, por lo que toma importancia el punto número 6.

Rúbrica de evaluación.- Es vital que los estudiantes con antelación sepan y entiendan los rubros que se van a evaluar, evitando la subjetividad de la calificación. La cual se diseñó específicamente para el proyecto y se puede consultar en el Apéndice C.1.

Como se mencionó antes, va dirigido a los estudiantes, tiene la función de que sirva como una herramienta de evaluación, cubriendo muchos aspectos en la formación de los futuros profesionales.

4.3. Ejecución del proyecto

La metodología de PjBL tiene como característica que el estudiante cuente con conocimientos previos, mismos que se adquieren y desarrollan en la asignatura de CILP a lo largo de las actividades propuestas en cada guía de clase. Siendo las más relevantes:

1. Configuración del Emulador ControlLogix – Temporizadores, ver Apéndice D.1
2. Introducción a la neumática con sistemas secuenciales, ver Apéndice D.2
3. Desarrollo de rutinas de control secuencial, ver Apéndice D.3

A su vez, tales guías de clase están diseñadas de forma general por los siguientes aspectos:

- Objetivos
- Recursos
- Seguridad en la ejecución de la actividad
- Fundamento teórico
- Desarrollo de la actividad
- Observaciones y conclusiones
- Referencias

De tal manera que con la guía nombrada “Configuración del Emulador de ControlLogix–Temporizadores”, el estudiante podrá conocer el entorno del software emulado, así como crear un proyecto en él, permitiendo identificar las instrucciones de temporización, comprender su comportamiento por medio de los diagramas de tiempos y con aplicación directa al tener que resolver ejercicios que involucre lo antes mencionado.

Siguiendo con el mismo tenor de ideas, para la guía “Introducción a la neumática con sistemas secuenciales”, se pretende que el estudiante conozca la instrumentación básica que compone la plataforma electro–neumática, de tal manera que pueda diferenciar entre los sistemas combinacionales y secuenciales, por medio del diseño y desarrollo de rutinas de control secuencial, implementadas en el lenguaje LD del estándar IEC 61131–3.

Finalmente, la guía “Desarrollo de rutinas de control secuencial”, está dirigida a que el estudiante conozca la metodología GRAFCET, así como los elementos y la simbología

que la componen, por consiguiente, que sean capaces de implementar la metodología, ya sea en lenguaje de programación LD o SFC, de tal manera que aumente su capacidad de planear y diseñar sistemas lógicos secuenciales.

A partir de lo anterior, se marca la fecha de la evaluación. Por lo que la primer tarea a realizar es el Diagrama de Gantt, ya que el estudiante debe planificar su tiempo y priorizar sus actividades, para llevar con éxito su proyecto.

Capítulo 5

Evaluación y resultados de la propuesta de proyecto

Para realizar la validación del uso correcto y dirigido de la plataforma electro–neumática, se le permitió a la autora de esta tesis el diseño y desarrollo de guías de clase, las cuales se pueden observar en los Apéndices D.1, D.2 y D.3, además de que anteriormente fueron descritas. El desarrollo de cada una en las sesiones de clase es importante, ya que contienen los conocimientos mínimos y previos para abordar el proyecto.

Por otro lado, cuando se habla del proyecto por primera vez frente al grupo, se mencionan los entregables que el estudiante debe generar, se aclaran dudas que puedan surgir, y se hace hincapié en la rúbrica de evaluación, con este documento se quiere evitar la subjetividad de la calificación y se pretende abordar dos aspectos importantes que el egresado de ingeniería debe desarrollar: una exposición oral y generar un informe escrito del proyecto.

La rúbrica de evaluación expone aspectos que el estudiante debe demostrar y potenciar, relacionados a las habilidades técnicas, sociales e interpersonales. Las cuales, las últimas dos son de gran importancia para los nuevos perfiles que buscan las industrias.

Por lo anterior, es necesario ahondar más sobre las rúbricas diseñadas y la información que contienen para este proyecto.

5.1. Rúbrica de evaluación de exposición oral

Con la exposición oral se busca que el estudiante explique el desarrollo de su proyecto, de manera que quien lo esté escuchando comprenda el tema. Adicionalmente, debe demostrar un dominio sobre cada etapa del proceso, por lo que es importante que cuente con una estructura para exponer sus ideas de forma clara y sencilla, conservando un tono de voz y un ritmo a lo largo de la presentación, para no perder la atención o el interés por parte del público.

La rúbrica para evaluar la exposición oral es la que se observa en el Figura 5.1. La cual indica los conceptos, su descripción y ponderación de cada uno. Son rubros importantes a evaluar que van más allá del éxito del proyecto y del conocimiento que adquirieron, pues

hoy en día las industrias buscan gente con pensamiento crítico, habilidades de comunicación y negociación, interpersonales y de empatía.

De tal manera que este tipo de evaluación beneficie directamente al estudiante, así como el logro de niveles cognitivos cada vez más altos con base en los atributos de egreso que buscan las instituciones educativas.

RÚBRICA DE EVALUACIÓN DE EXPOSICIÓN ORAL			
CONCEPTOS, RUBROS O ASPECTOS A EVALUAR	BUENO (2 PUNTOS)	REGULAR (1 PUNTO)	NO ACEPTABLE (0 PUNTOS)
	Completo entendimiento del problema, realiza la actividad cumpliendo todos los requerimientos.	Bajo entendimiento del problema, realiza la actividad cumpliendo algunos de los requerimientos.	No demuestra entendimiento del problema o de la actividad.
1. Estructura y contenido	Presenta la información completa y sigue la secuencia lógica del tema	Presenta información parcial siguiendo la secuencia del tema	Presenta escasa información y carece de estructura
2. Cadencia	El volumen es adecuado y modula la voz de acuerdo con la situación	Expone el tema muy rápido sin hacer énfasis en ideas importantes	Habla demasiado bajo
3. Expresión oral	Emplea adecuadamente términos técnicos al referirse a los equipos, instrumentos y diagramas	Utiliza equivocadamente algunos términos	Hace uso de términos coloquiales frecuentemente
4. Dominio temático	Expone con claridad y argumenta cada etapa del diseño y desarrollo del proyecto correctamente	Responde parcialmente a las preguntas y no discute adecuadamente el tema	No explica las etapas del diseño y desarrollo
5. Expresión corporal	Establece contacto visual con toda la audiencia y hace uso adecuado del lenguaje corporal	Se desenvuelve con nerviosismo aunque emplea movimientos corporales de énfasis	Realiza movimientos que denotan inseguridad
ATRIBUTOS DEL EGRESADO A LOS QUE CONTRIBUYE LA EXPOSICIÓN ORAL DEL PROYECTO			NIVEL
<p>A2. Aplicar, analizar y sintetizar procesos de diseño de ingeniería que resulten en proyectos que cumplen las necesidades especificadas.</p> <p>A3. Desarrollar y conducir experimentación adecuada; analizar e interpretar datos y utilizar el juicio ingenieril para establecer conclusiones.</p> <p>A4. Comunicarse eficazmente de manera oral y escrita sobre temas de ingeniería.</p> <p>A7. Trabajar en equipo con el objeto de diseñar, desarrollar, integrar, planear y poner en operación sistemas eléctricos y electrónicos, analizando riesgos.</p>			
			Avanzado
			Avanzado
			Medio
			Avanzado
			Calificación

Figura 5.1. Rúbrica de evaluación de exposición oral

Finalmente, el estudiante reconoce la utilidad del proyecto para identificar por si mismo sus debilidades al exponer, así como recibir críticas constructivas por parte de sus compañeros. Ya que idealmente no debería separarse el hablar frente al público con el tipo de asignatura que se está cursando.

Otro aspecto que se considera es la entrega de un informe escrito donde se incluyen entregables que se emplean en la industria.

5.2. Rúbrica de evaluación del informe de proyecto

Con la elaboración de un informe escrito se busca en el estudiante structure y exprese sus ideas de manera lógica y coherente, reflejadas en una redacción concisa y clara, sin descuidar su ortografía y sintaxis. De tal manera que los entregables solicitados estén incluidos, cumpliendo en cada uno con las especificaciones señaladas.

Los aspectos a evaluar para esta rúbrica son los que se observan en la Figura 5.2. De igual manera, se tomaron en cuenta los atributos de egreso.

RÚBRICA DE EVALUACIÓN DEL INFORME DE PROYECTO			
CONCEPTOS, RUBROS O ASPECTOS A EVALUAR	BUENO (2 PUNTOS)	REGULAR (1 PUNTO)	NO ACEPTABLE (0 PUNTOS)
	Completo entendimiento del problema, realiza la actividad cumpliendo todos los requerimientos.	Bajo entendimiento del problema, realiza la actividad cumpliendo algunos de los requerimientos.	No demuestra entendimiento del problema o de la actividad.
1. Planteamiento del proyecto	Plantea claramente el problema a resolver, los objetivos y establece el alcance del proyecto	Describe el problema y objetivos sin establecer el alcance	No formula el planteamiento del problema, objetivos ni alcance
2. Planeación de tareas	Realiza la planeación del proyecto siguiendo las recomendaciones del PMBOK y realiza el seguimiento del proyecto con un diagrama Gantt adecuado	Planea de parcialmente las tareas y actividades del proyecto y propone un diagrama Gantt con algunos errores	No planea las actividades ni realiza seguimiento del proyecto con el diagrama Gantt
3. Documentación técnica	Desarrolla correctamente diagramas de conexión al controlador empleando la simbología eléctrica IEC, hojas de especificaciones de instrumentos, tabla de ordenamiento de variables y galería fotográfica	Realiza los diagramas con algunos errores, no cumple con todos los requisitos o están incompletos	No entrega diagramas de conexión ni otra documentación técnica
4. Diseño y desarrollo	Diseña correctamente la rutina de control, código de rutinas de configuración y comunicación con todas las especificaciones solicitadas	Se incluyen algunos códigos las rutinas con carencias u omisiones	No incluye rutina de control, comunicación o presenta inconsistencias
5. Evaluación, conclusiones y discusión	Presenta un funcionamiento correcto, reflexiona sobre las actividades, demuestra pensamiento crítico en el desarrollo del proyecto y aporta con conclusiones, discusión y recomendaciones	El funcionamiento no es del todo satisfactorio, las conclusiones generadas son únicamente un recuento de lo realizado y genera escasas observaciones	No demuestra un funcionamiento correcto ni genera conclusiones y observaciones
ATRIBUTOS DEL EGRESADO A LOS QUE CONTRIBUYE INFORME DEL PROYECTO			NIVEL
A2. Aplicar, analizar y sintetizar procesos de diseño de ingeniería que resulten en proyectos que cumplen las necesidades especificadas.			Avanzado
A3. Desarrollar y conducir experimentación adecuada; analizar e interpretar datos y utilizar el juicio ingenieril para establecer conclusiones.			Avanzado
A7. Trabajar en equipo con el objeto de diseñar, desarrollar, integrar, planear y poner en operación sistemas eléctricos y electrónicos, analizando riesgos.			Avanzado
			Calificación

Figura 5.2. Rúbrica de evaluación del informe de proyecto

5.3. Resultados de la propuesta de proyecto

Para analizar en mayor o menor medida el impacto de la propuesta del proyecto, se tomaron en cuenta los tres grupos de la asignatura CILP del semestre 2019–1, con un total de 23 estudiantes evaluados. Así mismo, con el resultado de ambas rúbricas, se extrajo el promedio de cada aspecto que la constituye, y para visualizar tales resultados se optó por generar un gráfico radial donde se puedan en conjunto visualizar y comparar.

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la **rúbrica de evaluación de exposición oral** en la Figura 5.3, así como una breve discusión acerca de ellos.

Como se logra apreciar en la imagen, se señala el rubro y el promedio obtenido en cada aspecto. Con base en el gráfico, se observa que en la escala de 0–10, su fortaleza apunta en el rubro del dominio temático, esto se piensa que este asociado con la estructura que fue desarrollando en cada guía de clase a lo largo del semestre además del compromiso individual de cada estudiante por cumplir con cada etapa del proyecto. En tal sentido, es de esperarse que el segundo promedio alto esté ligado a la estructura y contenido, el cual los estudiantes con apoyo en material visual fueron explicando conservando en la mayoría de los estudiantes una secuencia y lógica.

Por otro lado, aspectos como cadencia, expresión corporal y expresión oral no rebasan un promedio mayor a 8, y esto se debe a que los estudiantes comentan que representó un reto al tener que considerar dichos conceptos para su evaluación. Sin embargo, es de preocuparse porque son medios de comunicación importantes en el caso de asistir a una entrevista laboral.

En definitiva hablar en público requiere de muchos factores, como el ensayo de un guión y técnicas de oratoria, por lo que la falta de experiencia y oportunidades que han tenido los estudiantes se puso en evidencia.

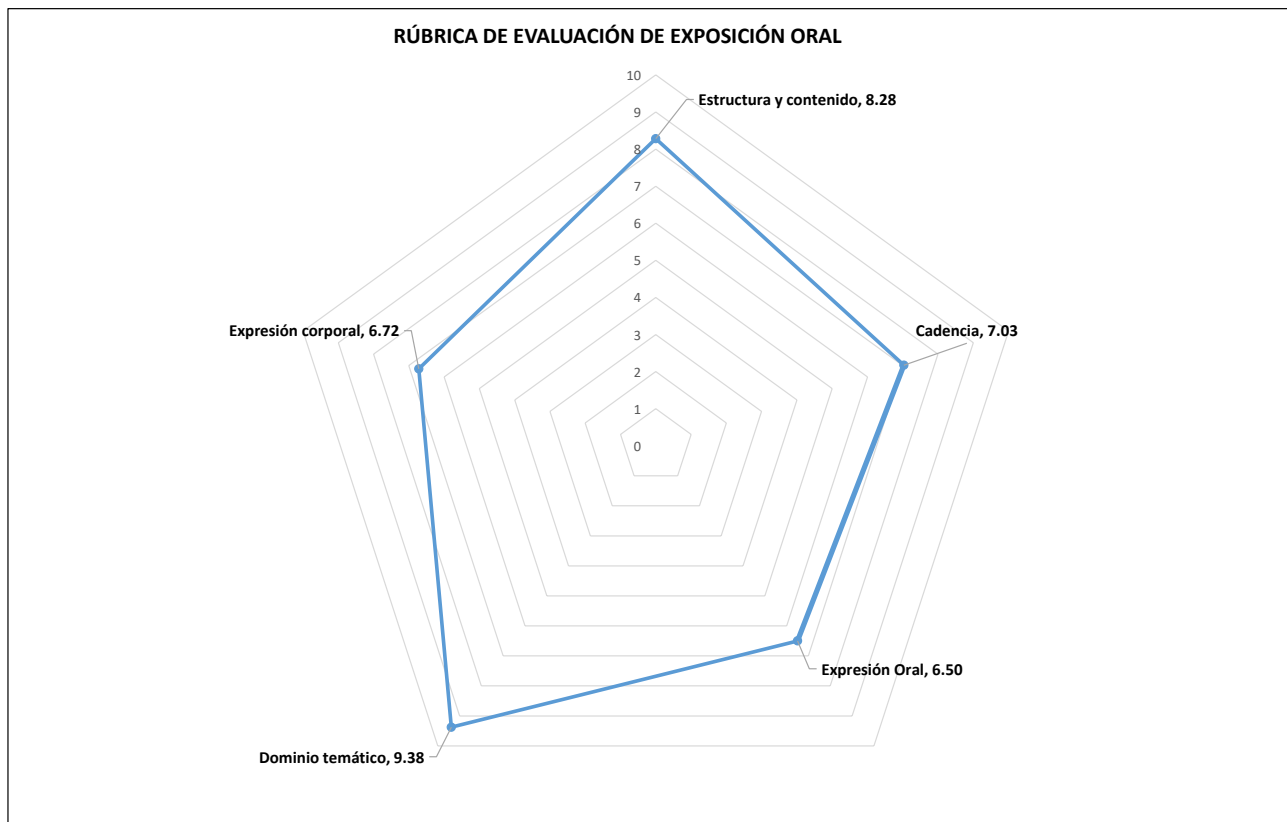


Figura 5.3. Resultados de la rúbrica de evaluación de exposición oral

En el caso de la **rúbrica de evaluación del informe de proyecto** se obtuvieron los resultados que se muestran en la Figura 5.4, permitiendo la siguiente discusión acerca de los aspectos que la integran.

Con un promedio de 9.83 en el aspecto de diseño y desarrollo, se demuestra que los estudiantes, en su mayoría, lograron diseñar la rutina de control que se les solicitó, esto se debe en gran medida por los conocimientos previos obtenidos a lo largo del semestre. Además, de tener la capacidad de síntesis al explicar de forma sucinta tanto el problema que se pretendía resolver como los objetivos y el alcance, por lo que el concepto de planteamiento del problema obtuvo un promedio de 8.75.

En cambio, el aspecto de planeación de tareas no logró tener un promedio mayor a 7 debido a que al ser la primera vez, la mayoría de los estudiantes elaboró un diagrama Gantt en base a las actividades que hicieron para desarrollar el proyecto, por lo que se observaba como una lista de tareas. Pero por otro lado, hubo estudiantes que planearon el tiempo tanto de sus otras asignaturas como las del proyecto, que lograban terminarlo en una semana o tener una semana para otras actividades, por lo que no representaba un retraso en la entrega.

Otra habilidad que debe desarrollar el estudiante es la capacidad de elaborar documentos técnicos esto se ve reflejado en el gráfico por la poca o nula experiencia que tienen para interpretar un diagrama de conexión, reconocer la simbología, las normas así como el

software que les pueda ayudar a realizarlos. Y el interpretar o dibujar planos es valorado en la industria.

Finalmente, el aspecto de evaluación, conclusiones y discusión, es el que debe buscar más allá si estuvo bien o no la ejecución del proyecto, sino que el estudiante de su punto de vista sobre esos conceptos, ya que es vital para la mejora de este trabajo.

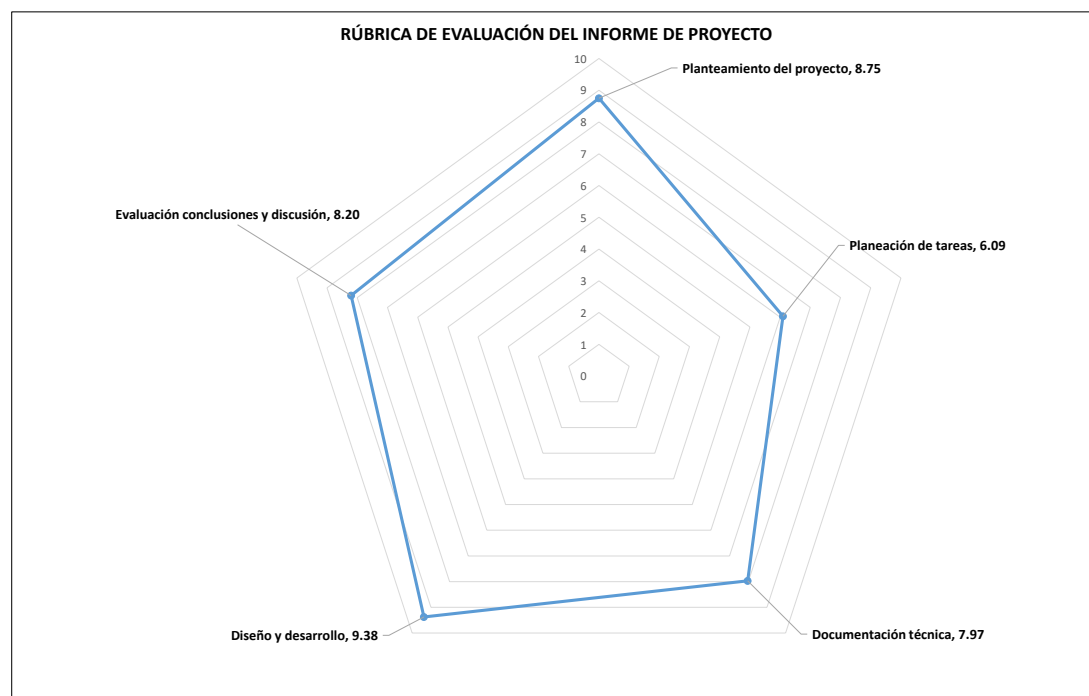


Figura 5.4. Resultados de la rúbrica de evaluación del informe de proyecto

En resumidas cuentas, la implementación del proyecto permitió responder a la hipótesis del problema, ya que se logró ir más allá que solo la adquisición de conocimientos, sino que se logró que el estudiante también valore la importancia de contar con un grado alto de desarrollo en las habilidades técnicas, comunicativas e interpersonales.

5.4. Medición de la metodología propuesta

Por otro lado, se consideró la opinión de los estudiantes, sobre las guías de clase, los aspectos que se consideraron para el proyecto y las veces que han tenido la oportunidad de estar frente al público en su trayectoria universitaria. Lo cual permite una mayor visión sobre lo que significó para los estudiantes esta experiencia y al mismo contribuye a detectar los puntos perfectibles en las bases y planteamiento del proyecto.

La encuesta aplicada se encuentra en el Apéndice E.1.

Capítulo 6

Conclusiones

Uno de los objetivos fundamentales de este trabajo fue el diseño e implementación de una plataforma experimental, la cual se encuentra operativa, desde los dispositivos electro–neumáticos que la componen, la comunicación y configuración con el controlador industrial, hasta las estrategias de control que se pueden aplicar a ella. Además, se logró a partir del conector Centronics agrupar las entradas y salidas, lo que permite su flexibilidad de comunicación con cualquier autómata programable. De tal manera, resulta inmediata su aplicación para las sesiones de clase en la asignatura CILP, a través de las guías de clase desarrolladas.

Por otro lado, la metodología de enseñanza–aprendizaje propuesta a partir de involucrar el uso de la plataforma electro–neumática cumple con abordar elementos propios del ambiente industrial. Con base en los resultados obtenidos a partir de la rúbrica de evaluación y la encuesta realizada se observó el impacto del proyecto sobre las habilidades técnicas, comunicativas e interpersonales en los estudiantes de la asignatura de CILP del semestre 2019–1. Por lo que se afirma que sí existe una significativa desproporción entre las habilidades mencionadas, debido a la poca o nula experiencia que tiene el estudiante para participar en actividades encaminadas a fortalecerlas. Sin embargo, no fue sorpresa que los conceptos como dominio temático, y los relacionados al informe del proyecto fueran altos, en vista de que los estudiantes ponen en práctica repetidamente los conocimientos que van adquiriendo a lo largo del semestre.

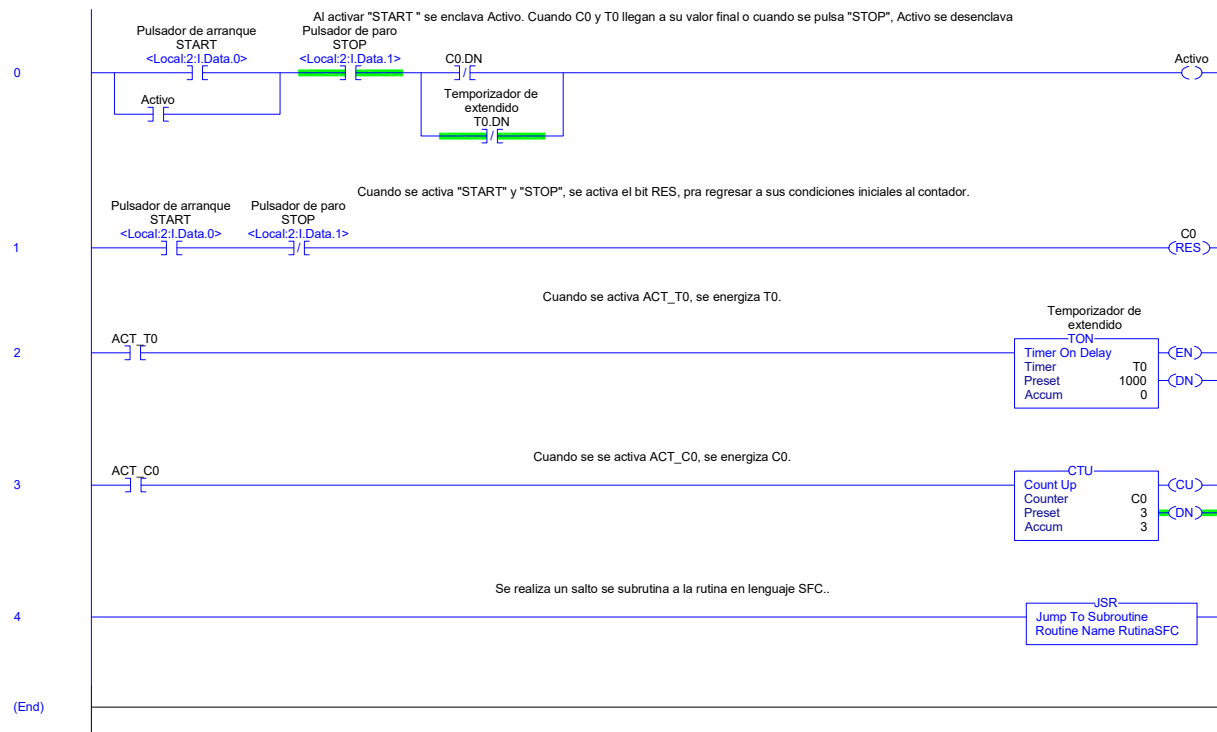
En tal sentido, la metodología a parte de validar lo antes mencionado, también busca concientizar a los involucrados, sobre la importancia de conocer, desarrollar y aplicar actividades dirigidas a recrear situaciones reales de un ambiente industrial, con el objetivo de lograr un nivel óptimo de conocimientos necesarios para que el futuro profesionista se pueda desempeñar en su área de interés.

Como sabemos, todo es perfectible, en tal sentido, la metodología propuesta también es considerada así, ya que como todo proceso de enseñanza–aprendizaje, debe existir esa retroalimentación que permita considerar en adelante otros aspectos o limitar algunos, como añadir otra guía de clase relacionada al lenguaje SFC, profundizar sobre el uso del diagrama Gantt, así como la implementación de un hito intermedio de revisión, realizada a la mitad del periodo de ejecución del proyecto, para que los estudiantes reciban retroalimentación por parte del profesor.

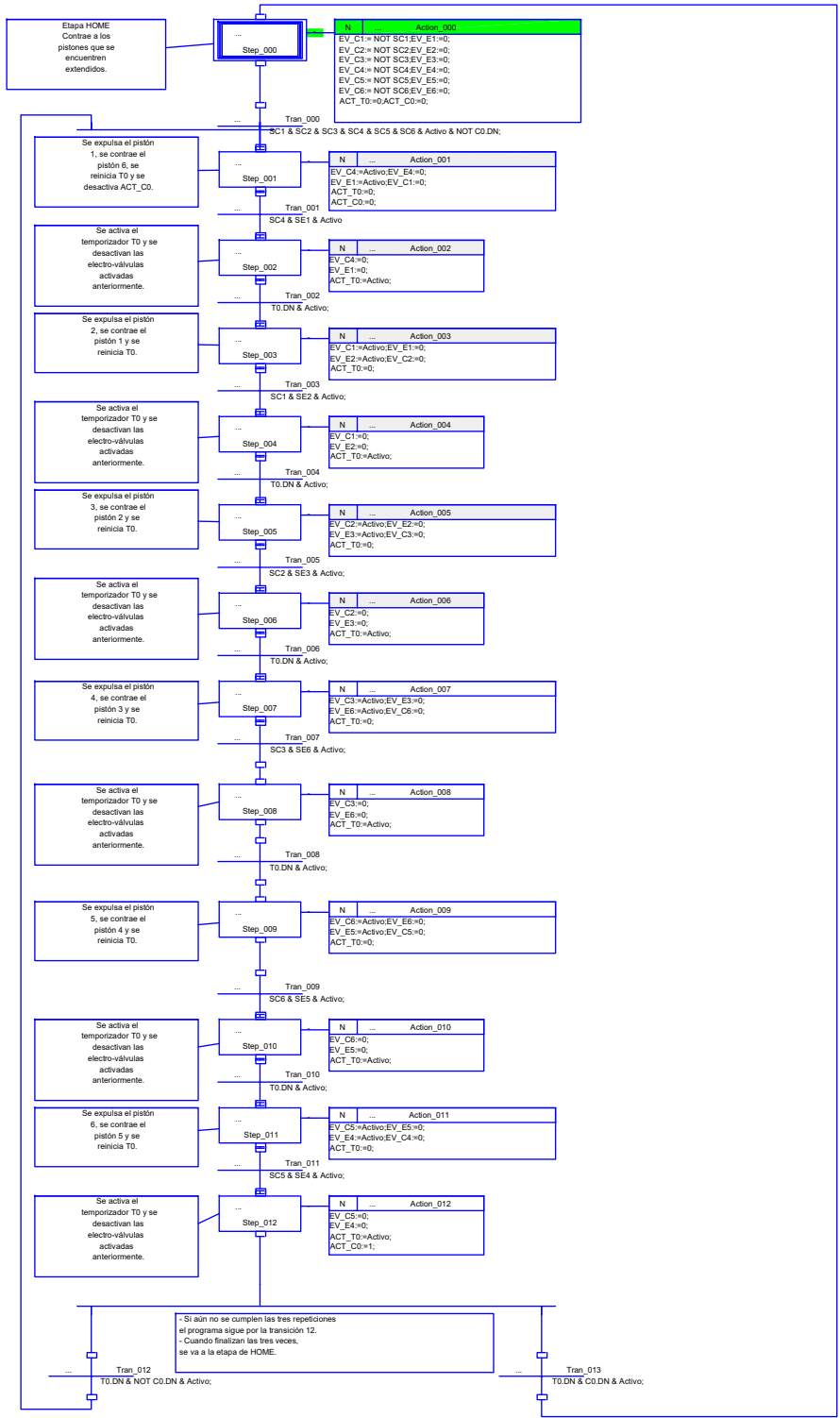
Finalmente, se anhela que esta metodología sea implementada en otras asignaturas, con lo cual se espera contribuir al logro de los atributos del egresado en las instituciones educativas fortaleciendo así el desarrollo del país.

Apéndice A

Propuesta de secuencia de control



Apéndice A.1. Rutina en lenguaje LD implementada en Studio 5000 Logix Designer



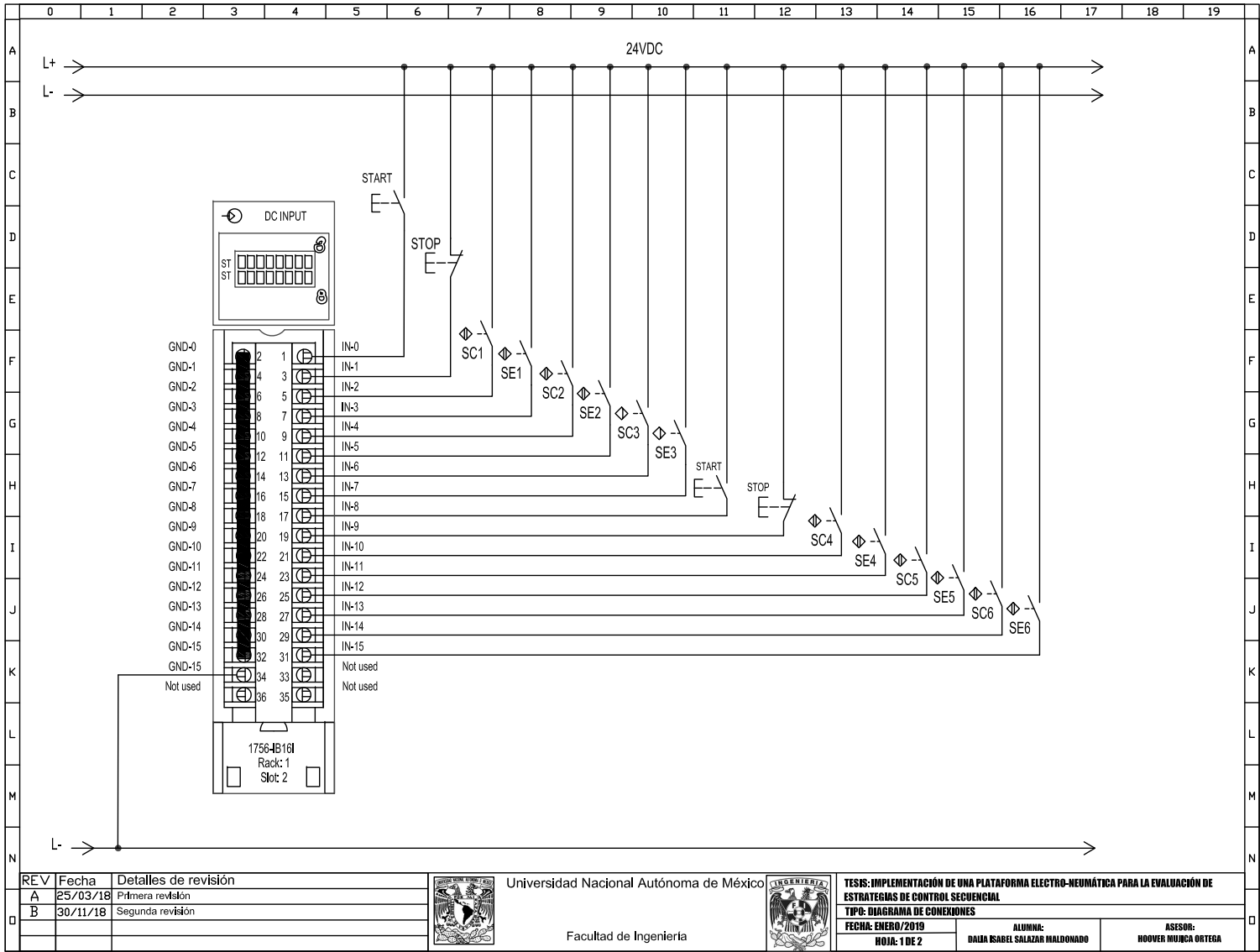
Apéndice A.2. Rutina en lenguaje SFC implementada en Studio 5000 Logix Designer

Apéndice B

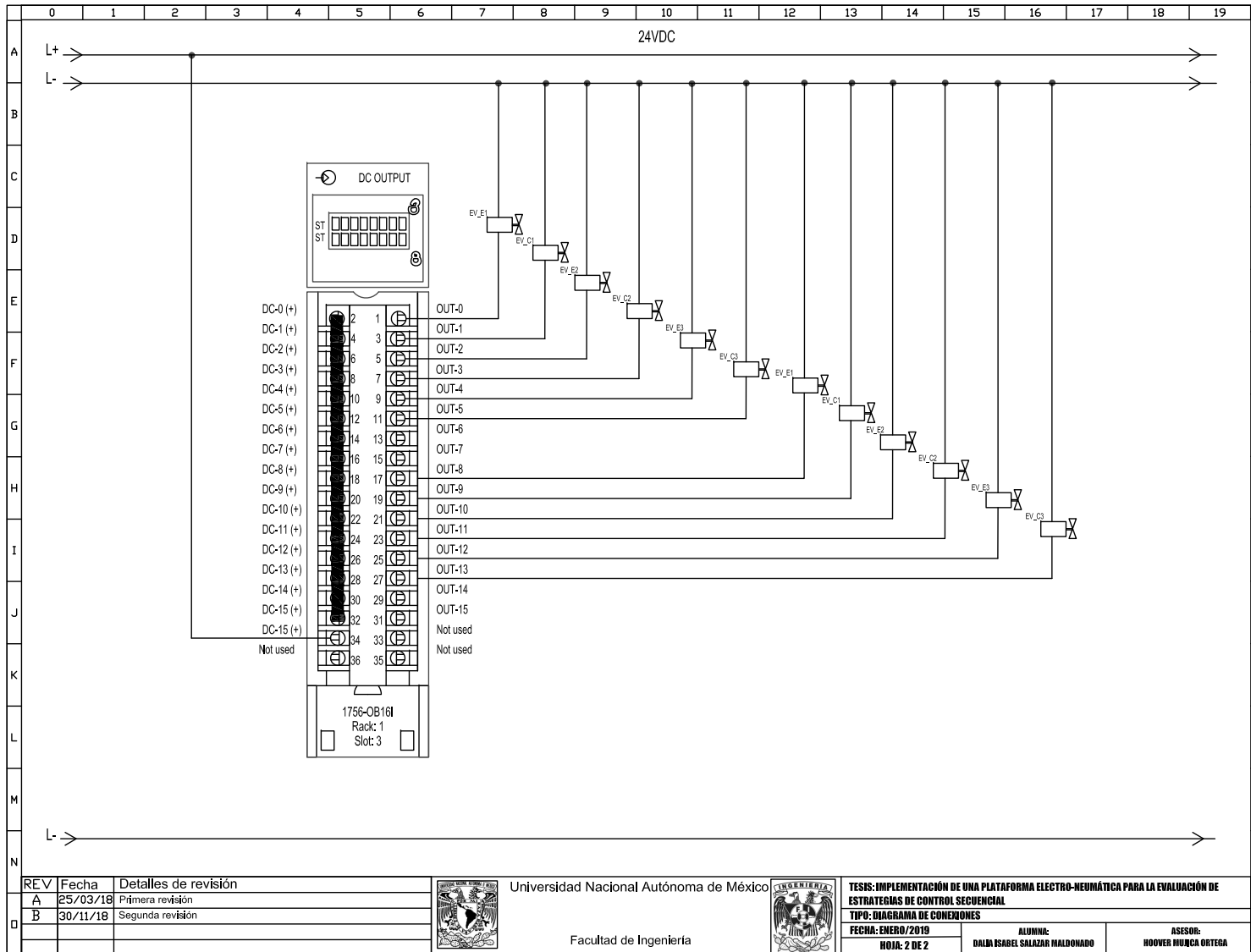
PAC, diagramas de conexiones eléctricas y neumáticas



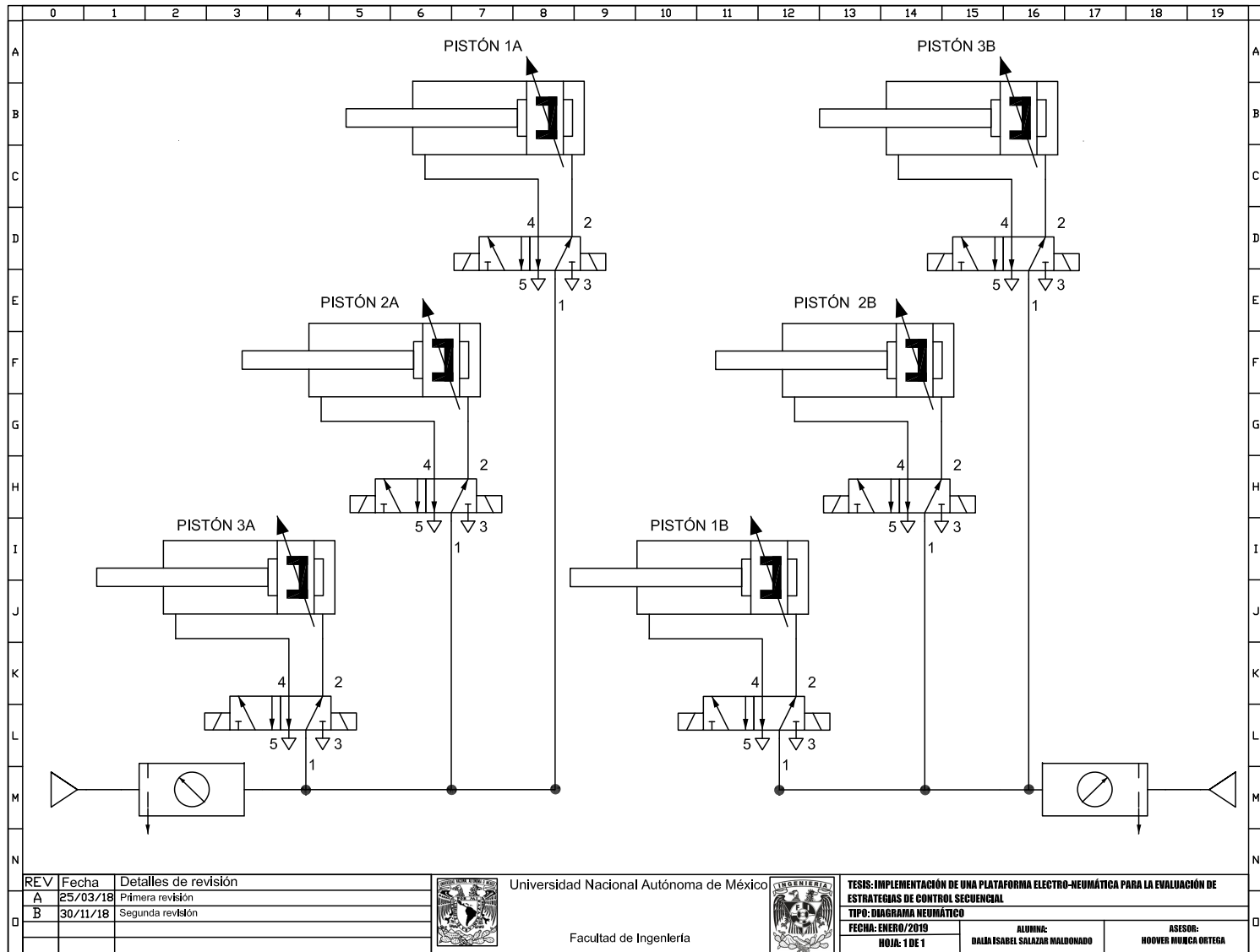
Apéndice B.1. Controlador ControlLogix® 1756-L71



Apéndice B.2. Diagrama de conexiones al módulo de entradas digitales



Apéndice B.3. Diagrama de conexiones al módulo de salidas digitales



Apéndice B.4. Diagrama neumático

Apéndice C

Portada de proyecto



DIVISIÓN DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE CONTROL Y ROBÓTICA
ACADEMIA DE AUTOMATIZACIÓN



HM

P1

Controladores Industriales de Lógica Programable
Clave(1883)

— Informe de proyecto N°1 —

CONTROL SECUENCIAL DE SISTEMA ELECTRO-NEUMÁTICO

Apellidos y nombres:			
Grupo:	Profesor:	Fecha:	
Semestre:	2019-1	Dr. Hoover Mujica Ortega	EWS:

RÚBRICA DE EVALUACIÓN DE EXPOSICIÓN ORAL

CONCEPTOS, RUBROS O ASPECTOS A EVALUAR	BUENO (2 PUNTOS) Completo entendimiento del problema, realiza la actividad cumpliendo todos los requerimientos.	REGULAR (1 PUNTO) Bajo entendimiento del problema, realiza la actividad cumpliendo algunos de los requerimientos.	NO ACEPTABLE (0 PUNTOS) No demuestra entendimiento del problema o de la actividad.
1. Estructura y contenido	Presenta la información completa y sigue la secuencia lógica del tema	Presenta información parcial siguiendo la secuencia del tema	Presenta escasa información y carece de estructura
2. Cadencia	El volumen es adecuado y modula la voz de acuerdo con la situación	Expone el tema muy rápido sin hacer énfasis en ideas importantes	Habla demasiado bajo
3. Expresión oral	Emplea adecuadamente términos técnicos al referirse a los equipos, instrumentos y diagramas	Utiliza equivocadamente algunos términos	Hace uso de términos coloquiales frecuentemente
4. Dominio temático	Expone con claridad y argumenta cada etapa del diseño y desarrollo del proyecto correctamente	Responde parcialmente a las preguntas y no discute adecuadamente el tema	No explica las etapas del diseño y desarrollo
5. Expresión corporal	Establece contacto visual con toda la audiencia y hace uso adecuado del lenguaje corporal	Se desenvuelve con nerviosismo aunque emplea movimientos corporales de énfasis	Realiza movimientos que denotan inseguridad

ATRIBUTOS DEL EGRESADO A LOS QUE CONTRIBUYE LA EXPOSICIÓN ORAL DEL PROYECTO

ATRIBUTOS DEL EGRESADO A LOS QUE CONTRIBUYE LA EXPOSICIÓN ORAL DEL PROYECTO	NIVEL	Calificación
A2. Aplicar, analizar y sintetizar procesos de diseño de ingeniería que resulten en proyectos que cumplen las necesidades especificadas.	Avanzado	
A3. Desarrollar y conducir experimentación adecuada; analizar e interpretar datos y utilizar el juicio ingenieril para establecer conclusiones.	Avanzado	
A4. Comunicarse eficazmente de manera oral y escrita sobre temas de ingeniería.	Medio	
A7. Trabajar en equipo con el objeto de diseñar, desarrollar, integrar, planear y poner en operación sistemas eléctricos y electrónicos, analizando riesgos.	Avanzado	

RÚBRICA DE EVALUACIÓN DEL INFORME DE PROYECTO

CONCEPTOS, RUBROS O ASPECTOS A EVALUAR	BUENO (2 PUNTOS) Completo entendimiento del problema, realiza la actividad cumpliendo todos los requerimientos.	REGULAR (1 PUNTO) Bajo entendimiento del problema, realiza la actividad cumpliendo algunos de los requerimientos.	NO ACEPTABLE (0 PUNTOS) No demuestra entendimiento del problema o de la actividad.
1. Planteamiento del proyecto	Plantea claramente el problema a resolver, los objetivos y establece el alcance del proyecto	Describe el problema y objetivos sin establecer el alcance	No formula el planteamiento del problema, objetivos ni alcance
2. Planeación de tareas	Realiza la planeación del proyecto siguiendo las recomendaciones del PMBOK y realiza el seguimiento del proyecto con un diagrama Gantt adecuado	Planea de parcialmente las tareas y actividades del proyecto y propone un diagrama Gantt con algunos errores	No planea las actividades ni realiza seguimiento del proyecto con el diagrama Gantt
3. Documentación técnica	Desarrolla correctamente diagramas de conexión al controlador empleando la simbología eléctrica IEC, hojas de especificaciones de instrumentos, tabla de ordenamiento de variables y galería fotográfica	Realiza los diagramas con algunos errores, no cumple con todos los requisitos o están incompletos	No entrega diagramas de conexión ni otra documentación técnica
4. Diseño y desarrollo	Diseña correctamente la rutina de control, código de rutinas de configuración y comunicación con todas las especificaciones solicitadas	Se incluyen algunos códigos las rutinas con carencias u omisiones	No incluye rutina de control, comunicación o presenta inconsistencias
5. Evaluación, conclusiones y discusión	Presenta un funcionamiento correcto, reflexiona sobre las actividades, demuestra pensamiento crítico en el desarrollo del proyecto y aporta con conclusiones, discusión y recomendaciones	El funcionamiento no es del todo satisfactorio, las conclusiones generadas son únicamente un recuento de lo realizado y genera escasas observaciones	No demuestra un funcionamiento correcto ni genera conclusiones y observaciones

ATRIBUTOS DEL EGRESADO A LOS QUE CONTRIBUYE INFORME DEL PROYECTO

ATRIBUTOS DEL EGRESADO A LOS QUE CONTRIBUYE INFORME DEL PROYECTO	NIVEL	Calificación
A2. Aplicar, analizar y sintetizar procesos de diseño de ingeniería que resulten en proyectos que cumplen las necesidades especificadas.	Avanzado	
A3. Desarrollar y conducir experimentación adecuada; analizar e interpretar datos y utilizar el juicio ingenieril para establecer conclusiones.	Avanzado	
A7. Trabajar en equipo con el objeto de diseñar, desarrollar, integrar, planear y poner en operación sistemas eléctricos y electrónicos, analizando riesgos.	Avanzado	

Apéndice D

Guías de clase



DIVISIÓN DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE CONTROL Y ROBÓTICA
ACADEMIA DE AUTOMATIZACIÓN



HM

Controladores Industriales de Lógica Programable
Clave(1883)

— Guía de clase N°6 (Teoría) —

CONFIGURACIÓN DEL EMULADOR DE ControlLogix – TEMPORIZADORES

T6

Apellidos y nombres:			
Grupo:		Profesor:	Fecha:
Semestre:	2019-I	Dr. Hoover Mujica Ortega	EWS:

RÚBRICA DE EVALUACIÓN DE LA GUÍA DE CLASE

CONCEPTOS, RUBROS O ASPECTOS A EVALUAR	BUENO (2 PUNTOS)			REGULAR (1 PUNTO)			NO ACEPTABLE (0 PUNTOS)		
	Completo entendimiento del problema, realiza la actividad cumpliendo todos los requerimientos.			Bajo entendimiento del problema, realiza la actividad cumpliendo algunos de los requerimientos.			No demuestra entendimiento del problema o de la actividad.		
1. Seguridad en la ejecución de la actividad	Identifica correctamente los peligros y fuentes de energía, minimiza los riesgos aplicando las medidas de control, realiza la verificación y firma con su nombre			Identifica parcialmente los peligros, sin aplicar todas las medidas de control			No aplica ninguna medida de control, no verifica y no firma		
2. Ortografía y legibilidad	Utiliza correctamente las reglas de ortografía y cuida en todo momento la legibilidad en la escritura			Presenta algunos errores ortográficos y ocasionalmente descuida la forma en que escribe			Comete continuamente errores de ortografía y descuida la legibilidad en sus respuestas		
3. Desarrollo de la actividad	Documenta el programa en lenguaje LD IEC 61131-3, el diagrama de tiempos, así como la tabla de ordenamiento de variables			Realiza el programa en lenguaje LD IEC 61131-3 no cumple con todos los requisitos o están incompletos			No entrega el desarrollo de la actividad		
4. Cuestionario	Responde las preguntas correctamente tomando en cuenta la información proporcionada en el fundamento teórico			Responde parcialmente las preguntas o las respuestas no son precisas			No responde el cuestionario		
5. Conclusiones o evaluación	Reflexiona sobre las actividades, demuestra pensamiento crítico en el desarrollo de la guía y aporta con recomendaciones sobre las actividades			Las conclusiones generadas son únicamente un recuento de lo realizado en la guía sin generar ninguna observación			No genera conclusiones y observaciones		
ATRIBUTOS DEL EGRESADO A LOS QUE CONTRIBUYE LA GUÍA DE CLASE							NIVEL		Calificación
A4. Comunicarse eficazmente de manera oral y escrita sobre temas de ingeniería. A6. Actualizarse y superarse en su ámbito de especialización para adaptarse a los cambios de tecnología con el propósito de encontrar las soluciones más adecuadas a los problemas de ingeniería.							Medio Avanzado		

CONTROL DE MODIFICACIONES

Rev	Descripción	Elaborado por	Revisado por	Fecha
0	Primera versión	Dr. Hoover Mujica Ortega	Dr. Gerardo Espinosa Pérez	07.01.2013
1	Corrección de errores e inclusión de nueva información	Dr. Hoover Mujica Ortega	Dr. Gerardo Espinosa Pérez	16.02.2015
2	Actualización de software, cambio tamaño de letra, ajuste de formato y otras mejoras	Dr. Hoover Mujica Ortega	Dr. Gerardo Espinosa Pérez	18.01.2016
3	Ajuste de formato e inclusión de verificación de seguridad y salud durante la actividad	Dr. Hoover Mujica Ortega	Dr. Gerardo Espinosa Pérez	14.08.2016
4	Inclusión de iniciales del profesor, formato de entrega de equipo y material y evaluación de la sesión	Dr. Hoover Mujica Ortega	Dr. Gerardo Espinosa Pérez	20.07.2017
5	Inclusión de iniciales del profesor, formato de entrega de equipo y material y evaluación de la sesión	Dr. Hoover Mujica Ortega	Dr. Gerardo Espinosa Pérez	15.01.2018



DIVISIÓN DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE CONTROL Y ROBÓTICA
ACADEMIA DE AUTOMATIZACIÓN



HM

Controladores Industriales de Lógica Programable
Clave(1883)

— Guía de clase N°10 (Teoría) —
**INTRODUCCIÓN A LA NEUMÁTICA CON
SISTEMAS SECUENCIALES**

Apellidos y nombres:			
Grupo:		Profesor:	Fecha:
Semestre:	2019-1	Dr. Hoover Mujica Ortega	EWS:

T10

RÚBRICA DE EVALUACIÓN DE LA GUÍA DE CLASE

CONCEPTOS, RUBROS O ASPECTOS A EVALUAR	BUENO (2 PUNTOS)	REGULAR (1 PUNTO)	NO ACEPTABLE (0 PUNTOS)
	Completo entendimiento del problema, realiza la actividad cumpliendo todos los requerimientos.	Bajo entendimiento del problema, realiza la actividad cumpliendo algunos de los requerimientos.	No demuestra entendimiento del problema o de la actividad.
1. Seguridad en la ejecución de la actividad	Identifica correctamente los peligros y fuentes de energía, minimiza los riesgos aplicando las medidas de control, realiza la verificación y firma con su nombre	Identifica parcialmente los peligros, sin aplicar todas las medidas de control	No aplica ninguna medida de control, no verifica y no firma
2. Diagramas de conexiones al controlador	Incluye todos los diagramas de conexión al controlador desarrollados correctamente empleando la simbología eléctrica IEC desarrollados con la herramienta correcta	Realiza los diagramas con algunos errores, no cumple con todos los requisitos o están incompletos	No entrega diagrama de conexiones
3. Desarrollo de la actividad	Documenta el programa en lenguaje LD IEC 61131-3, el diagrama de tiempos, así como la tabla de ordenamiento de variables	Realiza el programa en lenguaje LD IEC 61131-3, no cumple con todos los requisitos o están incompletos	No entrega el desarrollo de la actividad
4. Cuestionario	Responde las preguntas correctamente tomando en cuenta la información proporcionada en el fundamento teórico	Responde parcialmente las preguntas o las respuestas no son precisas	No responde el cuestionario
5. Conclusiones o evaluación	Reflexiona sobre las actividades, demuestra pensamiento crítico en el desarrollo de la guía y aporta con recomendaciones sobre las actividades	Las conclusiones generadas son únicamente un recuento de lo realizado en la guía sin generar ninguna observación	No genera conclusiones y observaciones
ATRIBUTOS DEL EGRESADO A LOS QUE CONTRIBUYE LA GUÍA DE CLASE			NIVEL
A4. Comunicarse eficazmente de manera oral y escrita sobre temas de ingeniería.			Medio Avanzado
A6. Actualizarse y superarse en su ámbito de especialización para adaptarse a los cambios de tecnología con el propósito de encontrar las soluciones más adecuadas a los problemas de ingeniería.			
			Calificación

CONTROL DE MODIFICACIONES

Rev	Descripción	Elaborado por	Revisado por	Fecha
0	Primera versión	Dr. Hoover Mujica Ortega	Dr. Gerardo Espinosa Pérez	07.01.2013
1	Corrección de errores e inclusión de nueva información	Dr. Hoover Mujica Ortega	Dr. Gerardo Espinosa Pérez	16.02.2015
2	Actualización de software, cambio tamaño de letra, ajuste de formato y otras mejoras	Dr. Hoover Mujica Ortega	Dr. Gerardo Espinosa Pérez	18.01.2016
3	Ajuste de formato e inclusión de verificación de seguridad y salud durante la actividad	Dr. Hoover Mujica Ortega	Dr. Gerardo Espinosa Pérez	14.08.2016
4	Inclusión de iniciales del profesor, formato de entrega de equipo y material y evaluación de la sesión	Dr. Hoover Mujica Ortega	Dr. Gerardo Espinosa Pérez	29.07.2017
5	Inclusión de iniciales del profesor, formato de entrega de equipo y material y evaluación de la sesión	Dr. Hoover Mujica Ortega	Dr. Gerardo Espinosa Pérez	15.01.2018



DIVISIÓN DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE CONTROL Y ROBÓTICA
ACADEMIA DE AUTOMATIZACIÓN



HM

Controladores Industriales de Lógica Programable
Clave(1883)

— Guía de clase N°11 (Teoría) —

DESARROLLO DE RUTINAS DE CONTROL
SECUENCIAL

Apellidos y nombres:			
Grupo:		Profesor:	Fecha:
Semestre:	2019-1	Dr. Hoover Mujica Ortega	EWS:

T11

RÚBRICA DE EVALUACIÓN DE LA GUÍA DE CLASE



CONCEPTOS, RUBROS O ASPECTOS A EVALUAR	BUENO (2 PUNTOS)	REGULAR (1 PUNTO)	NO ACEPTABLE (0 PUNTOS)
	Completo entendimiento del problema, realiza la actividad cumpliendo todos los requerimientos.	Bajo entendimiento del problema, realiza la actividad cumpliendo algunos de los requerimientos.	No demuestra entendimiento del problema o de la actividad.
1. Seguridad en la ejecución de la actividad	Identifica correctamente los peligros y fuentes de energía, minimiza los riesgos aplicando las medidas de control, realiza la verificación y firma con su nombre	Identifica parcialmente los peligros, sin aplicar todas las medidas de control	No aplica ninguna medida de control, no verifica y no firma
2. Diagramas GRAFCET	Incluye todos los diagramas GRAFCET desarrollados y explicados correctamente, empleando su simbología	Realiza los diagramas con algunos errores, no cumple con todos los requisitos o están incompletos	No entrega diagrama de conexiones
3. Programa Ladder y tabla de ordenamiento de variables	Documenta el programa en lenguaje LD IEC 61131-3, así como la tabla de ordenamiento de variables	Realiza el programa en lenguaje LD IEC 61131-3, genera una tabla incompleta o con información errónea	No entrega el desarrollo de la actividad
4. Diagrama de conexiones al controlador	Incluye todos los diagramas de conexión al controlador desarrollados correctamente empleando la simbología eléctrica IEC desarrollados con la herramienta correcta	Realiza los diagramas con algunos errores, no cumple con todos los requisitos o están incompletos	No entrega diagramas de conexión
5. Conclusiones o evaluación	Reflexiona sobre las actividades, demuestra pensamiento crítico en el desarrollo de la guía y aporta con recomendaciones sobre las actividades	Las conclusiones generadas son únicamente un recuento de lo realizado en la guía sin generar ninguna observación	No genera conclusiones y observaciones
ATRIBUTOS DEL EGRESADO A LOS QUE CONTRIBUYE LA GUÍA DE CLASE			NIVEL
A4. Comunicarse eficazmente de manera oral y escrita sobre temas de ingeniería.			Medio
A6. Actualizarse y superarse en su ámbito de especialización para adaptarse a los cambios de tecnología con el propósito de encontrar las soluciones más adecuadas a los problemas de ingeniería.			Avanzado
			Calificación

CONTROL DE MODIFICACIONES

Rev	Descripción	Elaborado por	Revisado por	Fecha
0	Primera versión	Dr. Hoover Mujica Ortega	Dr. Gerardo Espinosa Pérez	07.01.2013
1	Corrección de errores e inclusión de nueva información	Dr. Hoover Mujica Ortega	Dr. Gerardo Espinosa Pérez	16.02.2015
2	Actualización de software, cambio tamaño de letra, ajuste de formato y otras mejoras	Dr. Hoover Mujica Ortega	Dr. Gerardo Espinosa Pérez	18.01.2016
3	Ajuste de formato e inclusión de verificación de seguridad y salud durante la actividad	Dr. Hoover Mujica Ortega	Dr. Gerardo Espinosa Pérez	14.08.2016
4	Inclusión de iniciales del profesor, formato de entrega de equipo y material y evaluación de la sesión	Dr. Hoover Mujica Ortega	Dr. Gerardo Espinosa Pérez	29.07.2017
5	Inclusión de iniciales del profesor, formato de entrega de equipo y material y evaluación de la sesión	Dr. Hoover Mujica Ortega	Dr. Gerardo Espinosa Pérez	15.01.2018

Apéndice E

Encuesta de evaluación del proyecto

	Clave(1883)	CONTROLADORES INDUSTRIALES DE LÓGICA PROGRAMABLE		2019-1
	EVALUACIÓN DEL PROYECTO			
CONTROL SECUENCIAL DE SISTEMA ELECTRO-NEUMÁTICO				
 Favor evaluar el desarrollo del proyecto. Su evaluación nos dará la posibilidad de mejorar continuamente.				
1. ¿Considera que una plataforma educativa ayuda a la impartición de una asignatura?	<input type="radio"/> Sí	<input type="radio"/> No	<input type="radio"/> ¿Por qué?:	
2. ¿Las guías desarrolladas a lo largo del semestre contribuyeron al proyecto?	<input type="radio"/> Sí		<input type="radio"/> No	
3. ¿Qué tan importante es tener conocimientos sobre la electro-neumática?				
4. ¿Había escuchado de la Gestión de Proyectos?	<input type="radio"/> Sí		<input type="radio"/> No	
5. ¿Desarrollar el diagrama Gantt le ayudó para la planeación de su proyecto?	<input type="radio"/> Sí	<input type="radio"/> No	<input type="radio"/> ¿Por qué?:	
6. ¿Cuántas veces a lo largo de la carrera ha expuesto?	<input type="radio"/> 1-2	<input type="radio"/> 3-5	<input type="radio"/> Más de 5 veces	
7. ¿Qué habilidades (duras y blandas) desarrolló en la realización del proyecto?				
8. ¿Su algoritmo de control secuencial cumple con lo solicitado?	<input type="radio"/> Sí	<input type="radio"/> No	<input type="radio"/> ¿Por qué?:	
9. ¿Considera que alcanzó los objetivos del proyecto?	<input type="radio"/> Sí	<input type="radio"/> Algunos:	<input type="radio"/> No:	
10. ¿Cree que el proyecto ayuda a su formación como profesionista?	<input type="radio"/> Sí	<input type="radio"/> No	<input type="radio"/> ¿Por qué?:	
OPINIÓN GENERAL SOBRE LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO				

Apéndice E.1. Cuestionario propuesto para la evaluación del proyecto de la materia de CILP

Referencias

- [ABB, 2018] ABB (2018). Who is ready for the coming wave of automation? Reporte técnico, The Economist Intelligence Unit Limited. (Citado en página 9.)
- [Anderson, *et al.*, 2013] Anderson, L., Krathwohl, D., Airasian, P., Cruikshank, K., Mayer, R., Pintrich, P., Raths, J., y Wittrock, M. (2013). *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's*. Always learning. Pearson Education Limited. (Citado en página 8.)
- [Balcells, *et al.*, 1997] Balcells, J., Romeral, J., y Martínez, J. (1997). *Autómatas programables*. Marcombo. (Citado en página 18.)
- [Benítez, *et al.*, 2007] Benítez, C. G., Henriquez, E. J., y Landaverde J. O. (2007). Proyecto y construcción de dos módulos didácticos para aplicaciones electroneumáticas. (Citado en página 22.)
- [Bloom, 1986] Bloom, B. (1986). *Taxonomía de los objetivos de la educación: la clasificación de las metas educacionales : manuales I y II*. Biblioteca Nuevas Orientaciones de La Educación. Serie Formación Docente. El Ateneo. (Citado en página 7.)
- [CACEI y COPAES, 2018] CACEI y COPAES (2018). Marco de Referencia 2018 del CACEI en el Contexto Internacional. Reporte técnico, CACEI. (Citado en página 2.)
- [Capuz, 1999] Capuz, S. (1999). *Introducción al proyecto de producción. Ingeniería concurrente para el diseño del producto*. Colección Libro docente. Universidad Politécnica de Valencia. Servicio de Publicaciones. (Citado en página 1.)
- [Chuc Us, *et al.*, 2016] Chuc Us, L., May-Cen, I., y Martínez-García, H. (2016). Evolución de una plataforma educativa como herramienta de evaluación y formación de ingenieros. *REVISTA ELECTRÓNICA ANFEI DIGITAL, ISSN: 2395-9878*, 2. (Citado en página 22.)
- [De los Ríos, *et al.*, 2010] De los Ríos, I., Cazorla, A., Díaz-Puente, J., y Yagüe, J. (2010). Project-based learning in engineering higher education: two decades of teaching competences in real environments. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2(2):1368–1378. (Citado en página 13.)
- [Díaz-Barriga y Hernández, 2007] Díaz-Barriga, F. y Hernández, G. (2007). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. Una interpretación constructivista*. MC Graw Hill. (Citado en página 19.)

- [Egg, *et al.*, 2009] Egg, E., Aguilar, M., y Idáñez, M. (2009). *Cómo elaborar un proyecto: guía para diseñar proyectos sociales y culturales*. (Citado en página 37.)
- [Fúquene, *et al.*, 2007] Fúquene, C. E., Aguirre, S., y Córdoba, N. B. (2007). Evolución de un sistema de manufactura flexible (FMS) a un sistema de manufactura integrada por computador (CIM). *Ingeniería y Universidad*, 11:57–69. (Citado en página 13.)
- [Gatica-Lara y Uribarren-Berrueta, 2013] Gatica-Lara, F. y Uribarren-Berrueta, T. (2013). ¿Cómo elaborar una rúbrica? (Citado en página 21.)
- [Gimeno y Pérez, 2000] Gimeno, J. y Pérez, A. (2000). Comprender y transformar la enseñanza. (9). (Citado en página 19.)
- [Gómez, *et al.*, 2013] Gómez, J., Ordieres, J., y Ruiz de Adana, M. (2013). Metodología PBLE como guía del proceso de aprendizaje en ingeniería. primeros pasos en la UR. *Contextos educativos: Revista de educación*, (6-7):277–294. (Citado en páginas 19 y 20.)
- [Guillén, 1988] Guillén, A. (1988). *Introducción a la neumática*. Marcombo. (Citado en página 17.)
- [Higuera, 2005] Higuera, A. (2005). *El control automático en la industria*. Ciencia y Técnica. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha. (Citado en página 1.)
- [Hyde, *et al.*, 1998] Hyde, J., Regue, J., y Cuspinera, A. (1998). *Control electroneumático y electrónico*. Alfaomega. (Citado en página 17.)
- [Insight, 2018] Insight (2018). The future of jobs report 2018. (Citado en páginas 14 y 15.)
- [Intelligence, 2018] Intelligence, E. (2018). GE Global Innovation Barometer 2018. (Citado en páginas 13 y 14.)
- [Juste, 2006] Juste, R. (2006). *Evaluación de programas educativos*. Manuales de Metodología de Investigación Educativa. La Muralla. (Citado en página 8.)
- [Martín, 2010] Martín, J. (2010). *Instalaciones domóticas*. Editorial Editex. (Citado en página 18.)
- [McKinsey & Company, 2017] McKinsey & Company (2017). JOBS LOST, JOBS GAINED: WORKFORCE TRANSITIONS IN A TIME OF AUTOMATION. Reporte técnico, Mckinsey Global Institute. (Citado en página 14.)
- [Moreno, *et al.*, 2012] Moreno, F. E., Becerra, J. A., y Mondragón, J. E. (2012). Desarrollo e implementación de un módulo didáctico de automatización bajo una red de comunicación industrial modbus. páginas 1–7. (Citado en páginas 19 y 22.)
- [Muriel, *et al.*, 2009] Muriel, J., Cortés, J., y Mendoza, J. (2009). Application of sequential methods in solving electro pneumatic problems. (43). (Citado en página 17.)
- [Orozco, *et al.*, 2009] Orozco, A. A., Holguín, M., y Giraldo, E. (2009). Descripción e implementación de sfc para simulación y ejecución de automatismos en lenguaje de programación gráfica. XV(42). (Citado en página 1.)

- [Pérez, *et al.*, 2009] Pérez, E., Acevedo, J., y Silva, C. (2009). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. Marcombo. (Citado en página 18.)
- [Prince y Felder, 2006] Prince, M. y Felder, R. (2006). Inductive Teaching and Learning Methods: Definitions, Comparisons, and Research Bases. *Learning*, 95:123–138. (Citado en página 20.)
- [Schwab, 2016] Schwab, K. (2016). *La cuarta revolución industrial*. Penguin Random House Grupo Editorial España. (Citado en página 3.)
- [Soria, 2013] Soria, S. (2013). *Sistemas Automáticos Industriales de Eventos Discretos*. Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. (Citado en página 17.)
- [Ugarte, 2018] Ugarte, E. (2018). Manual de prácticas para la asignatura de instrumentación para la carrera de mecatrónica de la facultad de ingeniería. (Citado en página 21.)
- [Vega-González, 2013] Vega-González, L. (2013). La educación en ingeniería en el contexto global: propuesta para la formación de ingenieros en el primer cuarto del siglo XXI. *FI-UNAM*, XIV(2). (Citado en página 3.)