



FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMÁTICA

Trabajo de Diploma

Diseño e implementación de un Sistema de Automatización para modernizar la práctica de laboratorio “Panel Gaseoso”.

Tesis presentada en opción al Título de Ingeniero en Automática

Autor: José Manuel del Llano Vega.

Tutores: Dr. Israel Benítez Pina.
MSc. Beatriz Rodríguez Álvarez.

2009

“Año del 50 Aniversario del Triunfo de la Revolución”



UNIVERSIDAD DE ORIENTE

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMÁTICA

Diseño e implementación de un Sistema de Automatización para modernizar la práctica de laboratorio “Panel Gaseoso”.

Tesis presentada en opción al Título de Ingeniero en Automática

Autor: José Manuel del Llano Vega.

Tutores: Dr. Israel Benítez Pina.

MSc. Beatriz Rodríguez Álvarez.

2009

“Año del 50 Aniversario del Triunfo de la Revolución”

DEDICATORIA

A **MOON**, sin la cual esta realidad sería utopía.

AGRADECIMIENTOS

- A mi mamá y hermana por todo el amor, consejos y dedicación.
- A mis tías, primas y primos por la preocupación constante y el apoyo.
- Al Ingeniero Ángel Fonseca Sarmientos por su ayuda inconmensurable.
- A Ivani Velásquez Pozo por su incondicionalidad.
- A mi entrañable amigo Alejandro González García y a su querida mamá Lady García Álvarez por su generosidad.
- A José Arnaldo Antes por su contribución desinteresada.
- A Raquelita por su cooperación acertada.
- A mis tutores Dr. Israel Benítez y la Msc. Beatriz Álvarez, por su asesoría y recomendaciones oportunas.
- A todas las personas que colaboraron en la realización del trabajo.

A todos
GRACIAS.



*La ciencia no es, ni misterio de iniciados,
ni privilegio de los aristócratas de la mente,
sino el medio único que tiene el hombre
de explicarse las leyes de la vida.*

José Martí.

RESUMEN

El presente Trabajo de Diploma tiene como objetivo el diseño de un Sistema de Automatización para modernizar la práctica de laboratorio "Panel Gaseoso", ubicada en el Laboratorio de Control de Procesos, perteneciente a la carrera de Ingeniería Automática de la Universidad de Oriente. En el mismo se implementan los modelos y programas correspondientes para diseñar el Sistema de Automatización en la práctica de laboratorio "Panel Gaseoso", además, se muestran el esquema de conexiones y del panel de control, el listado de instrumentos, así como las principales características del autómatas GLOFA GM-6 utilizado en este proyecto. Esta investigación reviste gran importancia para la carrera de Ingeniería Automática debido a que contribuye al desarrollo integral del estudiante como futuro ingeniero. Proponemos, igualmente, la inserción de nuevas prácticas de laboratorio utilizando la misma instalación del "Panel Gaseoso", dada la flexibilidad del Sistema de Automatización proyectado.

ABSTRACT

The present work has as objective the design of an Automation System to Modernize the Laboratory Practice "Gassy Panel", placed at the Laboratory of Processes Control of the Automatic Engineering Career of the University of Orient. In this work we can see the models and programs corresponding to the designing for Control of Pressure in the Laboratory Practice "Gassy Panel", moreover, it shows the sketch of connexions and the Control Panel, the list of instruments and the main characteristics of automaton GLOFA GM6 used in this project. This research provides an outstanding importance to the Automatic Engineering Career, because it contributes to the integral development of the student as future engineer. With this new installation we propose, likewise, the introduction of new laboratory trials using the same installation of "Gassy Panel " by keeping in mind the flexibility of the projected automation system.

INDICE

INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	13
1.1. Los Sistemas de Automatización.....	14
1.2. Antecedentes y Etapas de la elaboración de un Sistema de Automatización utilizando PLC.	16
1.3. El Diseño de Sistemas de Automatización mediante el uso de los Métodos Formales.	18
1.4. Ventajas de la Simulación.....	20
1.5. Modelado de Sistemas de Automatización utilizando las Redes Petri..	21
1.6. Modelado en Redes Petri y su Traducción a Programas Compatibles con la Norma Internacional IEC-1131 utilizando las Redes Jerárquicas Extendidas GHENeSys.....	22
1.7. Características Generales de los PLC.....	24
1.7.1 Componentes Estructurales Fundamentales de los PLC.....	25
1.7.2. Los Lenguajes de Programación de los PLC Compatibles con la Norma Internacional IEC-1131-3.....	26
1.8. El PLC GLOFA serie GM6 de LG y el software GMWIN para su programación.....	27
1.8.1. Módulos del PLC GLOFA serie GM6 de LG.....	28
1.9. Importancia de las Prácticas de Laboratorio.....	28
1.10. Antecedentes de la Práctica de laboratorio “Panel Gaseoso”.....	29
Conclusiones del Capítulo.....	30
CAPÍTULO 2: MODELADO, PROGRAMACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE LA PRÁCTICA DE LABORATORIO “PANEL GASEOSO”.	31
2.1. Descripción General de la práctica de laboratorio “Panel Gaseoso”.	32
2.2. Modelado de la práctica de laboratorio “Panel Gaseoso”.	33
2.3. Programa del Sistema de Automatización de la práctica de laboratorio “Panel Gaseoso”.	40
2.4. Instalación de la Práctica de laboratorio “Panel Gaseoso”.	42
2.5. Valoración Económica.	43
2.6. Valoración de expertos sobre las nuevas posibilidades de la práctica de laboratorio.....	44
Conclusiones del Capítulo.....	45
CONCLUSIONES.....	46
RECOMENDACIONES	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
BIBLIOGRAFÍA	53
ANEXOS	57

Universidad
Oriente



SANTIAGO DE CUBA

Introducción

INTRODUCCIÓN

La automatización moderna debe abarcar de forma inevitable varias esferas de la vida actual, siempre que se desee marchar lo más cercano posible al promedio del desarrollo técnico-industrial. Hoy por hoy, es imprescindible en áreas tan disímiles como el turismo, la agricultura, la industria, los servicios y otros sectores. De ahí que sus aportes deben vincularse con sistematicidad a los procesos productivos, lo que requiere de una preparación del profesional desde su formación.

El diseño de sistemas de automatización, constituye la solución de cualquier tipo de tarea en procesos industriales actualmente. Por ello, es fundamental recibir en la carrera de Ingeniería Automática, como parte de la docencia, prácticas de laboratorio donde los estudiantes puedan ver el funcionamiento de los autómatas programables en procesos industriales; pues estos egresados son los profesionales que van a las industrias del país. Por eso es indispensable para cada estudiante adquirir los conocimientos y habilidades necesarias para enfrentarse al diseño de sistemas de automatización.

Para llevar a cabo este propósito la Universidad de Oriente cuenta con el Laboratorio de Control de Procesos, perteneciente al Departamento de Control Automático. En el mismo se efectúan valiosas prácticas para el desarrollo del futuro ingeniero, sin embargo, se realizan sin el empleo de autómatas como es el caso de la práctica de laboratorio “Panel Gaseoso”.

Actualmente la práctica de laboratorio “Panel Gaseoso” no posee similitud con los estándares de automatización modernos, no posee diferentes algoritmos de control para controlar el proceso, no posee semejanza con las condiciones de operación de la industria actual, por lo que los estudiantes no tienen un medio de enseñanza que les permita elevar su formación docente.

Se propone, para dar solución a esta limitante, realizar en el Laboratorio de Control de Procesos específicamente en la práctica de laboratorio “Panel Gaseoso”, un proyecto de automatización donde se usen los autómatas programables. De esta forma, el proyecto deviene parte de la modernización de este laboratorio, pues incluye el modelado, la programación y la instalación de un Sistema de Automatización.

Esta propuesta permite la inserción de prácticas de laboratorio en correspondencia con los avances actuales de las industrias. Hecho que posibilita efectuar prácticas de tolerancia a fallos, de medición de presión y donde se utilicen diferentes algoritmos de control.

El diseño e implementación de un sistema de automatización de la práctica de laboratorio “Panel Gaseoso” repercute en la formación del profesional pues garantiza que el egresado esté mejor preparado para conjugar mejor la teoría con la práctica, en el período de adiestramiento laboral, estando al nivel de las exigencias actuales.

Por todo lo anteriormente expuesto la investigación se propone resolver como:

Problema de la Investigación:

La afectación a la actividad docente dada por las insuficiencias de la práctica de laboratorio “Panel Gaseoso”, limita la formación integral de los estudiantes de Ingeniería Automática.

Objeto de la Investigación:

El Sistema Automatización de las prácticas de laboratorio.

Objetivo de la Investigación:

Diseñar e implementar un Sistema de Automatización para la modernización de la práctica de laboratorio “Panel Gaseoso” que favorezca la formación integral de los estudiantes de Ingeniería Automática.

Campo de Acción:

La práctica de laboratorio “Panel Gaseoso” ubicada en el Laboratorio de Control de Procesos de la carrera de Ingeniería Automática, perteneciente Universidad de Oriente.

Hipótesis de Trabajo:

Si se diseña e implementa un Sistema de Automatización para modernizar la práctica de laboratorio “Panel Gaseoso”, los estudiantes de Ingeniería Automática dispondrán de un medio de enseñanza capaz de elevar su formación integral.

Tareas de la Investigación:

1. Determinación de los fundamentos teóricos y prácticos que sustentan los sistemas de automatización industrial.
2. Determinación de las limitaciones de la práctica de laboratorio “Panel Gaseoso” del Laboratorio de Control de Procesos del Departamento de Control Automático.
3. Diseño e Implementación del Sistema de Automatización de la práctica de laboratorio “Panel Gaseoso”.
4. Valoración de la factibilidad de la propuesta por especialistas.

Métodos y Técnicas empleados en la Investigación:

Para la elaboración de la investigación se tuvieron en cuenta los métodos científicos, los mismos se dividen en **métodos teóricos y empíricos**.

Dentro de los **teóricos** se utiliza el **método histórico tendencial**, mediante el cual se pueden conocer los antecedentes de la práctica de laboratorio “Panel Gaseoso”, llegando a determinar sus limitaciones, y así definir el problema. Mediante el **análisis** y la **síntesis** se realiza un estudio minucioso de cada uno de los fundamentos teóricos de la investigación.

A partir del **método de la modelación** se pudo efectuar una representación del objeto analizar en el modelo del sistema de automatización de la práctica de laboratorio “Panel Gaseoso”.

Los **empíricos** permitieron obtener la información necesaria para el logro del objetivo y la conformación y demostración de la hipótesis. Dentro de estos se encuentra la **observación**, la cual posibilita analizar cada uno de los modelos, conociendo no solo su funcionamiento, sino también experimentar los nuevos procedimientos antes de su implementación.

El **análisis de documentos** facilitó la obtención de información necesaria para la ejecución del trabajo.

Aporte Práctico

La aplicación diseñada en la investigación es de gran utilidad para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Automática. Su novedad radica en que posibilitará elevar la formación integral del estudiante. La mejor manera de lograrlo, es implementando un sistema de automatización que asemeje las características de la práctica de laboratorio a las condiciones de operación de las industrias modernas.

El presente trabajo de diploma consta de resumen, introducción, dos capítulos, conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos. En el capítulo primero se exponen los fundamentos teóricos y los conceptos fundamentales que sirven de base a la investigación, los cuales corresponden a generalidades de los sistemas de automatización modernos, su modelado y simulación así como la programación de Controladores Lógicos Programables (PLC). De igual forma, se brinda un breve estudio sobre los PLC y se ofrece una explicación sobre la importancia y antecedentes de la práctica de laboratorio “Panel Gaseoso”.

En el segundo capítulo se realiza una breve descripción de la práctica de laboratorio “Panel Gaseoso” del Laboratorio de Control de Procesos perteneciente al Departamento de Control Automático de la Universidad de Oriente. Se incluye, también, una breve descripción del modelado y la programación de esta práctica de laboratorio, así como generalidades de su instalación. Además, se exponen las consideraciones de los expertos sobre las nuevas posibilidades que brinda y los resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto. Igualmente, contiene una valoración económica de la propuesta.

Universidad
Oriente



SANTIAGO DE CUBA

Capítulo 1

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.

En este capítulo se ofrecen los fundamentos teóricos y prácticos que sustentan la investigación, así como las limitaciones en el funcionamiento de la práctica de laboratorio "Panel Gaseoso que permiten determinar la necesidad de su modernización.

1.1. Los Sistemas de Automatización.

Un Sistema de Automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos. Consta de dos partes principales: Parte de Mando y Parte Operativa.

La Parte Operativa es la parte que actúa directamente sobre la máquina o el proceso. Estos son los elementos que hacen que la máquina o el proceso realicen las operaciones deseadas. Los elementos que forman la parte operativa son: los accionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores y los captadores como fotodiodos y finales de carrera.

La Parte de Mando suele ser un autómata programable (tecnología programada), aunque hasta hace algunos años se utilizaban relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada).

En un Sistema de Automatización el autómata programable está en el centro del sistema y este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes del sistema automatizado.

Los objetivos de los sistemas de automatización son:

- Elevar la productividad de la empresa, reduciendo los costos de la producción y mejorando la calidad de la misma.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos pesados e incrementando la seguridad.
- Realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente.
- Mejorar la disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso.
- Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.
- Integrar la gestión y la producción. [1]

Pero, la automatización solo es viable si al evaluar los beneficios económicos y sociales de las mejoras que se podrán obtener al automatizar, estas son mayores a los costos de operación y mantenimiento del sistema.

En un proceso productivo no siempre se evidencia la implementación de sistemas de automatización, pero existen ciertos indicadores que lo justifican.

Los principales son los siguientes:

- Requerimientos de un aumento en la producción.
- Requerimientos de una mejora en la calidad de los productos.
- Necesidad de bajar los costos de producción.
- Escasez de energía.
- Encarecimiento de la materia prima.
- Necesidad de protección ambiental.
- Necesidad de brindar seguridad al personal.
- Desarrollo de nuevas tecnologías.[1]

Por otra parte, se consigue la factibilidad técnica en procesos y en operación de equipos, así como, la implementación de funciones de análisis, optimización y autodiagnóstico. Además, se logra: un aumento en el rendimiento de los equipos y facilidad para incorporar sistemas de información y nuevos equipos, una disminución de la contaminación y daño ambiental, racionalización y uso eficiente de la energía y la materia prima y por último un aumento en la seguridad de las instalaciones y la protección a los trabajadores.

La automatización de un proceso frente al control Manual del mismo, brinda ciertas ventajas y beneficios de orden económico, social, y tecnológico, de las cuales sobresalen las siguientes: se asegura una mejora en la calidad del trabajo del operador y en el desarrollo del proceso (esta dependerá de la eficiencia del sistema implementado); se obtiene una reducción de costos, puesto que se racionaliza el trabajo; se reduce el tiempo y dinero dedicado al mantenimiento; se acortan los tiempos de procesamiento de información; se flexibiliza para adaptarse a nuevos productos (fabricación flexible y multifabricación); se logra un conocimiento más detallado del proceso mediante la recopilación de información y datos estadísticos del mismo; se adquiere un mejor conocimiento del funcionamiento de los equipos que intervienen en el proceso.

Desde el punto de vista tecnológico la automatización moderna ha evolucionado a la integración de diferentes tecnologías en redes de automatización industrial, donde coexisten equipamientos de diferentes fabricantes. Esto sólo ha sido posible con la aparición de los denominados "sistemas abiertos" (Open Systems). En estos sistemas se pueden interconectar las dos tecnologías de mayor auge en la automatización actual los PLC (Programmable Logical Controllers) y los DCS (Distributed Control Systems) basados en PCs (Personal Computers), también estos últimos conocidos como sistemas SCADA/HMI (Supervisory Control and Data Acquisition / Human Machine Interface). [2]

Las aplicaciones de los autómatas son múltiples, debido a que pueden emplearse en:

- El control de sistemas de medición de valores límites de variables y finales de carrera.
- Detectores de proximidad u otros sensores binarios.
- El gobierno de sistemas de señalización y protecciones automáticas de distintos tipos.
- El control secuencial y de trabajo de distintos procesos.
- El control de régimen de arranque y parada
- El funcionamiento en condiciones de alarma o avería
- Los sistemas de autodiagnóstico, autoprotección y determinación de fallas dentro y fuera del equipo
- La medición, conversión, filtraje y validación de señales analógicas para indicación registro y/o control
- El procesamiento de señales analógicas (reguladores ON - OFF, PID, o inteligentes)
- Accionamientos analógicos
- El control económico, optimización del proceso y su dirección
- La modificación y el perfeccionamiento del Sistema de Automatización del proceso y facilidades para el funcionamiento como maestros o esclavos de redes de automatización. [3]

Por ello, los sistemas de automatización actualmente se encuentran presentes en la mayoría de las actividades que el hombre realiza a diario. Debido a los grandes avances que han proporcionado a todas las esferas de la actividad humana, su uso se hace imprescindible para el logro de una mayor eficiencia en los sectores de la sociedad donde se empleen. Cada vez es mayor el número de lugares donde se utilizan: fábricas, hoteles, edificios, casas y hospitales. Lo que demuestra que la automatización resulta un hecho insoslayable, pues la eficiencia y productividad industrial se puede lograr con su empleo.

1.2. Antecedentes y Etapas de la elaboración de un Sistema de Automatización utilizando PLC.

Anteriormente, los diseñadores y usuarios de PLC obtenían el Sistema de Automatización por implementación directa sobre los lenguajes de programación de PLC, a partir de las especificaciones informales que se tenían del mismo. Solo se realizaba una validación informal del programa obtenido, comprobando el cumplimiento de las particularidades informales que le dieron lugar.

Al aumentar la complejidad de los sistemas de automatización y las exigencias en cuanto a fiabilidad y seguridad así como sus costos, los diseñadores se han visto en la necesidad de buscar métodos de verificación y validación que permitan el funcionamiento seguro y correcto de la solución generada. Por eso, la programación de PLC que tradicionalmente se ha venido realizando de forma directa, ha generado en los últimos años que estudiosos de esta rama, orienten sus esfuerzos hacia la aplicación de métodos formales, ya utilizados con anterioridad en la programación de computadoras, a este campo de la automática.

En la actualidad se realiza el modelado del sistema para validarlo y verificarlo y luego es que se procede a la programación del Sistema de Automatización para implementarlo.

El desarrollo de un Sistema de Automatización tiene en general tres etapas [2]:

Diseño: incluye modelado y simulación utilizando software especializado, así como la verificación y validación.

Programación: obtiene el programa para controlar lo que se desea recurriendo a los lenguajes estándares de automatización con facilidades de simulación.

Implementación: utiliza una estructura jerárquica en redes buscando eficiencia para reducir tiempo y costos.

Las etapas del proceso de diseño son:

- **Formalización:** consiste en la creación de los modelos formales de las especificaciones deseadas, del proceso no controlado y del controlador resultante del diseño. Puede ser completa o parcial en dependencia de si los tres elementos se formalizan o no, lo cual depende de la metodología de diseño a seguir. Existen diferentes enfoques en este sentido [4], uno de ellos es el caso de las reglas Token Passing Model (TPM) [5], para la formalización de especificaciones de control dentro del diseño de supervisores de Sistemas de Eventos Discretos (DES) modelados en Redes Petri (PN). Estos permiten comparar el modelo controlado con los problemas de estados prohibidos y de cadenas deseadas especificados para el diseño en la Teoría de Autómatas de Wonham [6]. La formalización tiene gran importancia porque crea las bases para el estudio formal del sistema.
- **Verificación:** es la prueba de que la semántica interna del modelo es correcta, independientemente del sistema modelado. Las propiedades buscadas del modelo son vivacidad, seguridad y la inexistencia de deadlock, etc. Estas son propiedades estándares y por tanto ya están formalizadas.
- **Validación:** es la prueba que determina si el modelo concuerda con los propósitos del diseñador. Investiga propiedades específicas del controlador, por lo que pueden o no estar formalizadas. Por tanto varía según el grado de formalización del método de diseño empleado.
- **Implementación:** permite crear la aplicación a partir del modelo formal verificado y validado. Esta debe ser lo más rápida y efectiva posible buscando la máxima analogía entre el modelo y el programa resultante para permitir su utilización masiva.
- **Reinterpretación:** por esta vía se lleva el control programado sobre PLC a un modelo formal que permita la verificación de sus propiedades. [7]

Teniendo en cuenta todo el trabajo ya creado en la implementación directa de automatizaciones con PLC, tiene gran importancia la Reinterpretación. Esto ha cobrado auge como una solución intermedia, pero en nuevas automatizaciones significa una pérdida de tiempo y mayor costo del diseño. No obstante, la reinterpretación facilita la reutilización de todo el trabajo ya creado sobre lenguajes de PLC.

Luego de obtener la especificación formal por reinterpretación se utilizarían los mismos métodos que en la verificación y validación de cualquier diseño formal. Por tanto se considera como el proceso inverso a la implementación y es tratado junto con ella.

La validación, por su parte, garantiza que el programa obtenido cumpla con las exigencias funcionales que fueron pedidas por el usuario. Pero también, está en correspondencia con la solución generada a los problemas considerados durante todas las fases del análisis y síntesis formal, hasta llegar al modelo validado a través de la simulación. Los modelos perfeccionados por medio de la verificación y validación del modelo formal deben ser programados en lenguajes normalizados de automatización, con facilidades de simulación de su funcionamiento. Como los PLC son los dispositivos de mayor uso, entonces la IEC1131 es la norma más usada, así como sus ambientes de edición y simulación.

La garantía de la metodología para crear redes bien formadas y vivas, permite alcanzar las estructuras exigidas para generar automáticamente los bloques funcionales o programas, libres de bloqueos, con auto recuperación y seguridad de operación. Para lo que contribuyen los pasos de verificación.

1.3. El Diseño de Sistemas de Automatización mediante el uso de los Métodos Formales.

La aplicación de los métodos formales permite elevar la seguridad en la concepción y aplicación del programa elaborado, la reducción de los tiempos de diseño e implementación, la reusabilidad, generalidad y optimización del algoritmo desarrollado, entre otras ventajas, lo que hace muy recurrente su utilización.

Las facilidades del uso de los métodos formales para el diseño de sistemas de automatización son:

- Facilidad para el análisis de las propiedades principales de los Sistemas de Control de Procesos Continuos y Sistemas de Eventos Discretos, integrantes de cualquier Sistema de Automatización.
- Menos costo en la validación del sistema en frente de situaciones normales y de situaciones peligrosas.
- Reutilización del diseño de cualquier tipo.
- Repetibilidad del diseño sobre cualquier plataforma de implementación.
- Facilidad de análisis de sistemas complejos y de gran tamaño.
- Buena precisión del proceso de modelado.
- Facilidad de documentación. [8]

La experiencia reunida sobre el estudio de muchos trabajos de investigación científica relacionados con la temática, ha concluido que la metodología que usan las redes jerárquicas extendidas GHENeSys es la mejor variante para alcanzar un modelo más simple y completo en poder de análisis, síntesis, verificación, validación, y capaz de permitir una implementación y reinterpretación automática.

Todo esto justifica la obtención de nuevos métodos que tornen más rápido y seguro este proceso, pero sin descuidar el contenido formal, tomando en cuenta sus ventajas en el proceso de diseño:

- Poca complejidad para su análisis y reutilización.
- Repetibilidad.
- Facilidad para proceder al análisis de sistemas de gran tamaño.
- Precisión del proceso de modelado.
- Facilidad de documentación. [7]

Por otra parte, los métodos formales basan sus principios en el análisis y verificación del programa dado a partir de la obtención de su modelo, estudiando tanto las propiedades funcionales como estructurales de este.

Por ello los métodos formales se clasifican en:

- Simulación.
- Análisis de alcanzabilidad.
- Chequeo de modelo.
- Prueba de teoremas.

La proyección de sistemas de automatización industrial incrementa su complejidad y necesita de métodos formales para el modelado de estos sistemas. La industria moderna, al tener un desarrollo orientado a los sistemas flexibles de producción, conocidos como Sistemas de Manufactura Flexible (SMF), garantiza el nivel de atención al cliente que requiere el comercio electrónico competitivo moderno. [8]

La mejor variante es la formalización de las especificaciones informales y todo el sistema controlado mediante un modelo al que puedan verificarse sus propiedades estándares para luego validarlo. Entonces, con el diseño verificado y validado se puede realizar su implementación con los niveles requeridos de seguridad y optimización de las automatizaciones con PLC, y que garantice estar al nivel de la complejidad de las aplicaciones actuales y de la necesidad de reducir el tiempo de desarrollo de los proyectos.

La Formalización puede ser elaborada en:

- Redes Petri.
- C/E-System (Sistemas de condición-evento).
- Lógica de alto nivel.

- Lenguajes sincrónicos.
- Sistemas de transición general.
- Ecuaciones algebraicas.

1.4. Ventajas de la Simulación.

Por otra parte la simulación es una de las técnicas más usadas y aceptadas en tareas de análisis y desarrollo de sistemas de automatización, debido a la mayor disponibilidad de herramientas de simulación, la creciente capacidad computacional y los avances en las metodologías de simulación.

La simulación se utiliza para estudiar una gran variedad de aspectos sobre el sistema real, como son: su comportamiento bajo los parámetros de operación del sistema, impacto de los cambios en su desempeño; estudiar sistemas que están todavía en la fase de concepción, y como una herramienta de proyecto para evaluar y validar el desempeño de nuevos sistemas.

La mayor disponibilidad de herramientas de simulación, la creciente capacidad computacional y los avances en las metodologías de simulación convirtieron a la simulación en una de las técnicas más usadas y aceptadas en tareas de análisis y desarrollo de sistemas de automatización ya que puede ser usada principalmente para las siguientes finalidades [9]:

- Estudiar las interacciones internas de un sistema complejo, o de un subsistema dentro de un sistema complejo.
- Realizar alteraciones en las informaciones, en la organización y en el ambiente del sistema para observar sus efectos en el comportamiento del modelo.
- Adquirir mayor conocimiento sobre el modelo y la simulación para mejorías del sistema en estudio.
- Identificar las variables más importantes de un sistema y conocer su interacción a través del estudio de las variables de entrada y de las salidas resultantes.
- Verificar soluciones analíticas, siendo en este caso utilizado como un instrumento de validación.
- Reforzar métodos de solución analítica, siendo empleado como un instrumento pedagógico.
- Experimentar nuevos proyectos o nuevos procedimientos antes de sus implementaciones.

Por todo esto se emplea la simulación pues al ser aplicable a sistemas que están todavía en la fase de concepción, constituye una poderosa herramienta para evaluar y validar el desempeño de estos, al permitir estudiar gran variedad de aspectos sobre el sistema real, como son: su comportamiento bajo los parámetros de operación y el impacto de los cambios en su funcionamiento.

1.5. Modelado de Sistemas de Automatización utilizando las Redes Petri.

El modelado de Sistemas de Automatización es desarrollado para estudiar una gran variedad de aspectos sobre el sistema real como: su comportamiento bajo los parámetros de operación del sistema, impacto de los cambios en su desempeño, estudiar sistemas que están todavía en la fase de concepción, y como una herramienta de proyecto para evaluar y validar el desempeño de nuevos sistemas.

En este campo, las Redes Petri y sus extensiones como las Redes Jerárquicas Extendidas GHENeSys, han sido la representación que más ha avanzado en este sentido por su dualidad matemático-gráfica, su aplicación, expresividad, y el inicio de una cierta adherencia a los métodos de diseño convencionales como el "Top-down" o el "Bottom-up" en modelos jerárquicos modulares. [7]

Actualmente, varios trabajos demuestran que la comunidad científica internacional trabaja en esta dirección como son: "Formal methods in PLC programming", "Discrete Event Control System design using automation PN and their ladder diagram implementation", "Using Petri Nets to develop programs for PLC systems", "Petri Nets and Grafset – Tools for modelling Discrete Event Systems", "Application of PN in Manufacturing systems", "Discrete event control design for manufacturing systems via ladder logic diagrams and PN. A comparative study" y "Modelling and control of manufacturing systems using PN". En todos ellos se plantea la difícil representación con la teoría de control tradicional de los Sistemas de Eventos Discretos (DES) donde aparecen concurrencias, conflictos, no-determinismos, para lo que las Redes Petri constituyen un arma efectiva. Estas proveen métodos de validación y verificación que garantizan la calidad de los sistemas de control antes de su implementación. [4], [5], [10], [11], [12], [13], [14].

El modelado de sistemas de automatización industrial tiene un fuerte componente, definido por la coordinación de las actividades de los diferentes subsistemas que se integran en las redes de control distribuido industrial utilizados actualmente. La coordinación de esas actividades se torna más compleja en la medida que se incrementan las posibilidades de desarrollar diferentes producciones en el mismo sistema productivo.

Teóricamente, para llegar a obtener un modelo podrían adoptarse dos enfoques diferentes:

1. Vía analítica: Donde se determinan las ecuaciones y parámetros que intervienen siguiendo exclusivamente las leyes generales de la Física.
2. Vía experimental: En la cual se considera el sistema como una "caja negra", con determinadas entradas y salidas. En esta situación se realizaría un conjunto de experimentos que proporcionarían pares de medidas de las entradas y salidas durante la evolución del sistema hacia el estado estacionario, a partir de los cuales se trataría de determinar el modelo del sistema.

Existe también una metodología novedosa para la obtención de los modelos de procesos industriales que están orientados al posterior uso de los PLC en los sistemas de automatización que se implementarán; esta metodología es el modelado en Redes Petri.

Se utiliza el método del modelado en Redes Petri por sus ventajas del uso de las en el diseño de un Sistema de Automatización son por ejemplo: la facilidad para análisis y reutilización, la facilidad para proceder al análisis de sistemas de gran tamaño, la precisión del proceso de modelado, la facilidad de documentación. Todo esto justifica la obtención de nuevos métodos que tornen más rápido y seguro este proceso, pero sin descuidar el contenido formal.

Principales propiedades funcionales de los modelos en Redes Petri:

- Alcanzabilidad de estados: Un estado es alcanzable si partiendo de un estado inicial la red avanza automáticamente hasta un estado dado.
- Limitación (Seguridad): La red es limitada si el número de tokens (k) en cada lugar no excede su capacidad para cualquier marcación alcanzable desde la inicial. Segura si es k -limitada con $k=1$.
- Vivacidad: Es la ausencia de bloqueos (lazos cerrados) que limitan la dinámica de la red para una sola parte sin caer nunca en las restantes. (Ausencia de “deadlocks”).
- Reversibilidad y estado particular: la red tiene que garantizar su repetitividad, o retorno al estado inicial. Esto es importante para todo modelo de un sistema de control porque ellos son cíclicos. También, deben garantizar que este comportamiento no sea aleatorio, sino que sea controlable permitiendo el retorno a un estado particular de interés en el sistema de control. [15]

Esta última propiedad también incluye a los estados de emergencia y fallo. La diferencia entre ellos es que al ocurrir el estado de emergencia la red se paraliza hasta dar solución a la emergencia y el estado de fallo señala que ha ocurrido un determinado problema con el cual la red es capaz de seguir su funcionamiento normal luego de señalizarlo y puede dársele solución más tarde al problema que se presentó.

1.6. Modelado en Redes Petri y su Traducción a Programas Compatibles con la Norma Internacional IEC-1131 utilizando las Redes Jerárquicas Extendidas GHENeSys.

Las Redes Petri (PNs) son las de mayor aplicación en la descripción formal de programas de Controladores Lógicos Programables (PLC).

Introducidas por Carl Adam Petri en 1962, tuvieron un vertiginoso desarrollo desde esa fecha hasta nuestros días; constituyendo una herramienta tanto gráfica como matemática. Resultan por tanto, una opción útil para describir y estudiar sistemas que se caracterizan por ser concurrentes, asíncronos, distribuidos, paralelos, no determinísticos y/o estocásticos. [16]

Para modelar en Redes Petri el programa que se utiliza es el Visual Object Net. Pues este programa permite confeccionar el modelo del proceso, por ser un software de diseño, verificación y validación formal que nos permite obtener el modelo, para luego realizar la simulación y programación del mismo.

El Visual Object Net, además, es una innovadora herramienta de Redes Petri CAD/CAE (Diseño Asistido por Computadoras / Ingeniería Asistida por Computadoras) para PC. En este soporte se pueden modelar tanto eventos discretos como continuos en Redes Petri. Durante el desarrollo de este software se puso atención especial para utilizarlo intuitivamente por lo fácil de diseñar, rápida simulación y la sencilla documentación de las Redes Petri.

Entre las ventajas del modelado en Redes Petri encontramos:

- Fundamentación matemática y práctica bien desarrollada.
- Representación compacta del comportamiento del sistema.
- Herramientas disponibles para análisis cualitativos y cuantitativos.
- Naturaleza gráfica que ayuda en la comprensión de sistemas complejos.

En la automatización integrada actual se requieren crear estructuras jerárquicas en redes buscando eficiencia y facilidades de ampliación, modificación y mantenimiento; para reducir tiempo y costos en el proyecto y luego en el funcionamiento de la empresa.

La traducción de los modelos en Redes Petri a programas para autómatas están orientados a los lenguajes estándares de programación, recogidos en la norma IEC-1131.

Para lograr la integración de estas normativas se necesita de la normalización internacional de la automatización utilizando estándares, como es el caso de la norma IEC 1131 para la programación.

Por ello, las grandes empresas de automatización se reunieron para definir las normas estándares de los entornos de automatización; para ello trabajaron en comités de estandarización como OPC (Object Linking and Embedding for Process Control) Foundation y el IEC (International Electrotechnical Committee).

Para el modelado de sistemas de automatización por medio de las Redes Petri, fue seleccionada la metodología de implementación por medio de la traducción de modelos en las Redes Jerárquicas Extendidas GHENeSys a programas compatibles con la norma internacional IEC1131 [17] por ser considerado este método de los más eficientes y prácticos en este campo.

La herramienta GHENeSys elimina las principales limitaciones que presenta el software empleado actualmente en la docencia e investigación científica del Departamento de Automática, posibilitando el modelado de sistemas jerárquicos y orientados a objetos, además, contribuye al diseño y construcción de sistemas complejos, modelados en la Red de Petri extendida GHENeSys.[18]

Esto permite obtener un modelo jerárquico en varios niveles de la aplicación, donde cada nivel puede ser formado a través de tantas sub-redes como por unidades funcionales (UF) que tengan la suficiente independencia como para ser consideradas UF. Esto garantiza una equivalencia con la programación estructurada modular que la IEC1131 propone por medio de los bloques funcionales y rutinas permitidas.

1.7. Características Generales de los PLC.

Todos los componentes de los Controladores Lógicos Programables (PLC) son desmontables mediante conectores en módulos de hardware que cumplen determinadas funciones dentro del sistema, esto admite su adecuación al proceso automatizado. También, posibilita una máxima automatización con el mínimo de costos, facilitando el control tanto de una cafetera doméstica o de una planta compleja de procesos químicos. Además, permite una rápida reparación de averías dentro del sistema teniendo un juego de módulos estándar de repuesto que se puede colocar en cualquier parte con rapidez. [2]

La mayoría de estos módulos son sistemas de microprocesadores que admiten elaborar la mayor parte de sus interrelaciones funcionales mediante software.

Esto permite lograr prácticamente lo que se desee en el funcionamiento del sistema, pudiendo utilizarse un mismo módulo estándar para cualquier aplicación ya sea industrial, agrícola, turística, biotecnológica, administrativa, económica o de servicio. Hecho que estandariza los módulos de repuesto, reduciendo el volumen de los mismos en almacén y aumentando la seguridad del sistema.

Los operarios de estos sistemas no necesitan tener conocimientos de hardware interno de los módulos, sólo sus características y conexiones externas simplificadas al mínimo posible, mediante conectores, cables de interconexión, comunicación serie, etc.

Ellos tampoco necesitan tener conocimientos del lenguaje ensamblador, ni del software interno del sistema. Todo está preprogramado internamente para su funcionamiento y sólo se deja al usuario la creación del programa de la aplicación específica mediante un lenguaje de programación muy simplificado y accesible a cualquier técnico u obrero calificado; incluso dispone de facilidades para el uso de bibliotecas de software standard.

Las facilidades de modularidad y programación dan lugar a otra posibilidad importante: ir adicionando nuevos módulos o PLC a la red y ampliar el programa de aplicación. Esto permite modificar también el sistema existente sin necesidad de costo adicional alguno.

Estos sistemas están protegidos por hardware y software frente a errores del operador (de conexión y programación) e inmunidad frente a ruidos o señales perturbadoras. También, disponen de alarma e indicación de desperfectos internos del hardware y el software.

Mantienen vigilancia de problemas en el circuito externo (líneas en cortocircuitos o cables abiertos, incluso facilidades de vigilar el proceso y a la vez proteger el mismo de acciones erróneas que pueden dañar la instalación). Las ventajas de modularidad y programación permiten crear estructuras redundantes y sistemas de alta fiabilidad con relativa sencillez.

Tienen una elevada capacidad de procesamiento en un volumen mínimo, a gran velocidad y con un costo ínfimo, además, presentan robustez frente a solicitaciones mecánicas y ambientales severas; así como, facilidades de comunicación en redes de PLC y PC (Personal Computers).

1.7.1 Componentes Estructurales Fundamentales de los PLC.

EL Controlador Lógico Programable es el elemento fundamental del Sistema de Automatización y puede ocupar distintos niveles jerárquicos dentro de la red en dependencia de los módulos que lo componen y sus facilidades.

Los módulos fundamentales son: [2]

1. Fuente de alimentación: Genera todos los voltajes y corrientes utilizados por el PLC.

2. Módulo procesador central: Módulo central de gobierno del PLC, que incluye entre sus circuitos básicos:

- CPU: microprocesador que controla el sistema (Z80, 8031, 8032, 8051, 8052, etc.) y sus circuitos estándares.
- Memorias: sistemas de media o alta integración que almacenan el software central del PLC.
- Comunicación con periféricos o red: comunicación serie que permite el enlace del equipo con distintos periféricos.
- Comunicación del bus interno del PLC.

3. Módulo de entrada y salida digital.

4. Módulos de entradas y salidas analógicas.

5. Módulos inteligentes.

- Módulos de procesamiento de señales.
- Módulos reguladores.
- Procesadores de comunicación.

1.7.2. Los Lenguajes de Programación de los PLC Compatibles con la Norma Internacional IEC-1131-3.

La IEC 1131 es una norma aprobada como estándar internacional para los lenguajes de programación de PLC. Recoge todos los tipos de operandos de uso común en PLC.

Este estándar se ha desarrollado para:

- Poder usar un solo entorno de programación independientemente del hardware empleado para el control del sistema: (PLC, PC, Controladores)
- Incorporar en un solo entorno todos los elementos de la automatización (controladores, HMI, periféricos)
- El funcionamiento del automatismo tiene que ser independiente del sistema operativo utilizado.

El estándar incluye la definición de los tipos de datos y variables.

Con el objetivo de estandarizar los lenguajes de programación para PLC se definieron, según la norma IEC 1131-3, los siguientes grupos lenguajes de programación:

- Gráficos: LD y FBD
- Textos: IL y ST
- Generales: SFC

A continuación, ofrecemos algunas de sus características: [2]

- **LD:** Diagrama a contactos o de escalera (Ladder Diagram). Es una representación gráfica de expresiones booleanas, combinando contactos (condiciones) con bobinas (resultados) similar a un diagrama de contactos eléctricos.
- **IL:** Lista de Instrucciones (Instruction List). Su estructura principal es una lista de instrucciones, donde cada instrucción debe ocupar una nueva línea. Cada línea contiene un operador, que es completado por modificadores opcionales y uno o más operandos, si la operación específica lo requiere.
- **FBD:** Diagrama de Bloques Funcionales (Function Block Diagram). Consiste en una representación gráfica de diferentes tipos de ecuaciones. Los operadores son representados por cajas rectangulares de funciones y los operandos se conectan a su lado izquierdo (entradas) y derecho (salidas).
- **ST:** Texto Estructurado (Structured Text). Un programa en ST es una lista de sentencias ST. Cada sentencia termina en un separador [;] y se incluye dentro de uno de los tipos básicos de: asignación, selección, iteración, control o especiales. Los nombres usados en el código fuente (identificadores de variables, constantes, palabras reservadas del lenguaje) se desagrupan usando separadores inactivos o activos.

- **SFC:** Carta de Funciones Secuenciales (Sequential Function Chart). Es un conjunto gráfico de pasos y transiciones enlazados por conexiones orientadas. Cada transición es atada a una condición booleana. Las acciones de los pasos son detalladas usando otros lenguajes (ST, IL, LD, FBD).

1.8. El PLC GLOFA serie GM6 de LG y el software GMWIN para su programación.

El autómata GLOFA-GM6 de LG Industrial Systems facilita la instalación de los módulos necesarios para cualquier tipo de proyecto debido a su modularidad y sus prestaciones. (Ver anexo 1)

Se programa por medio de un software llamado GMWIN que posee una interfase confortable para el programador, declaraciones de variables de diferentes tipos a las cuales se le pueden asignar una determinada zona de memoria, soporta varios de los lenguajes estandarizados en la norma IEC – 1131 tales como LD, IL y SFC.

Este software permite la programación y la simulación de la secuencia del programa y el seguimiento cuando el autómata está conectado al proceso, brindando facilidades de interacción sobre las variables. Además, cuenta con librerías que poseen funciones especiales y bloques funcionales específicos para cada módulo y permite la comunicación con el autómata por la interfaz RS-232, MODEM y Ethernet. [19]

Por ello, para crear el programa que controle la práctica de laboratorio a través del PLC (Controlador Lógico Programable) se utiliza el GMWIN, herramienta para programar y depurar todas las series de PLC GLOFA de LG Industrial System, debido a que este tipo PLC es el que se aplica en esta instalación.

El GMWIN es una herramienta de programación que compila el programa, crea el fichero ejecutable, transfiere archivos al PLC, monitorea y actualiza los datos de PLC. Usa los métodos de la interfaz de múltiple documento (MDI), para que sea posible compilar y poner a punto varios programas al mismo tiempo. [20]

Se pueden crear programas donde se utilicen fácilmente los diferentes tipos de variables para facilitar el trabajo, así como la asignación de direcciones de memoria automáticamente. Soporta varios tipos de datos y se pueden crear los programas en lenguajes de alto nivel.

Permite cargar y monitorear los programas aunque no estén conectados directamente al PLC, también se puede hacer por medio de una red conectada al PLC. Además de las funciones normales y bloques funcionales, se puede definir un programa frecuentemente usado como una función o un bloque funcional para su conveniencia.

Con GMWIN, es posible compilar y depurar varios programas al mismo tiempo potenciando al máximo su eficiencia, además, soporta varios lenguajes de programación y el usuario puede seleccionar el que le convenga para crear su programa. También, se puede crear el programa utilizando símbolos de fácil comprensión, soporta varios tipos de datos y el usuario puede definir las librerías que le sean necesarias para su conveniencia; por otra parte el GMWIN se conecta al PLC por una red sencilla. [21]

1.8.1. Módulos del PLC GLOFA serie GM6 de LG.

A continuación se describen algunos módulos según [22], de que dispone este autómata:

- GM6-B08M: base para montar los módulos de: CPU, alimentación y hasta un máximo de 8 módulos de entrada/salida (I/O).
- GM6-PAFA: módulo de alimentación que se conecta a la línea (100-240 V AC) y entrega 5 V DC/2 A y 24 VDC/0.3 A.(se utiliza para la alimentación de los módulos digitales)
- GM6-CPUB: módulo de CPU que permite un máximo de 256 variables de I/O y tiene funciones especiales como la comunicación RS-422/485, RTC, PID.
- G6L-CUEB: módulo para la comunicación por el RS-232C con la PC.
- G6F-AD2A: módulo especial de conversión A/D de 4 canales de entrada con terminales de corriente (4 – 20 mA) y voltaje (1 a 5 VDC, 0 a 10 VDC y -10 a 10 VDC). Utiliza un conversor analógico–digital de 12 bits de resolución.
- G6I-D21A: módulo de entrada digital con un máximo de ocho canales de 12/24 V.
- G6F-DA2I: módulo especial de conversión D/A de 4 canales de salida en corriente (4 – 20 mA). Utiliza un conversor digital – analógico de 16 bits de resolución.
- G6Q-RY2A: módulo de salida digital de 16 canales de salida a relay que maneja 24 V DC/2A ó 220 V AC/2A.

1.9. Importancia de las Prácticas de Laboratorio.

Las Prácticas de Laboratorio constituyen la forma organizativa del proceso docente-educativo, a través del cual se fijan y profundizan mediante el experimento los fundamentos teóricos y prácticos de una determinada asignatura. Mediante estas, se aprenden los métodos más adecuados y se conocen los equipos y dispositivos óptimos para dar solución a un problema específico. [23]

En el proceso de enseñanza y aprendizaje de las especialidades de ingeniería, las prácticas de laboratorio, revisten una gran importancia dada en el vínculo de la teoría con la práctica, en su función generalizadora y en la comprobación de las leyes y principios físico-técnicos.

Además, garantizan que el estudiante pueda realizar dicha actividad de manera independiente en el futuro. Por ello, uno de los objetivos fundamentales de las prácticas de laboratorio, consiste en contribuir al desarrollo de las capacidades cognoscitivas del estudiante mediante la apropiación de las habilidades principales de cada asignatura, la familiarización con los elementos eléctricos y electrónicos, así como con su utilización, el correcto diseño y empleo de los diferentes dispositivos en la seguridad de los usuarios y de las propias máquinas. Por otra parte, permiten que el alumno consolide y gane de manera gradual el desarrollo de habilidades prácticas y la aplicación de los conocimientos teóricos.

1.10. Antecedentes de la Práctica de laboratorio “Panel Gaseoso”.

Desde su creación, el Laboratorio de Control de Procesos de la Universidad de Oriente ha sido objeto de diferentes proyectos e investigaciones científicas para su modernización.

Una de las prácticas más importantes que se han realizado en él ha sido la medición y el control de presión en el Panel Gaseoso. Esta instalación posee instrumentación neumática procedente del antiguo Campo Socialista. La proyección de la instalación y el montaje de toda la instrumentación fueron realizados por profesores del Departamento de Control Automático.

Hace algunos años se realizó una modernización de la instalación lo que traería una notable mejoría a las prácticas que se realizaban en ella; pues se configuró el sistema de supervisión para acceder a la práctica desde Internet. A esta instalación se le agregó una instrumentación electro-neumática (antes el control se realizaba con un autómeta TSX-17 y la supervisión se realizaba desde una computadora conectada al autómeta).

Esta nueva configuración consistía en realizar prácticas de identificación con la utilización de métodos computacionales para obtener un mejor modelo de la planta y en las prácticas de Sistemas de Control admitía probar algoritmos de control basados en computadoras. Además, la utilización de autómetas programables proporcionaba que se realizaran prácticas de las asignaturas Sistemas de Automatización, Medios Técnicos de Automatización y Automática V. La instrumentación nueva era simplemente un transductor electro-neumático y un transmisor neumo-eléctrico. [24]

En estos momentos, el transductor electro-neumático no está funcionando, lo que provoca que la instalación esté trabajando con la instrumentación neumática solamente.

Además, el autómata TSX17-20 posee un soporte de programación sobre el sistema operativo MS-DOS que tiene grandes limitaciones para ser utilizado en computadoras más modernas pues no cumple con los estándares internacionales actuales.

Por estas razones, la práctica de laboratorio “Panel Gaseoso” no se ha desarrollado en los últimos años: debido a carencias tanto de los componentes que ella utiliza para su funcionamiento, así como de máquinas computadoras y Controladores Lógicos Programables (PLC, también llamados autómatas programables). Hecho lamentable, pues es imprescindible para que los estudiantes conozcan cómo se mide y controla la presión en la industria utilizando los PLC.

En el curso 2007-2008 se propuso un proyecto para modernizar esta práctica, apoyándose en una familia de PLC de gran uso y prestigio internacional como es SIMATIC S7 de SIEMENS. El HMI no se pudo montar debido a que la herramienta no se encontraba disponible en WinCC-S7.

Se intentó hacerlo con el Labview y el LabWindows pero la Unidad de Procesamiento Central (CPU) no permitió la comunicación. Además, este proyecto no se pudo llevar a la práctica porque no se disponían de módulos analógicos de entrada/salida para comunicar al PLC con el proceso.

Esta práctica de laboratorio presenta algunas limitaciones que no permiten elevar la formación integral de estudiante, disminuyendo la calidad de esta actividad docente, entre estas limitantes están: no poseer semejanza con los estándares de la automatización actual, no tiene similitud con las condiciones de operación de las industrias actuales, no esta dotada de diferentes algoritmos de control para controlar el proceso.

Debido a estas limitaciones, se propone revitalizar esta práctica, para que los estudiantes de años venideros puedan alcanzar mayores conocimientos que favorezcan su desempeño profesional, utilizando la familia de PLCs GLOFA de LG.

Conclusiones del Capítulo.

Al analizar los fundamentos teóricos de la investigación, concluimos que para diseñar e implementar un Sistema de Automatización que permita la modernización de la práctica de laboratorio “Panel Gaseoso” debemos:

- Modelar en Redes Peri utilizando el Visual Object Net.
- Programar el PLC GLOFA-GM6 con lenguajes contenidos en la Norma Internacional IEC-1131.
- Instalar nuevos aditamentos que permitan la modernización de la práctica (PLC y Panel de Control).

Universidad
Oriente



SANTIAGO DE CUBA

Capítulo 2

CAPÍTULO 2: MODELADO, PROGRAMACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE LA PRÁCTICA DE LABORATORIO “PANEL GASEOSO”.

En este capítulo se hace una breve descripción de la práctica de laboratorio “Panel Gaseoso”, además, se verifica que los modelos cumplan con las propiedades de las Redes Petri. También, se comenta el programa para llevar a cabo el Sistema de Automatización de dicha práctica de laboratorio. Se describe el diseño de la nueva instalación y se brinda la valoración económica de la práctica de laboratorio. Por último, se ofrecen las consideraciones de expertos sobre la modernización de la instalación del “Panel Gaseoso”.

2.1. Descripción General de la práctica de laboratorio “Panel Gaseoso”.

El “Panel Gaseoso”, (ver figura 2.1), está formado por un tanque cilíndrico metálico que posee una entrada a través de una válvula neumática normalmente abierta y tres válvulas manuales de salida, cada una de las cuales posee resistencias diferentes. [24]

Para que esta instalación comience a funcionar, debemos asegurarnos que el compresor esté en funcionamiento y como medida de seguridad una de las válvulas de salida del tanque debe estar abierta.

El tanque tiene un sensor-transmisor de presión que le envía la información al Controlador Lógico Programable (PLC), dispositivo que controla totalmente el sistema. Cuando la presión en el interior del tanque comienza a aumentar, esta se indica en un manómetro, y se mide con un sensor-transmisor neumático de presión. El PLC recibe la información transmitida por el sensor-transmisor a través del módulo de entradas/salidas analógicas. Según el programa elaborado para ello, el PLC envía su señal de control por el módulo de salida analógica y este al elemento de acción final (válvula neumática), a través de un transductor electro- neumático.

En la instalación, además, se mide la presión a la entrada y a la salida de la válvula de regulación, y a la salida del transmisor. Esto es posible pues a continuación de las válvulas de salida del tanque, se encuentra instalado un rotámetro que indica el flujo de aire que se escapa a la atmósfera.

Actualmente el sensor-transmisor neumático de presión y transductor electro-neumático no están funcionando porque se encuentran rotos.

Debido a esto la práctica de laboratorio presenta restricciones en cuanto a su funcionamiento, que impiden brindar a los estudiantes una adecuada actividad docente donde puedan conocer el desempeño de los sistemas de automatización en las industrias modernas. Otra de sus limitaciones radica en no poseer similitud con los estándares de automatización modernos, así como de carecer de varios algoritmos de control para controlar el proceso.

Descritos los principales problemas que presenta la instalación, se procede a su modernización.



Fig. 2.1. Práctica de laboratorio “Panel Gaseoso”.

2.2. Modelado de la práctica de laboratorio “Panel Gaseoso”.

En muchas ocasiones, es muy útil poseer el modelo de un sistema para su análisis y, en particular, para el control, pues la inmensa mayoría de los métodos de diseño se basan en su conocimiento.

La determinación de dicho modelo, a partir de tener algún conocimiento previo sobre el proceso y de experiencias prácticas, se le conoce como identificación. [25]

Para conocer si los modelos elaborados están bien concebidos, se debe primero asegurar que estos cumplan con las principales propiedades funcionales de las Redes Petri; esto permitirá obtener los modelos verificados y validados por medio de la simulación. Con este fin, se utilizan herramientas de simulación de modelos en Redes Petri.

Los modelos en Redes Petri (PN) tienen muchas propiedades; si los métodos de verificación de los modelos permiten garantizar al menos las propiedades de Vivacidad, Alcanzabilidad, Limitación y Reversibilidad, tienen resuelto el 99.9% de las especificaciones de síntesis requeridos para un control eficiente.

Por eso, en este epígrafe solo se propone demostrar que los modelos cumplen con estas propiedades. En los anexos del 2 al 6 se muestran los modelos completamente. Además, para la verificación a través de la simulación de estas propiedades se entrega adjunto a este trabajo el programa Visual Object Net versión 2.7 con todos los modelos elaborados.

Cabe señalar que todas estas propiedades fueron analizadas para comprobar su existencia en cada uno de los modelos, es por eso que se entrega el programa y los modelos adjuntos para su comprobación a través de la simulación, puesto que sería muy engorroso explicar la forma en que se evidencian cada una de ellas en todos los modelos.

A continuación, se explica cómo se ponen de manifiesto cada una de estas propiedades en los modelos del Sistema de Automatización de la práctica de laboratorio “Panel gaseoso”.

La primera propiedad que se verifica es la Alcanzabilidad ya que es una propiedad muy importante pues permite que todos los estados posibles de la red sean alcanzables, es decir que partiendo de cualquier estado la red sea capaz de avanzar hasta otro estado determinado sin esta caiga en un ciclo o bloqueo que no permita alcanzar el estado deseado.

En los modelos de la práctica de laboratorio “Panel Gaseoso” esta propiedad se pone de manifiesto de la siguiente manera. (Ver las figuras 2.2.1 y 2.2.2)

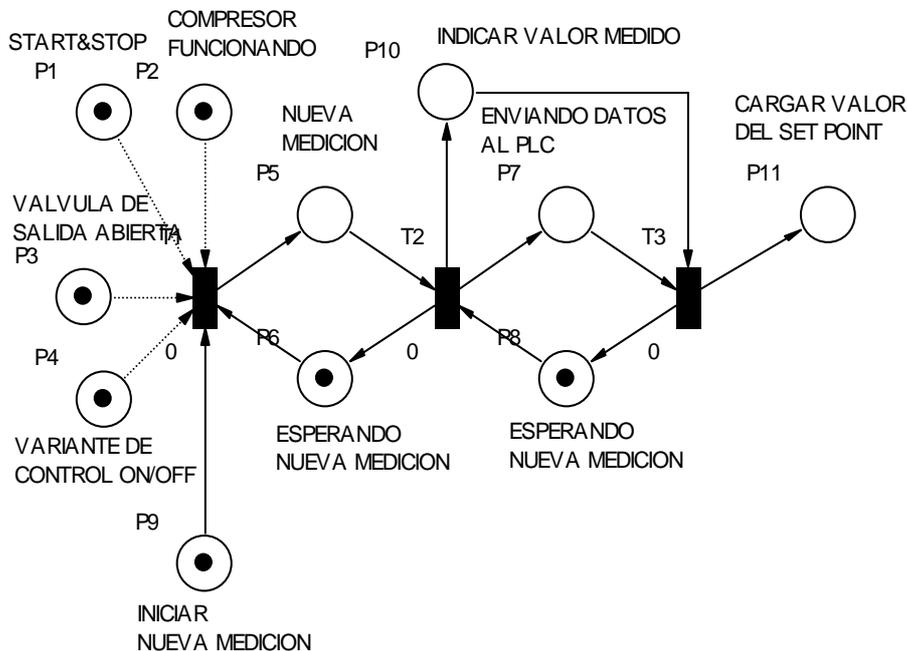


Fig. 2.2.1 Modelo de la Variante de Control On/Off (Inicio de Secuencia).

Este esquema corresponde con la variante de control On/Off, como se puede observar, para que esta variante funcione además de estar seleccionada, debe de estar abierta alguna de las válvulas de salida como medida de seguridad, estar energizado el panel de control y estar el compresor funcionando; si alguna de estas condiciones no se cumple no estará habilitada la primera transición y no se iniciará una nueva medición. Con esta propiedad lo que se pretende es hacer cumplir que todos los estados posibles sean alcanzados.

Luego se comprueba si la red es capaz de avanzar automáticamente hasta el estado donde se indica cargar el set point seleccionado desde el estado inicial nueva medición.

Después de estar logradas las condiciones para que el proceso funcione (botón de start presionado, compresor encendido, la válvula de salida abierta, y seleccionada la variante de control) se pone en marcha una nueva medición y como no existe ningún bloqueo, la red es capaz de alcanzar, en este caso, el estado donde se indica que se ha cargado el nuevo valor del set point.

Entonces de esta forma queda demostrado que el modelo de la variante de control On/Off de la práctica de laboratorio "Panel Gaseoso" cumple con la propiedad de Alcanzabilidad.

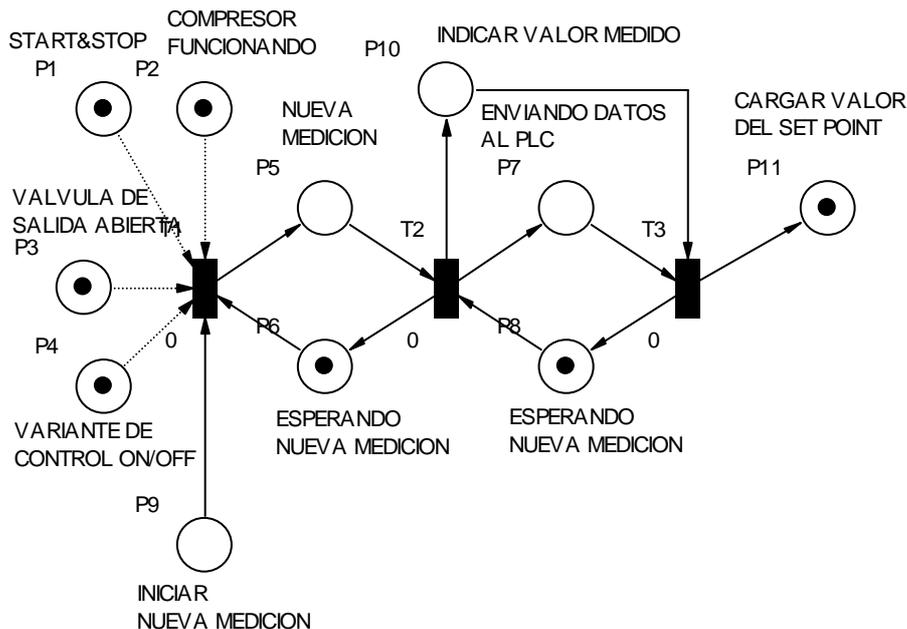


Fig. 2.2.2 Modelo de la Variante de Control On/Off (Fin de Secuencia).

A continuación, se pasará a la verificación de la propiedad de Vivacidad que permite que la red continúe funcionando, evitando que esta caiga en un ciclo del cual la red no sea capaz de salir, además, la Vivacidad consiste en la ausencia de bloqueos que limiten la dinámica de la red para una determinada parte de esta y no permita que la misma caiga en las restantes partes de la red. Esta propiedad está presente en el modelo general o principal de la práctica de laboratorio.

En los modelos de la práctica de laboratorio “Panel Gaseoso” esta propiedad se pone de manifiesto en el ejemplo siguiente a través de las figuras 2.3.1 y 2.3.2

Aquí se modela el funcionamiento general de dicha práctica. Si está seleccionado el botón start y se cumplen las condiciones de operaciones normales (válvula de salida abierta y compresor funcionando), no hay emergencias ni fallos y está seleccionada la variante de control que se desea, comienza a funcionar la subrutina de control que se seleccionó (PID que en este caso es la seleccionada). Dicha subrutina está representada por un macro elemento que simula las distintas operaciones que se realizan en este modo de control.

Lo que pretendemos demostrar es que la red también es capaz de activar la subrutina de control manual que en este caso está en la otra parte de la red y el modelo cumpla con la propiedad de Vivacidad.

En la figura 2.3.1 se puede observar que al estar habilitado el cambio del modo de control, se activa la selección del modo de operación y como esta escogida la subrutina de control PID el sistema comienza a ejecutar dicha subrutina.

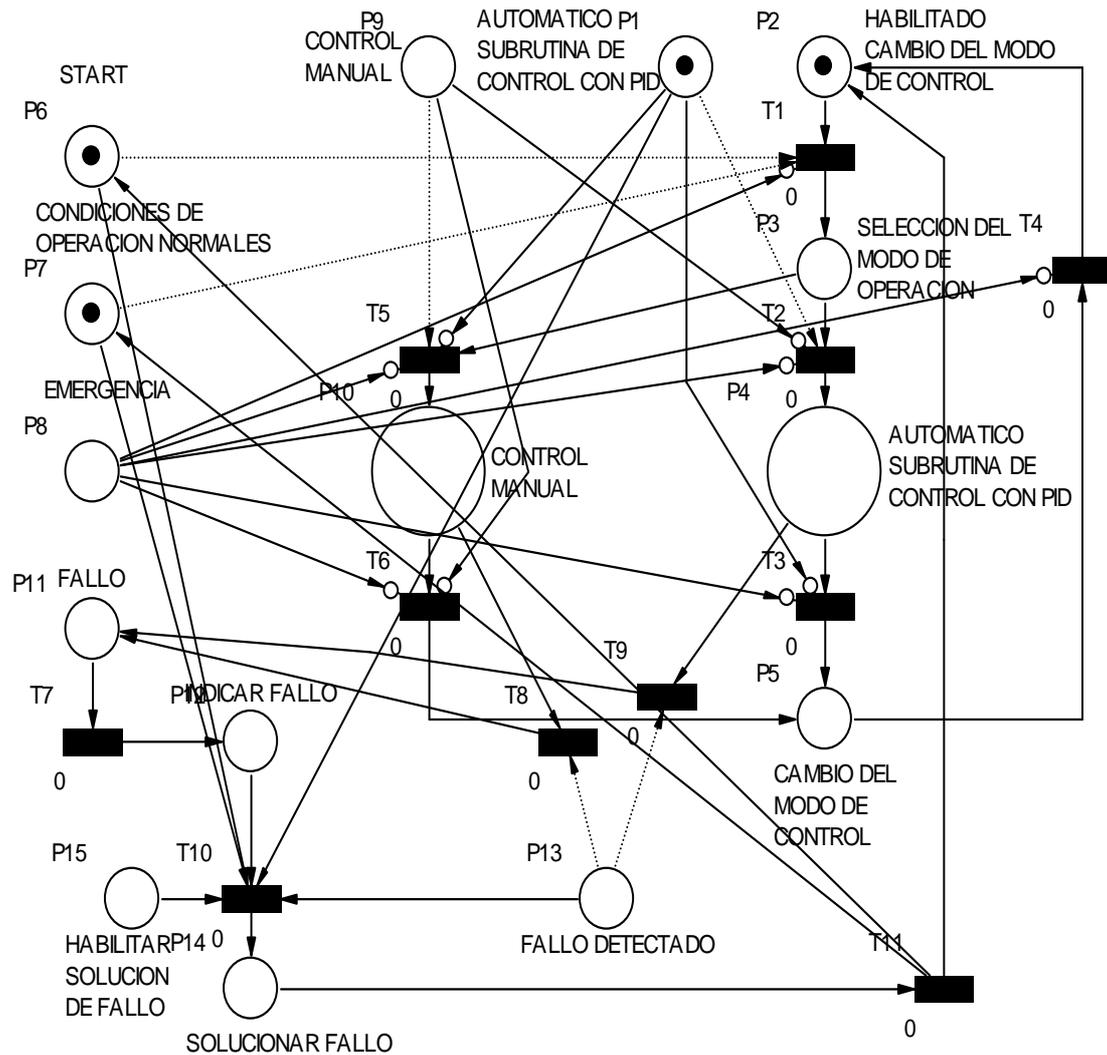


Fig. 2.3.1 Modelo del Programa Principal (Inicio de la secuencia).

Si se desea cambiar el modo de operación se selecciona a seguidas, la variante en la cual se quiere trabajar, en este caso la variante de control Manual.

Para ello, se desactiva la anterior y se activa la subrutina en que se desea trabajar a continuación y el sistema automáticamente comienza a ejecutar la variante seleccionada luego de pasar por los siguientes estados: cambio del modo de control, habilitado el cambio del modo de control, selección del modo de operación y por último la nueva subrutina de control seleccionada.

De esta forma queda demostrado que el modelo cumple con la propiedad de Vivacidad, debido a que la red no posee bloqueos que limiten el funcionamiento de la red a una sola parte de esta.

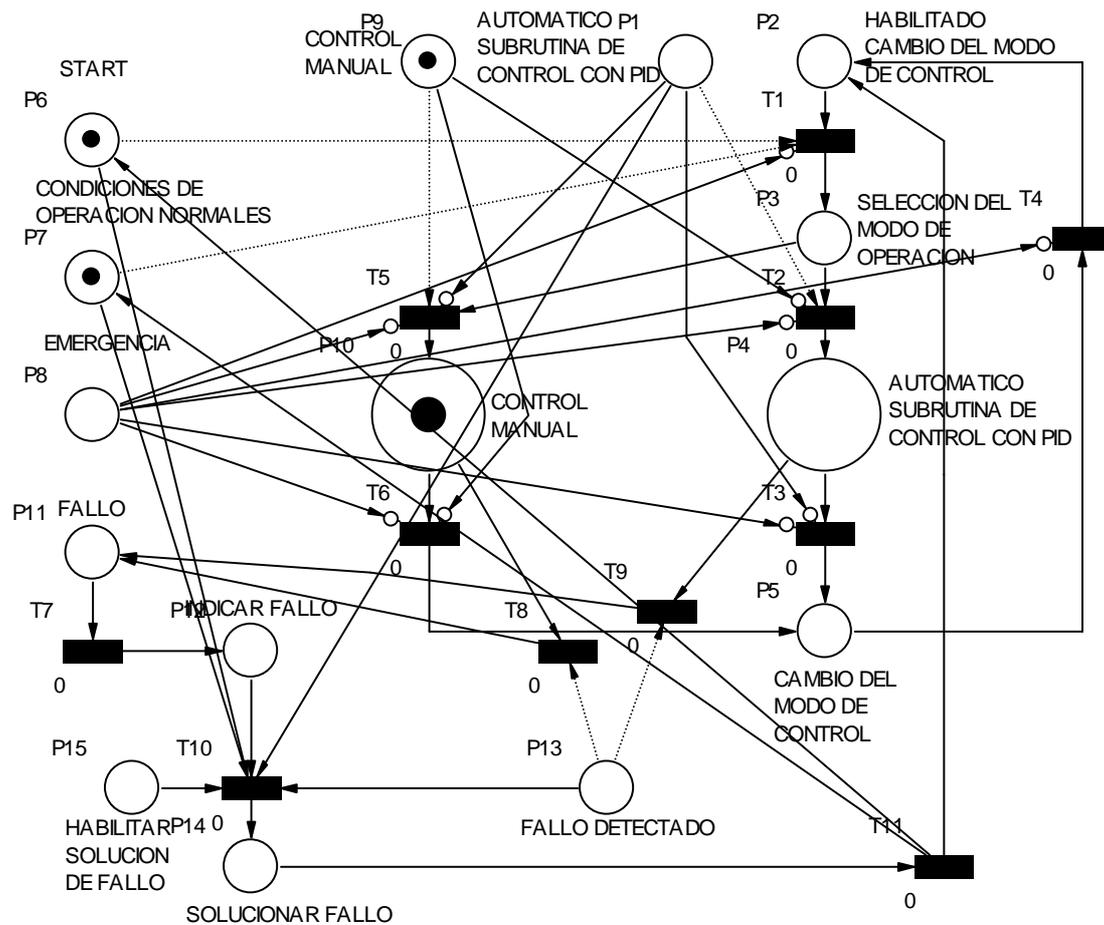


Fig. 2.3.2 Modelo del Programa Principal (Fin de la secuencia).

En este modelo (Modelo del Programa Principal) también queda demostrada la propiedad de Reversibilidad esta propiedad es la encargada de garantizar que la red sea capaz de retornar la estado que se haya determinado como inicial por el diseñador; esto es muy importante para todo modelo debido a que los sistemas de control tienen la característica de ser cíclicos pues esto le permite la realimentación del sistema o la ejecución varias veces de una determinada secuencia.

En el modelo presentado anteriormente la red es capaz de mantenerse funcionando sin caer en ningún ciclo que le impida continuar con el funcionamiento normal del sistema y permite que el funcionamiento no sea aleatorio sino controlable pues la red retorna siempre al estado habilitar cambio del modo de control, el cual es un estado particular de interés en el sistema de control y el seleccionado como inicial.

Por último, la propiedad de Limitación se pone de manifiesto en la figura 2.4, esta pertenece igualmente al modelo del control On/Off. La red será limitada si el número de tokens (k) en cada lugar o estado no excede su capacidad para cualquier estado alcanzable desde el estado inicial. La seguridad de la red estará presente si el número de tokens es limitado con $k=1$.

Este modelo al igual que los anteriores no funcionará hasta tanto los estados: compresor funcionando, válvula de salida abierta, start y variante de control On/Off no estén activados. Luego de estar estos seleccionados el sistema entonces comenzará su funcionamiento normal.

Cuando el sistema detecte que ha ocurrido una cantidad de fallos, determinada por el diseñador de los modelos de la práctica de laboratorio a automatizar, el sistema pasará al estado stand by y no se podrá reiniciar el mismo sin haber solucionado el fallo antes.

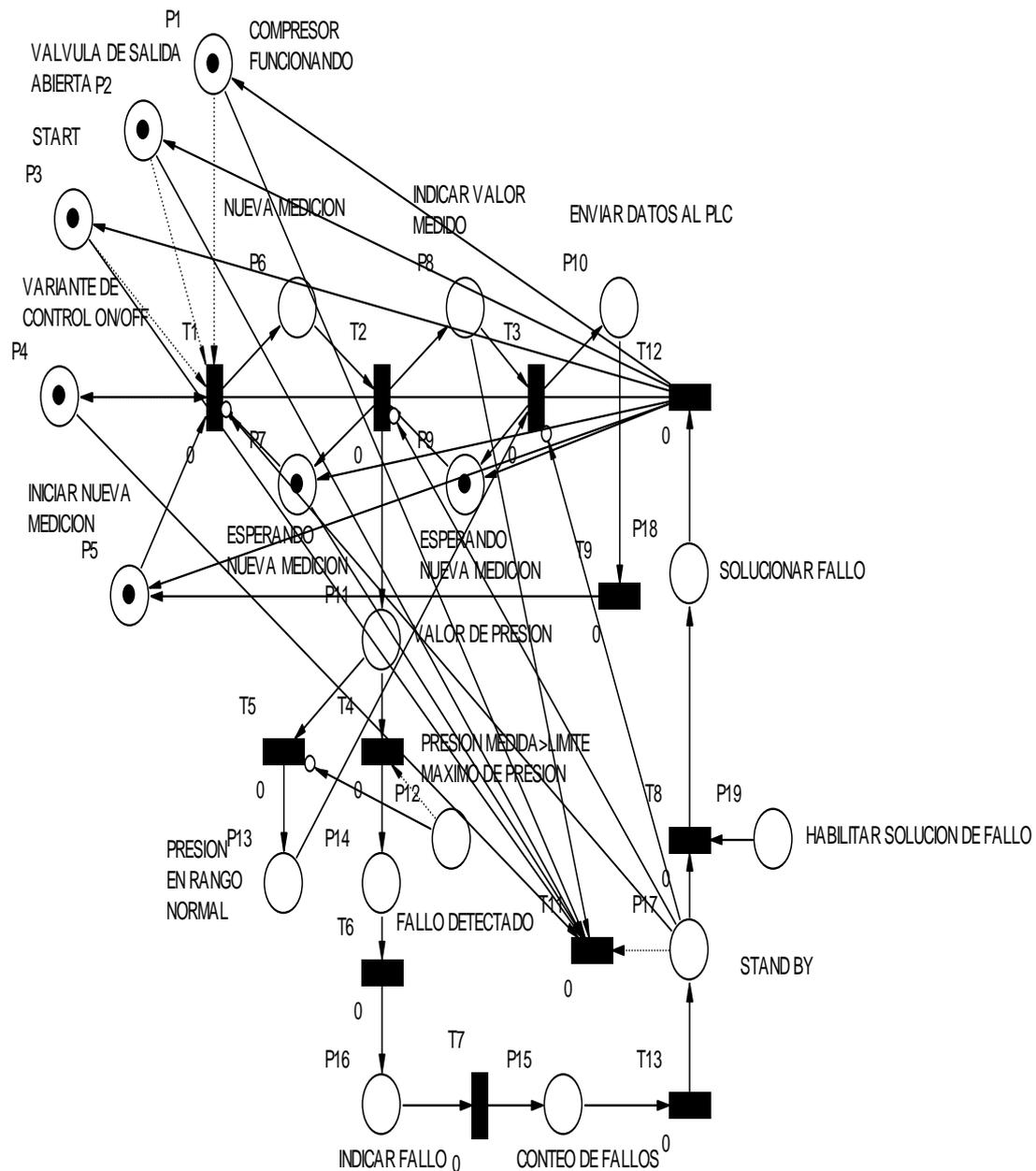


Fig. 2.4 Modelo de la variante de control On/Off.

Entonces, podemos decir luego de observar el esquema que la red cumple con la propiedad de limitación ya que el modelo no excede el número de tokens permitidos para cada marcación o estado.

De esta forma se comprueba que nuestros modelos cumplen con las cuatro propiedades requeridas para un control eficiente y queda garantizada así la verificación de los mismos.

A continuación pasamos a la validación de los modelos; esta prueba nos ayuda a determinar si el modelo realizado tiene similitud con las especificaciones del diseñador.

Luego de estar verificados y validados los modelos se transita por la etapa de Implementación. Esta permite elaborar la aplicación partiendo del modelo validado y verificado, esta etapa debe ser lo mas efectiva y rápida posible examinando la mayor analogía entre el modelo y el programa en el lenguaje de autómatas.

2.3. Programa del Sistema de Automatización de la práctica de laboratorio “Panel Gaseoso”.

Para elaborar el Programa del Sistema de Control de la práctica de laboratorio “Panel Gaseoso” se utiliza el software GMWIN, no solo por sus ventajas sino porque se emplea internacionalmente para programar autómatas de la marca GLOFA de LG específicamente el GM 6, el cual se utiliza en nuestro trabajo.

Seguidamente, se muestra cómo se programa de modo general el Sistema de Automatización de la práctica de laboratorio “Panel Gaseoso”. (Ver anexos del 7 al 11).

El programa para realizar el control en esta práctica de laboratorio se puede desglosar en cuatro partes; lo cual concuerda con los modelos en Redes Petri que son cuatro también:

- El Programa Principal.
- Subrutina Control Manual.
- Subrutina Control ON/OFF.
- Subrutina Control PID.

El **Programa Principal** es el encargado del encendido y apagado de la práctica de laboratorio, señala el modo de control en que se está trabajando o si ocurre algún fallo o emergencia y supervisa que las condiciones de operaciones normales existan para que el funcionamiento de la instalación sea correcto; es decir; que no existan fallos; alguna emergencia o que el sistema se encuentre en stop. Además, posibilita que se ejecute la subrutina de control seleccionada por el usuario.

En la **Subrutina de Control Manual** primero se inicializan las entradas analógicas y luego se leen. Estas entradas analógicas corresponden a la presión medida dentro del tanque y al set point seleccionado por el usuario.

Luego se cargan los valores mínimos y máximo de presión, los cuales delimitan el rango permisible de presión dentro del tanque, para compararlos con la presión medida y señalarlos en caso de que la presión esté en alguno de estos valores.

El usuario luego de que la medición es indicada deberá mantener la presión en el valor seleccionado mediante la apertura o cierre de la válvula.

En la **Subrutina de Control ON/OFF**, al igual que en la anterior, el primer paso es inicializar, mediante los bloques correspondientes, las entradas analógicas y obtener su valor guardándolo después en su variable correspondiente. Cabe señalar que los límites máximo y mínimo de presión también son guardados en variables y direcciones de memoria para su posterior uso.

La próxima secuencia en esta subrutina es, mediante el uso de bloques comparadores, verificar si la presión medida está en los límites máximo o mínimo. A continuación, se procede a comparar la presión medida con el set point para determinar si hay que abrir o cerrar la válvula.

En caso de que la presión esté por encima del set point se procede a cerrar la válvula escribiendo en el bloque de salidas analógicas el mínimo valor posible y si la presión está por debajo del set point se escribe el mayor valor en el bloque de salidas analógicas.

Por último, en esta subrutina de control también está previsto señalar y actuar sobre cualquier fallo o emergencia posteriormente de ser indicados.

En la **Subrutina de Control PID**, al igual que en las anteriores, el primer paso es inicializar mediante los bloques correspondientes, las entradas analógicas y obtener su valor guardándolo después en su variable correspondiente. Estos bloques son el AD2INI y el AD2ARD, cabe señalar que los límites máximo y mínimo de presión también son guardados en variables y direcciones de memoria para su posterior uso, empleando para esto los bloques MOVE.

La próxima secuencia en esta subrutina es, mediante el uso de bloques comparadores, verificar si la presión medida está en los límites máximo o mínimo de presión.

A continuación, se produce la comparación de la presión medida con el set point para determinar si hay que abrir o cerrar la válvula. Los bloques utilizados para comparar la presión con los valores mínimo y máximo son los bloques LE y GE respectivamente que corresponden a la comparación de *menor o igual que* o *mayor o igual que*.

Esto permite que se indiquen los límites inmediatamente después de ser detectados y no esperar a que estos sean sobrepasados para indicarlos.

Seguidamente, se procede con la puesta en funcionamiento del bloque PID que va a ser el encargado, luego de estar correctamente inicializadas sus entradas, de ejercer el control y lograr que la presión medida esté lo más cercana posible al set point seleccionado. Por último, en esta subrutina de control también está previsto señalar y actuar sobre cualquier fallo o emergencia, posteriormente de ser indicados.

2.4. Instalación de la Práctica de laboratorio “Panel Gaseoso”.

Para la modernización de la nueva práctica de laboratorio, se diseña un panel de control para la manipulación de dicha instalación, así se puede encender, apagar y seleccionar la variante de control en que se desee trabajar y posibilita supervisar el estado de la práctica mediante los indicadores del panel de control. Ver anexo 12.

El panel de control está provisto de: botones para la parada por emergencia o fallo, para el encendido y apagado, para la selección de Manual o Automático, Modo de control On/Off o PID, indicadores del estado en que se encuentra el proceso como son: encendido, variante de control que se esta ejecutando Manual o Automático (On/Off y PID), emergencia, fallo detectado, límites de alarma mínimo y máximo y por último de un potenciómetro para seleccionar el set point.

Las alarmas corresponden a los límites máximo y mínimo de la presión dentro del tanque. Por último, en la parte inferior del panel están señaladas las precauciones para el trabajo con esta instalación.

Para la medición de la presión se probaron dos sensores que resultaron estar no aptos para su uso y no se pudieron conseguir transductores para el funcionamiento de la válvula de regulación. Para visualizar el set point seleccionado se previó la utilización de un display, pero este no se pudo adquirir.

Por tal motivo se llegó al acuerdo de instalar el PLC con el programa para el control del Sistema de Automatización, así como el panel de control; con la sugerencia de que luego de adquirir en un futuro estos dispositivos fueran conectadas las señales de estos elementos al PLC e instalados para llevar a cabo la puesta en marcha del Sistema de Automatización de la práctica de laboratorio.

El PLC cuenta con módulos de entradas y salidas analógicas y digitales mediante las cuales se comunica, obtiene información y actúa sobre el proceso, por citar un ejemplo, ajusta la presión medida con respecto al set point seleccionado y sobre el panel indicando o capturando las señales de control. El esquema de conexiones entre el PLC y el proceso y el PLC con el panel de control se muestran en los anexos 13 y 14.

Las indicaciones para el trabajo con esta práctica de laboratorio son sencillas: lo primero que debe hacer el usuario es comprobar que el compresor esté funcionando de lo contrario no deberá encender la instalación; luego deberá verificar que la válvula de salida de seguridad esté abierta. Si estos requisitos se cumplen se podrá comenzar cualquier variante de control después del encendido de la instalación. Al terminar, el usuario deberá dejar apagado el sistema y se asegurará de que los botones de emergencia o fallo no queden presionados.

Las tres partes principales en que está dividida la práctica de laboratorio, son: en primer lugar, los dispositivos que integran el proceso (tanque cilíndrico, válvulas, manómetros, sensores, etc.); en segundo lugar el PLC y en tercer lugar el panel de control. Ver anexo 15

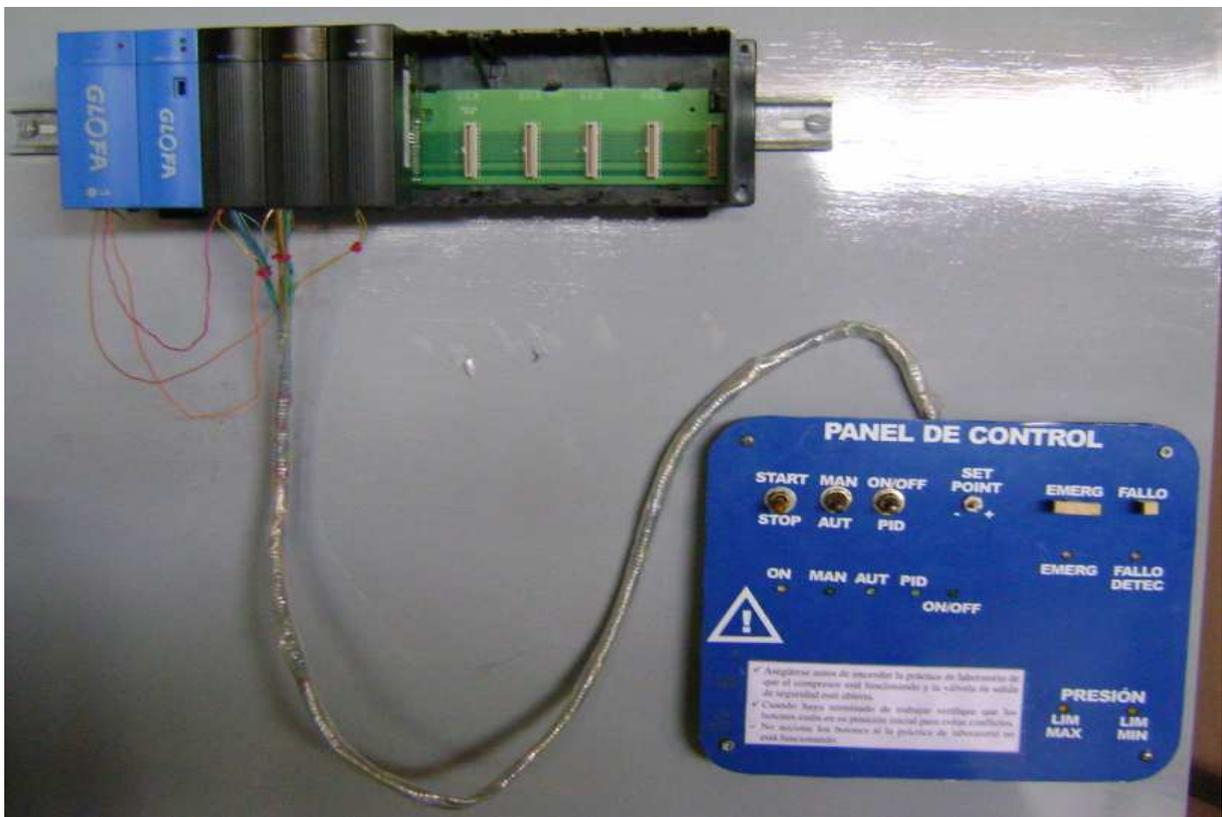


Figura 2.5. Panel de Control y PLC GLOFA GM-6.

2.5. Valoración Económica.

Paralelo a este Trabajo de Diploma el Departamento de Control Automático conjuntamente con la Dirección de la Facultad de Ingeniería Eléctrica (FIE) hizo una propuesta de modernización del Laboratorio de Control de Procesos de la carrera de Ingeniería Automática al Ministerio de la Informática y las Comunicaciones (MIC); el mismo tiene como objetivo comprar e instalar un equipamiento totalmente nuevo para todas las prácticas que se realizan en el Laboratorio de Control de Procesos.

Sin embargo, este proyecto tiene un costo muy elevado, el mismo asciende a 8661.89 USD. [26]

El presente trabajo de diploma propone también una modernización de la práctica de laboratorio "Panel Gaseoso", pero con un costo muchísimo menor, debido a que el PLC que se emplea proviene de una donación hecha a la facultad, no hay que adquirirlo.

Además, el panel de control, los botones, indicadores y otros aditamentos que necesita esta práctica, fueron construidos con recursos propios u obtenidos de equipos en desuso contribuyendo a acercar el sistema a las condiciones de una industria real, al tener botones de accionamiento manual y automático, parada de emergencia, chequeo y señalización de fallos junto con los diferentes algoritmos en los lazos de control.

Por lo tanto, este trabajo constituye un significativo ahorro para la facultad, ya que mientras se lleva a cabo la realización del proyecto, brinda nuevas posibilidades a los estudiantes que observarán en la práctica lo aprendido en la teoría. La nueva instalación servirá de gran aprovechamiento docente debido a que en estos momentos la práctica no está automatizada.

2.6. Valoración de expertos sobre las nuevas posibilidades de la práctica de laboratorio.

Este Trabajo de Diploma es de suma importancia para el Departamento de Control Automático, debido a que aporta aspectos novedosos en la modernización del Laboratorio de Control de Procesos de la Carrera de Ingeniería Automática, lo que contribuirá a una mejor preparación de los estudiantes pues podrán recibir prácticas de laboratorio con Sistemas de Automatización que simulen las condiciones de operación de las industrias y proporcionará solucionar las principales limitaciones que presenta la práctica de laboratorio "Panel Gaseoso".

El Sistema de Automatización diseñado asegura la eficiencia del proceso debido a que la utilización de la metodología del modelado en Redes Petri garantiza que luego de estar validado el modelo del proceso, el Sistema de Automatización proyectado será capaz de garantizar un control óptimo.

El informe cuenta con los aspectos precisos para el diseño y la implementación del sistema de automatización, además, podrá servir como referencia para posteriores proyectos que incluyan la modernización de otras prácticas de laboratorio pertenecientes al Laboratorio de Control de Procesos del Departamento de Control Automático.

M.C José Ricardo Núñez Alvarez
Jefe de Departamento de Automática
Facultad de Ingeniería Eléctrica
Universidad de Oriente

Este Trabajo de Diploma reviste una relevante importancia para el Departamento de Control Automático, debido a que aporta modernización al Laboratorio de Control de Procesos de la carrera de Ingeniería Automática. El mismo contribuirá a una mejor preparación de los estudiantes pues podrán recibir prácticas de laboratorio con sistemas de control que simulen las condiciones de operación en una industria real.

Debido a que la instalación estará dotada de botones de accionamiento manual y automático, parada de emergencia, chequeo y señalización de fallos, junto con varios algoritmos en los diferentes lazos de control.

El Sistema de Automatización diseñado asegura la eficiencia del proceso debido a que la utilización de la metodología del modelado en Redes Petri garantiza que luego de estar validado y verificado el modelo del proceso, el Sistema de Automatización proyectado será capaz de garantizar un control óptimo luego de ser programado en lenguaje de autómatas.

El trabajo tiene los aspectos puntuales para el diseño y la implementación del Sistema de Automatización, además, podrá servir como referencia para posteriores proyectos que incluyan la modernización de otras prácticas de laboratorio pertenecientes al Laboratorio de Control de Procesos del Departamento de Control Automático. También este proyecto permitirá erradicar las limitaciones actuales de esta práctica de laboratorio.

Esto tiene una importancia docente muy grande y hará cumplir el principal objetivo de las prácticas de laboratorio que no es más que acercar a los estudiantes a las aplicaciones reales de la teoría que reciben en clase y lo que no es menos trascendente, conocer la tecnología de avanzada con que cuenta en estos momentos la automatización.

Ing. Alexis Santana Sánchez
Poder Popular Provincial
Santiago de Cuba

Conclusiones del Capítulo.

Se obtuvo el modelo y el programa para el control del Sistema de Automatización de la práctica de laboratorio "Panel Gaseoso".

Se diseñó e implementó el Sistema de Automatización de la práctica "Panel Gaseoso".

Esta instalación contribuirá a una mejor preparación de los estudiantes pues podrán recibir prácticas de laboratorio con sistemas de control que simulen las condiciones de operación en una industria real.

Por otra parte, constituye una solución alternativa mientras se lleva a cabo el proyecto con el MIC (Ministerio de la Informática y las Comunicaciones) para la completa modernización del Laboratorio de Control de Procesos de la Carrera de Ingeniería Automática.

Universidad
Oriente



SANTIAGO DE CUBA

Conclusiones

CONCLUSIONES

El diagnóstico realizado permitió constatar que la actividad docente está afectada por las insuficiencias de la práctica de laboratorio “Panel Gaseoso”, lo cual limita la formación integral de los estudiantes de Ingeniería Automática.

Al modernizar esta instalación, la práctica “Panel Gaseoso” se ajusta a las necesidades del Laboratorio de Control de Procesos; ampliando así el empleo de ella por los estudiantes y cumpliendo de esta forma con los objetivos para los cuales se reciben estas prácticas.

Propicia la inserción de nuevas prácticas de laboratorio pues la utilización del PLC GLOFA de LG permite dotar a estas de varios algoritmos de control (PID, On/Off, Manual), efectuando prácticas de tolerancia a fallos y de medición de presión.

En correspondencia con la valoración realizada por los expertos constituye una solución alternativa a las necesidades de la institución, lo que contribuye a una mejor preparación de los estudiantes pues podrán recibir prácticas de laboratorio con Sistemas de Automatización que simulen las condiciones de operación de una industria real.

Universidad
Oriente



SANTIAGO DE CUBA

Recomendaciones

RECOMENDACIONES

Después del cumplimiento de los objetivos trazados y luego de profundizar en los temas que este Trabajo de Diploma plantea, recomendamos:

- Continuar con el proyecto de modernización de la práctica de laboratorio "Panel Gaseoso".
- Hacer extensiva la modernización, en la medida de las posibilidades, al resto de las prácticas de laboratorio de la carrera de Ingeniería Automática.

Universidad
Oriente



SANTIAGO DE CUBA

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]- Mendiburu Díaz, Henry. Automatización, disponible en: <http://www.galeon.com/hamd/pdf/automatizacion.pdf> . 2009
- [2]-Ramírez Torres, Erick. Sistema Docente de Automatización Industrial. Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniero Automático, Instituto Superior Politécnico “Julio Antonio Mella”, Santiago de Cuba, junio 2003.
- [3]-Roldan Jiménez, Félix. Control y Supervisión de Instalaciones de Laboratorio a través de la Intranet local y la Internet : Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniero Automático, Instituto Superior Politécnico “Julio Antonio Mella”, Santiago de Cuba, junio 2002.
- [4]-Frey, Litz, L. "Formal methods in PLC programming". Proceedings of the IEEE SMC 2000. Nashville, TN. October 08-11, 2000.
- [5]-Uzam, M. Jones, AH. "Discrete Event Control System design using automation PN and their ladder diagram implementation". Journal of Advanced manufacturing systems, special issue on PN application in manufacturing systems Vol14 No10. 1998.
- [6]-Ramadge, P.J, Wonham, W.M. "The Control of Discrete Event Systems", Proceeding of the IEEE, Vol. 77, 1989.
- [7]-Arias Granda, Ksenia. Libro electrónico “Redes Petri IEC 1131 compatibles”. 2004.
- [8]-Programa de la Asignatura de Sistemas de Automatización. Departamento de Control Automático. Universidad de Oriente. 2008.
- [9]-Miyagi, P. E. Introdução a Simulação Discreta-Parte I. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Brasil. 2002.
- [10]-Cutts g, Rattigan S. "Using Petri Nets to develop programs for PLC systems". Proc. Application and theory of PN. Vol 616. Springer, 1992.
- [11]-David, R. Alla, H. "Petri Nets and Grafcet – Tools for modelling Discrete Event Systems”. Prentice hall, New York, London. 1992.
- [12]- Desrochers AA, Al-Jaar RY. "Application of PN in Manufacturing systems". IEEE Press, Piscataway, USA. 1995.
- [13]-Venkatesh, K. Zhou, MC. Caudill, RJ. "Discrete event control design for manufacturing systems via ladder logic diagrams and PN. A comparative study". MC Zhou: "PN in flexible and agile automation". Kluwer academic publish.1995.
- [14]-Stanton, MJ. Arnold, WF. Buck, AA. "Modelling and control of manufacturing systems using PN". Proc. Of 13th IFAC World Congress. 1996.
- [15]-Murata, Tadao. "Petri Nets: Properties, analysis and applications". Proceedings of IEEE, vol. 77, No. 4. April, 1989.

- [16]- Arias Granda, Ksenia. Desarrollo de Modelos de Automatizaciones en Redes Petri Ordinarias de Instalaciones de Laboratorio. Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniero Automático, Instituto Superior Politécnico "Julio Antonio Mella", Santiago de Cuba, junio 2002.
- [17]- Glez, P.& Silva, J.Reinaldo. GHENESYS: Uma rede estendida para a modelagem, analise e projeto de sistemas complexos. Proc. of SBAI2001. Sao Paulo, Brasil, Nov. 2001.
- [18]- Arianna z. Olivera Salmon. Herramienta para la enseñanza de modelado de sistemas de automatización con Redes Petri GHENeSys. Tesis en Opción al Título de Master en Informática Educativa. Santiago de Cuba,2009.
- [19]- LG Industrial System. LG Programmable Logic Controller GLOFA GM Series Instructions & Programming. Manual del usuario.1999.
- [20]- LG Industrial System. LG Programmable Logic Controller GMWIN for Windows[GLOFA GM Series]. Manual del usuario.1999.
- [21]-LG Industrial System. LG Programmable Logic Controller GMWIN for Windows [GLOFA GM Series]. Manual del usuario.1999.
- [22]-Oro Hernández, Addiel. Automatización del Sistema de Climatización del Hospital Clínico Quirúrgico. Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniero Automático, Instituto Superior Politécnico "Julio Antonio Mella", Santiago de Cuba, junio 2005.
- [23]-Crespo Madera, Elio. Clasificación de las Prácticas de Laboratorio. Revista de Pedagogía Universitaria. Vol. 6, No 2. 2001.
- [24]-Cabezas, Alina. *Control de Presión en Proyecto de Laboratorio de Automática de la Universidad de Oriente*. Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniero Automático, Instituto Superior Politécnico "Julio Antonio Mella", Santiago de Cuba, junio 2008.
- [25]- Arafet, P., Chang, F., Identificación de Procesos. Monografía. Dpto. Automática. Universidad de Oriente. 1998.
- [26]- Departamento de Control Automático. Proyecto de Investigación + Desarrollo + Innovación. Programa Ramal de Automática, Proyecto MIC 2009. Departamento de Control Automático, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad de oriente, Santiago de Cuba 2009.

Universidad
Oriente



SANTIAGO DE CUBA

Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

1-Arias Granda, Ksenia. Desarrollo de Modelos de Automatizaciones en Redes Petri Ordinarias de Instalaciones de Laboratorio. Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniero Automático, Instituto Superior Politécnico "Julio Antonio Mella", Santiago de Cuba, junio 2002.

2-Arias Granda, Ksenia. Libro electrónico "Redes Petri IEC 1131 compatibles". 2004

Automatización Industrial, disponible en: <http://www.monografias.com/> . 2009.

3-Benítez, I., Silva J., Reinaldo. González, P. "Modelado en Redes Petri para la optimización de la automatización de hoteles". Matanzas, Cuba, Septiembre 2001.

4-Cabezas, Alina. *Control de Presión en Proyecto de Laboratorio de Automática de la Universidad de Oriente*. Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniero Automático, Instituto Superior Politécnico "Julio Antonio Mella", Santiago de Cuba, junio 2008.

5-Castillo, Wilson. Diseño, Desarrollo e Implementación de Sistemas de Automatización, disponible en: <http://www.aciem.org/bancoconocimiento/m/mencion2congreso/mencion2congreso.asp> . 2009.

6-Crespo Madera, Elio. Clasificación de las Prácticas de Laboratorio. Revista de Pedagogía Universitaria. Vol. 6, No 2. 2001.

7-Departamento de Control Automático. Proyecto de Investigación + Desarrollo + Innovación. Programa Ramal de Automática, Proyecto MIC 2009. Departamento de Control Automático, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad de oriente, Santiago de Cuba 2009.

8-Feldbrugge F. and Jensen K., "Petri net tool overview 1986" *LNCS*, vol.255(17),1987.

9-Feng-Li Lian. Network Design Consideration for Distributed Control Systems. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, Vol. 10, No. 2, March 2002.

10-Fonseca Palhares, Wilson. Modelagem da Automação de Processos na Indústria utilizando as Redes de Petri. Monografia apresentada ao Programa de Pós- graduação em Mecatronica Industrial da Universidade Estadual do Amazonas- UEA como requisito para obtenção de título de Especialista. Manaus, 2006.

11-Frey, Litz, L. "Formal methods in PLC programming". Proceedings of the IEEE SMC 2000. Nashville, TN. October 08-11, 2000.

12-Ghomri, Latefa. Modelling and analisys using hibrid Petri nets. *Nonlinear Analisys: Hybrid systems*. Abril 2006.

13-Grau Saldes, Antoni. Diseño y Aplicaciones con Autómatas Programables. Editorial Uoc. 2003.

14-Grau, Antoni .Introducción a los autómatas programables. Editorial UOC, S.L. 2003.

- 15-Hernández Sampier, Roberto. Metodología de la Investigación. Ed. Félix Varela. La Habana, 2003.
- 16-Karl-Heinz, John. IEC 61131-3: Programming Industrial Automation System. Springer-Verlag, Germany 2001.
- 17-Lefebvre , Dimitri. Some contributions with Petri nets for the modelling, analysis and control of HDS. Nonlinear Analysis: Hybrid Systems. Noviembre 2005.
- 18-LG Industrial System. LG GLOFA, disponible en: <http://www.lgis.com/> . 2009.
- 19-LG Industrial System. LG Programmable Logic Controller GLOFA GM Series Instructions & Programming. Manual del usuario.1999.
- 20-LG Industrial System. LG Programmable Logic Controller GMWIN for Windows [GLOFA GM Series]. Manual del usuario.1999.
- 21-LG Industrial System. LG Programmable Logic Controller GMWIN for Windows[GLOFA GM Series]. Manual del usuario.1999.
- 22-Mandado Pérez, Enrique. Autómatas programables. Entorno y aplicaciones. Editorial Paraninfo. España ,2007.
- 23-Mendez Machado, José. Simulation and formal verification of Industrial systems controllers. Noviembre 2007.
- 24Mendiburu Díaz, Henry. Automatización, disponible en: <http://www.galeon.com/hamd/pdf/automatizacion.pdf> . 2009
- 25-Murata, Tadao. "Petri Nets: Properties, analysis and applications". Proceedings of IEEE, vol. 77, No. 4. April, 1989.
- 26-Normas para la Revisión Bibliográfica, Instituto Superior Politécnico "Julio Antonio Mella", Santiago de Cuba, 2007.
- 27-Olivera Salmon, Arianna. Herramienta para la enseñanza de modelado de sistemas de automatización con Redes Petri GHENeSys. Tesis en Opción al Título de Master en Informática Educativa. Santiago de Cuba, 2009.
- 28-Oro Hernández, Addiel. Automatización del Sistema de Climatización del Hospital Clínico Quirúrgico. Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniero Automático, Instituto Superior Politécnico "Julio Antonio Mella", Santiago de Cuba, junio 2005.
- 29-Petri Nets Tool Database, disponible en: <http://www.informatik.uni-hamburg.de/TGI/PetriNets/tools/db.html>/2009.
- 30-Piedrafita Moreno, Ramón. Ingeniería de la Automatización Industrial. Editorial Ra-ma. 2004.
- 31-Programa de la Asignatura Automática V. Departamento de Control Automático. Universidad de Oriente. 2002.
- 32-Programa de la Asignatura de Sistemas de Automatización. Departamento de Control Automático. Universidad de Oriente. 2008.

33-Ramírez Torres, Erick. Sistema Docente de Automatización Industrial. Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniero Automático, Instituto Superior Politécnico “Julio Antonio Mella”, Santiago de Cuba, junio 2003.

34-Roldan Jiménez, Félix. Control y Supervisión de Instalaciones de Laboratorio a través de la Intranet local y la Internet : Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniero Automático, Instituto Superior Politécnico “Julio Antonio Mella”, Santiago de Cuba, junio 2002.

35-Romeral, José .Autómatas Programables. Editorial MARCOMBO. 1997.

36-Salvat, Bego. La Evaluación de los Sistemas de Automatización, disponible en:

<http://www.lsm.dei.uc.pt/ribie/docfiles/txt200341733538LA%20EVALUATION%20DE%20LOS%20SISTEMAS.pdf>. 2009.

Universidad
Oriente



SANTIAGO DE CUBA

Anexos

ANEXOS

ANEXO # 1: CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PLC.



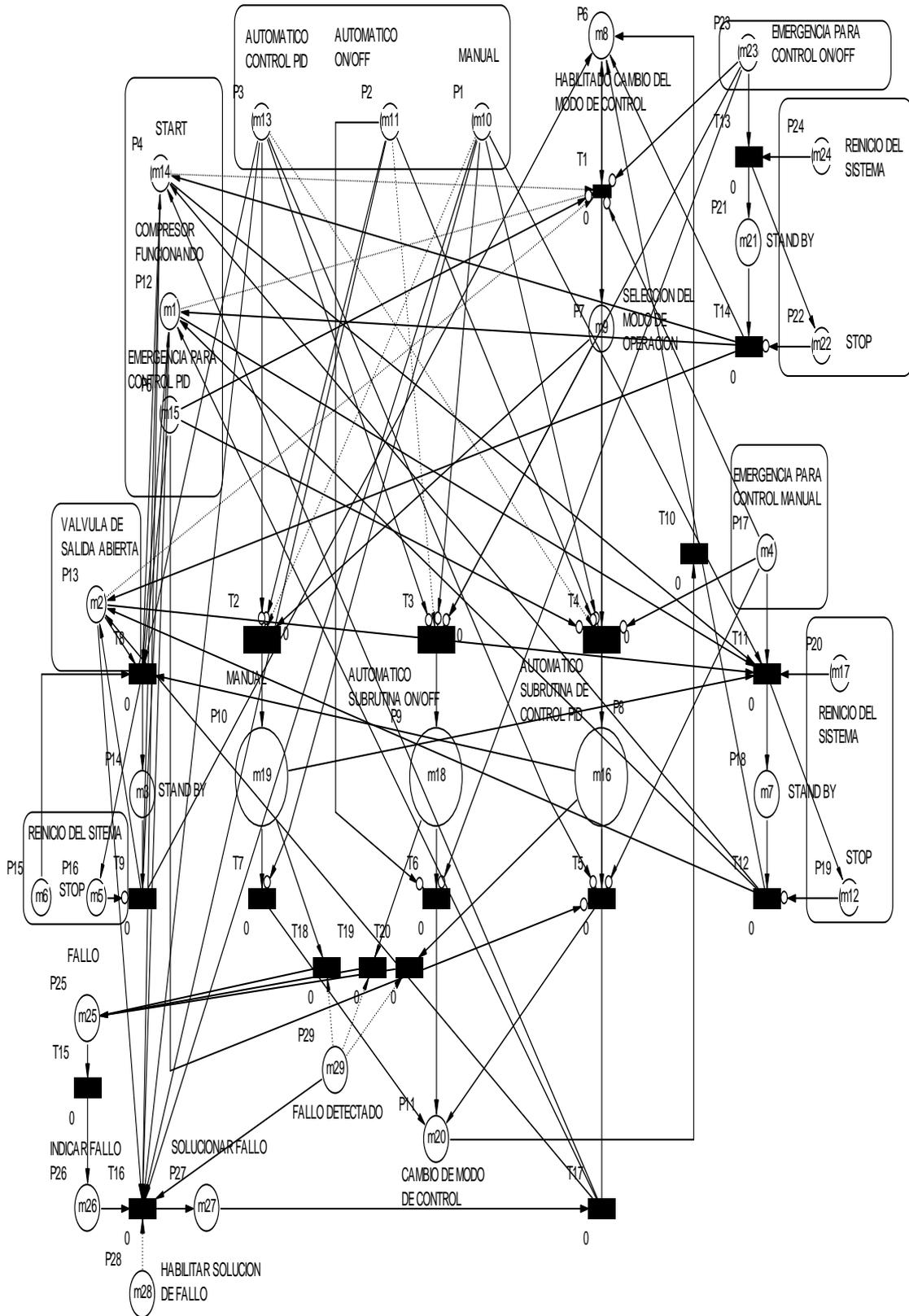
GLOFA-PLC

GM6

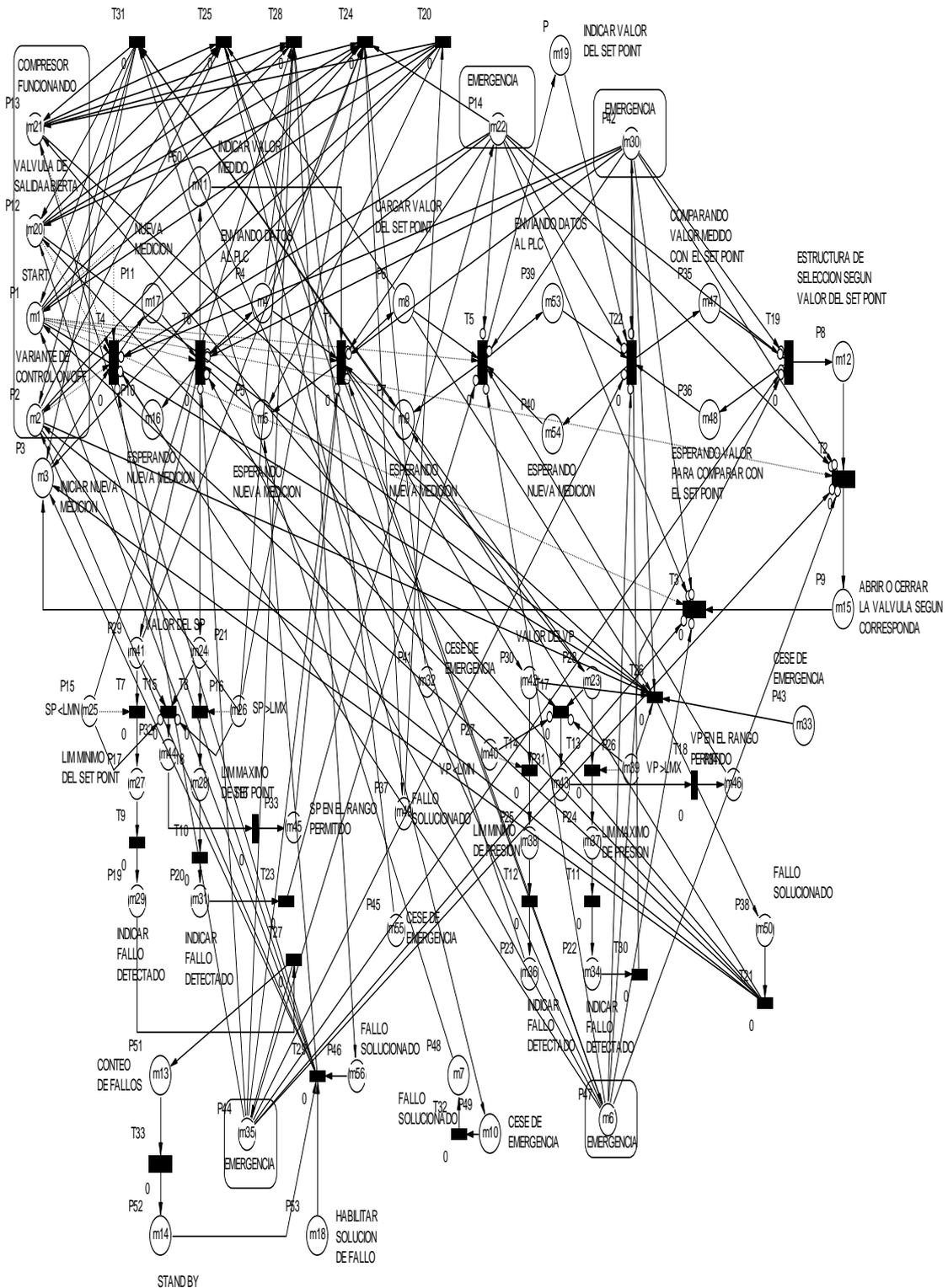


- CE, UL, cUL Compliance
- I/O : 8 I/O up to 384 I/O
- Program Memory : Flash Memory
- Program Capacity : 68 Kbytes
- Processing Speed : 0.5 μ s / Instruction
- Built-In Functions
 - High Speed Counter(50 Kpps, 1 Point, GM6-CPUC Type)
 - RS232 and Loader Port (A Type CPU : GM6-CPUA)
 - RS-485 and Loader Port, RTC, PID (B Type CPU : GM6-CPUB)
 - RS-232C and Loader Port, HSC, RTC, PID (C Type CPU : GM6-CPUC)
 - 8 Time Driven Interrupt Inputs
- Optional RS-232C(Modem), RS-232C/422/485 (Modbus, AB DF1 Protocol) Modules
- Fieldbus (Fnet) : 1 M bps, 750 m, Max. 64 Stations (Include Fnet Remote I/O),
- DeviceNet(Master), DeviceNet Single Remote(Slave), Profibus-DP(Master)
- Special Function Modules (Analog I/Os, High Speed Counter, Temperature, Positioning)
- Windows 95/98/NT Based Programming Tool(IEC 61131-3 Language)

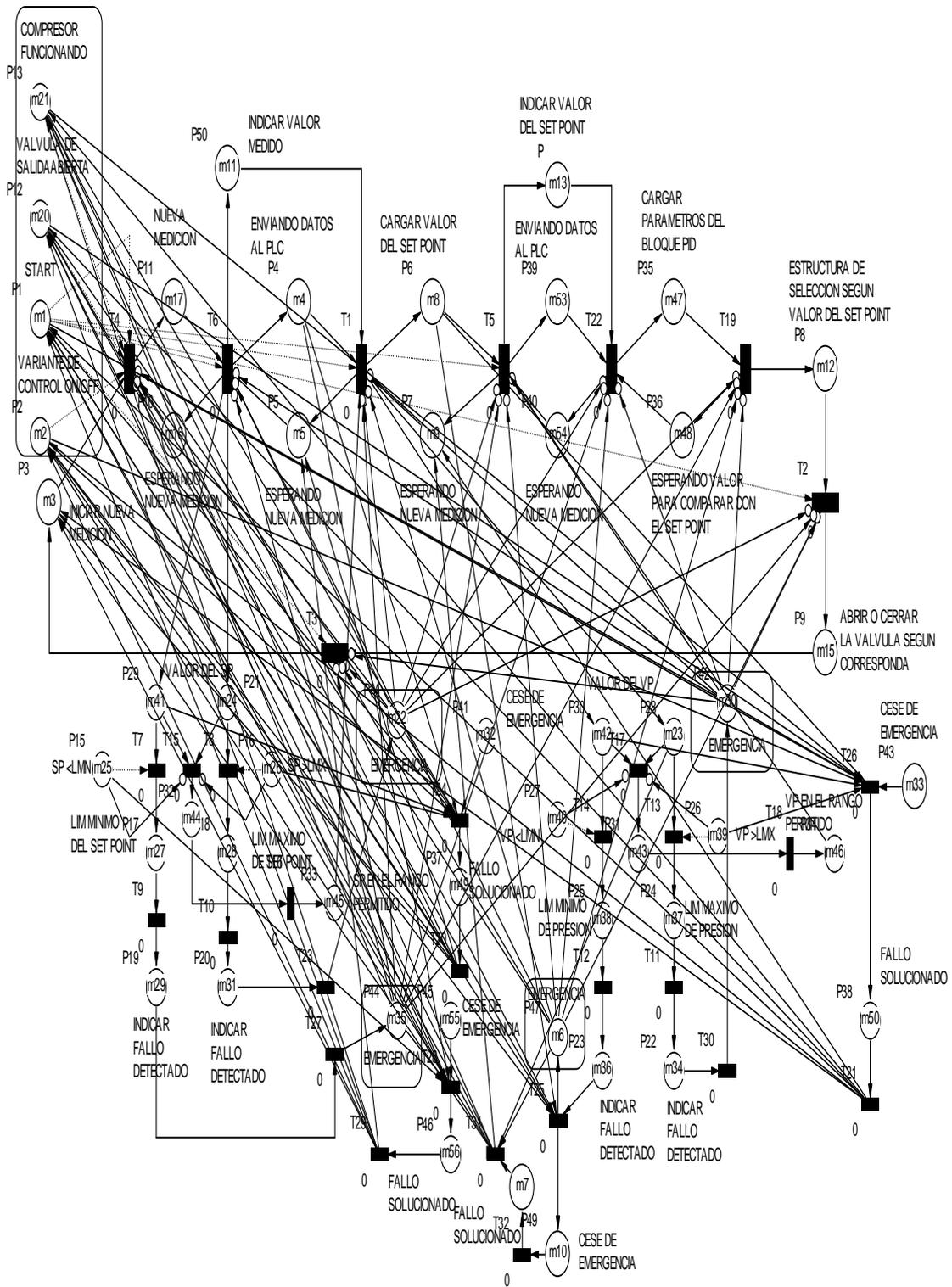
ANEXO # 2: MODELO PRINCIPAL DE LA PRÁCTICA DE LABORATORIO "PANEL GASEOSO".



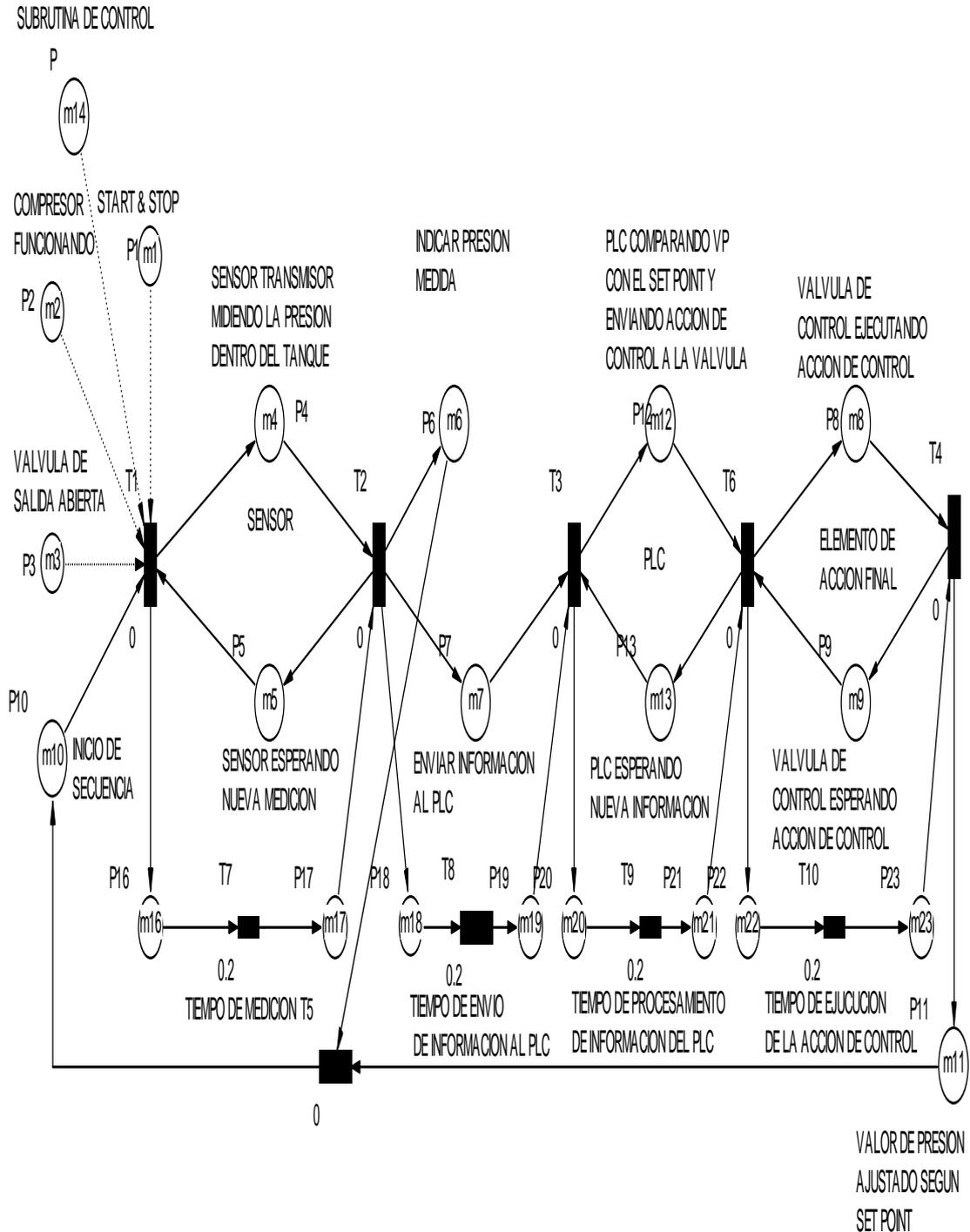
ANEXO # 4: MODELO DEL CONTROL ON/OFF DE LA PRÁCTICA DE LABORATORIO “PANEL GASEOSO”.



ANEXO # 5: MODELO DEL CONTROL PID DE LA PRÁCTICA DE LABORATORIO "PANEL GASEOSO".



ANEXO # 6: MODELO DE LA SECUENCIA DE EVENTOS DE LA PRÁCTICA DE LABORATORIO “PANEL GASEOSO”.



ANEXO # 7: ENTRADAS Y SALIDAS DEL PLC GLOFA GM-6. LEYENDA.

Slots	Indicaciones
Entradas Digitales	Corresponden a accionamientos de los botones o interruptores del panel de control.
Salidas Digitales	Corresponden a las indicaciones por medio de los leds de que se ha alcanzado o presionado algún estado.
Entradas Analógicas	Corresponden a los valores de presión medido y set point seleccionado por el usuario
Salidas Analógicas	Corresponde a la señal de control que se envía a la válvula para mantener la presión deseada.

C. – Control.

M. – Modo.

Lim max. – Límite máximo.

Lim min. – Límite mínimo.

Presión. – Presión medida por el sensor.

Válvula. – Válvula de regulación.

ANEXO # 8: ENTRADAS Y SALIDAS DEL PLC GLOFA GM-6

Slot	Contacto	Entradas Digitales	Salidas Digitales	Entradas Analógicas	Salidas Analógicas
0	0	Start	-----	-----	-----
0	1	Stop	-----	-----	-----
0	2	Fallo	-----	-----	-----
0	3	Emergencia	-----	-----	-----
0	4	C. Manual	-----	-----	-----
0	5	C. On/Off	-----	-----	-----
0	6	C. PID	-----	-----	-----
0	7	Automático	-----	-----	-----
1	0	-----	Lim max	-----	-----
1	1	-----	Lim min	-----	-----
1	2	-----	M. Manual	-----	-----
1	3	-----	M. On/Off	-----	-----
1	4	-----	M. PID	-----	-----
1	5	-----	Emergencia	-----	-----
1	6	-----	Fallo	-----	-----
1	7	-----	Start	-----	-----
1	8	-----	Encendido	-----	-----
1	9	-----	No se utiliza	-----	-----
1	10	-----	No se utiliza	-----	-----
1	11	-----	No se utiliza	-----	-----
1	12	-----	No se utiliza	-----	-----
1	13	-----	No se utiliza	-----	-----
1	14	-----	No se utiliza	-----	-----
1	15	-----	No se utiliza	-----	-----
2	0	-----	-----	Presión	-----
2	1	-----	-----	Set Point	-----
2	2	-----	-----	No se utiliza	-----
2	3	-----	-----	No se utiliza	-----
2	4	-----	-----	No se utiliza	-----
2	5	-----	-----	No se utiliza	-----
2	6	-----	-----	No se utiliza	-----
2	7	-----	-----	No se utiliza	-----

3	0	-----	-----	-----	Válvula
3	1	-----	-----	-----	No se utiliza
3	2	-----	-----	-----	No se utiliza
3	3	-----	-----	-----	No se utiliza
3	4	-----	-----	-----	No se utiliza
3	5	-----	-----	-----	No se utiliza
3	6	-----	-----	-----	No se utiliza
3	7	-----	-----	-----	No se utiliza

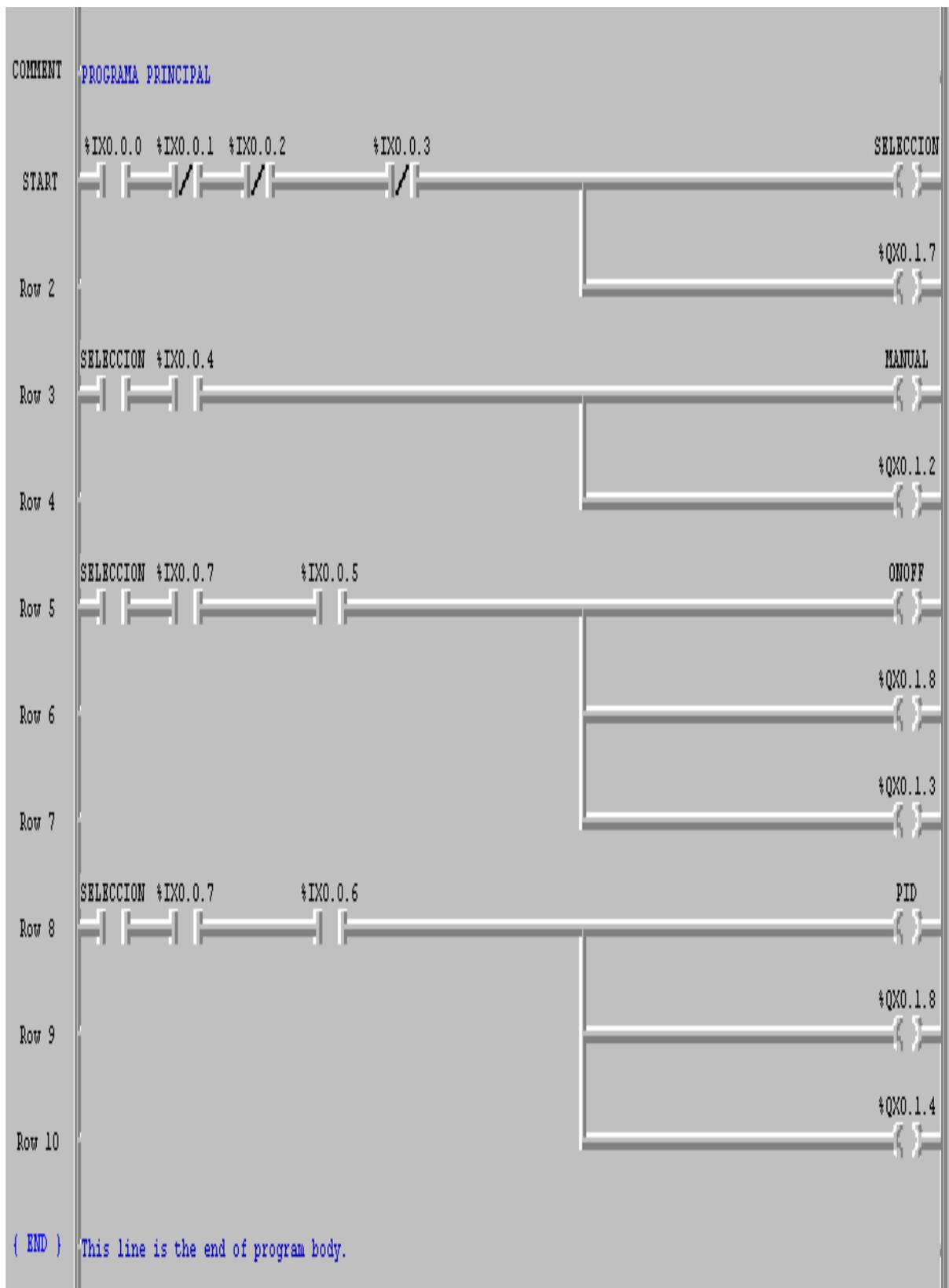
ANEXO # 9: VARIABLES INTERNAS DEL PROGRAMA EN GMWIN PARA EL CONTROL DE LA PRÁCTICA DE LABORATORIO “PANEL GASEOSO”.

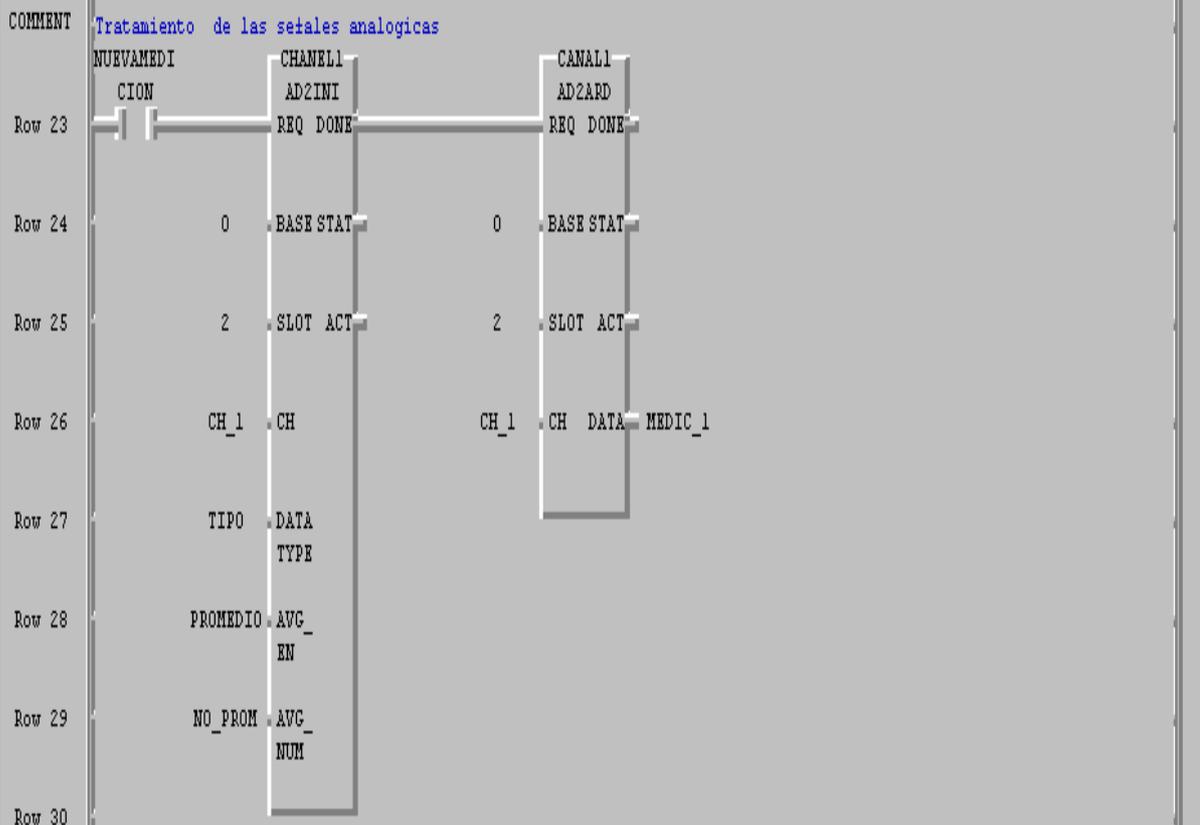
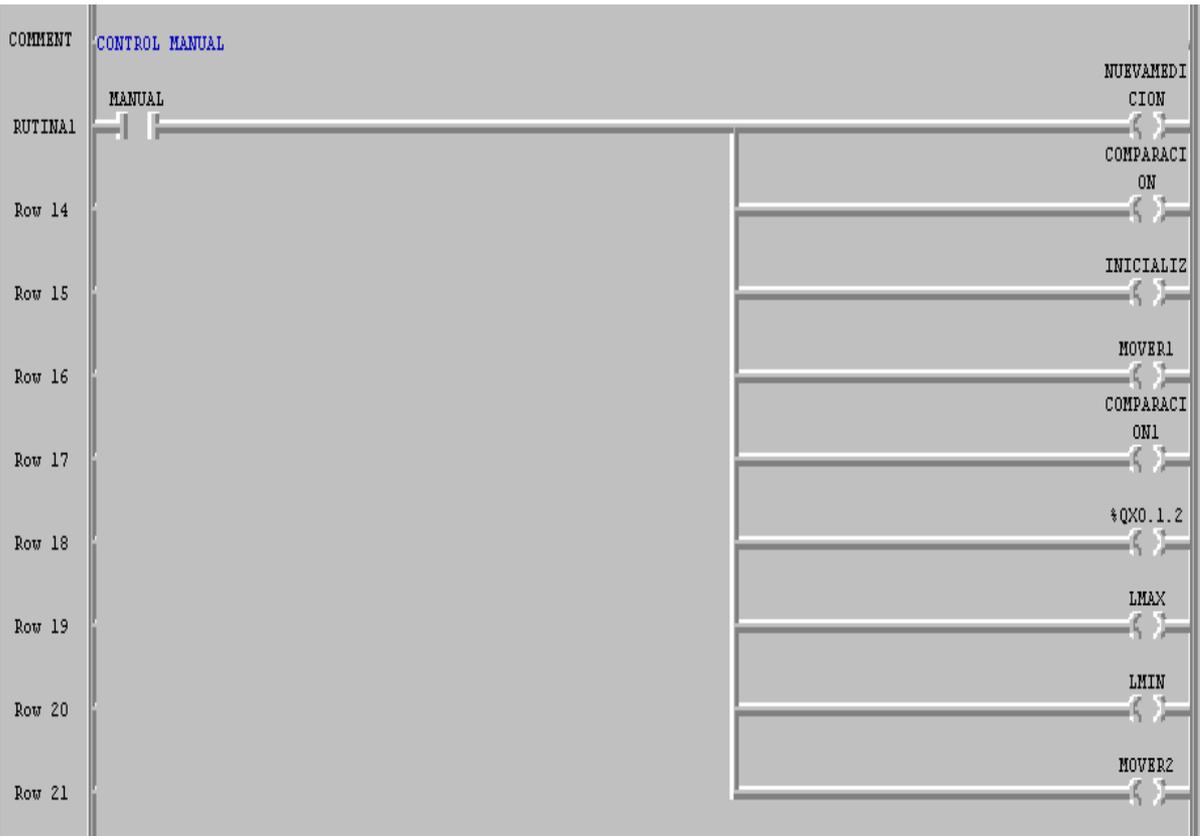
VARIABLES INTERNAS	COMENTARIO
ACCION	Se utiliza en la subrutina de control On/Off
ACCION 1	Se utiliza en la subrutina de control On/Off
CARGARSP	Se utiliza en la subrutina de control PID
CLOSE	Se utiliza en la subrutina de control On/Off
COMPARACION	Se utiliza en la subrutina de control Manual
COMPARACION1	Se utiliza en la subrutina de control Manual
COMPARACION2	Se utiliza en la subrutina de control On/Off
COMPARACION3	Se utiliza en la subrutina de control On/Off
COMPARACION4	Se utiliza en la subrutina de control PID
COMPARACION5	Se utiliza en la subrutina de control PID
INDICACION1	Se utiliza en la subrutina de control Manual
INDICACION2	Se utiliza en la subrutina de control Manual
INICIALIZ	Se utiliza en la subrutina de control Manual
INICIALIZ1	Se utiliza en la subrutina de control On/Off
INICIALIZ2	Se utiliza en la subrutina de control PID
LEERSETP	Se utiliza en la subrutina de control On/Off
LMAX	Se utiliza en la subrutina de control Manual
LMAX1	Se utiliza en la subrutina de control On/Off
LMIN	Se utiliza en la subrutina de control Manual
LMIN1	Se utiliza en la subrutina de control On/Off
MANUAL	Se utiliza en el programa principal
MEDIR	Se utiliza en la subrutina de control PID
MEDIRPRESION	Se utiliza en la subrutina de control On/Off
MOVER1	Se utiliza en la subrutina de control Manual
MOVER2	Se utiliza en la subrutina de control Manual
MOVER3	Se utiliza en la subrutina de control On/Off
MOVER4	Se utiliza en la subrutina de control On/Off
MOVER5	Se utiliza en la subrutina de control PID
MOVER6	Se utiliza en la subrutina de control PID
MOVER7	Se utiliza en la subrutina de control PID
MOVER8	Se utiliza en la subrutina de control PID
MOVER9	Se utiliza en la subrutina de control PID
NUEVAMEDICION	Se utiliza en la subrutina de control Manual
ONOFF	Se utiliza en el programa principal
OPEN	Se utiliza en la subrutina de control On/Off
PID	Se utiliza en el programa principal
PIDBLOQUE	Se utiliza en la subrutina de control PID
PRUEBA	Se utiliza en la subrutina de control Manual
PRUEBA1	Se utiliza en la subrutina de control On/Off
PRUEBA2	Se utiliza en la subrutina de control PID
SELECCION	Se utiliza en el programa principal

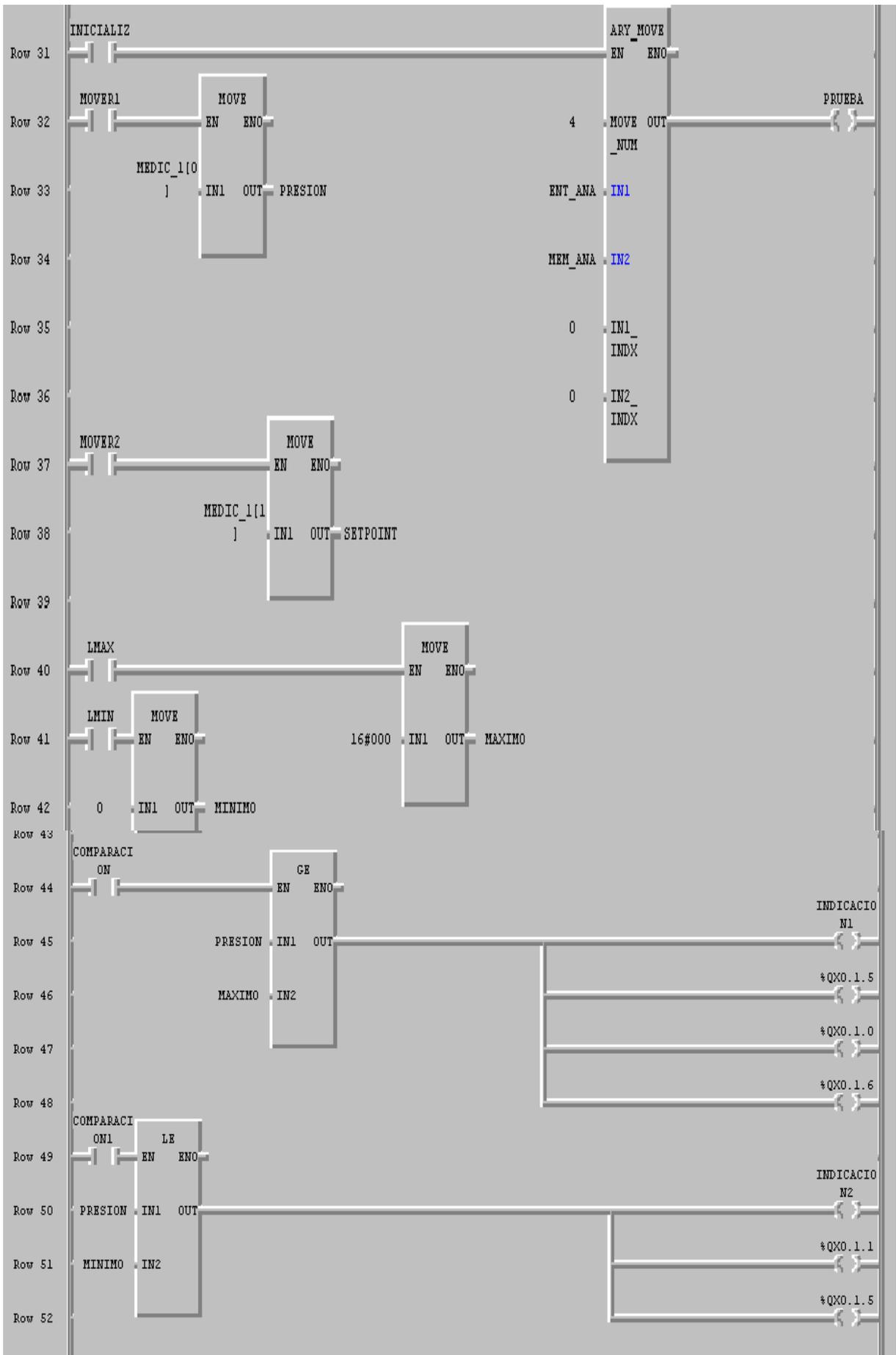
ANEXO # 10: VARIABLES INTERNAS PERTENECIENTES A LOS BLOQUES DE FUNCIONES UTILIZADOS EN EL PROGRAMA EN GMWIN PARA EL CONTROL DE LA PRÁCTICA DE LABORATORIO “PANEL GASEOSO”.

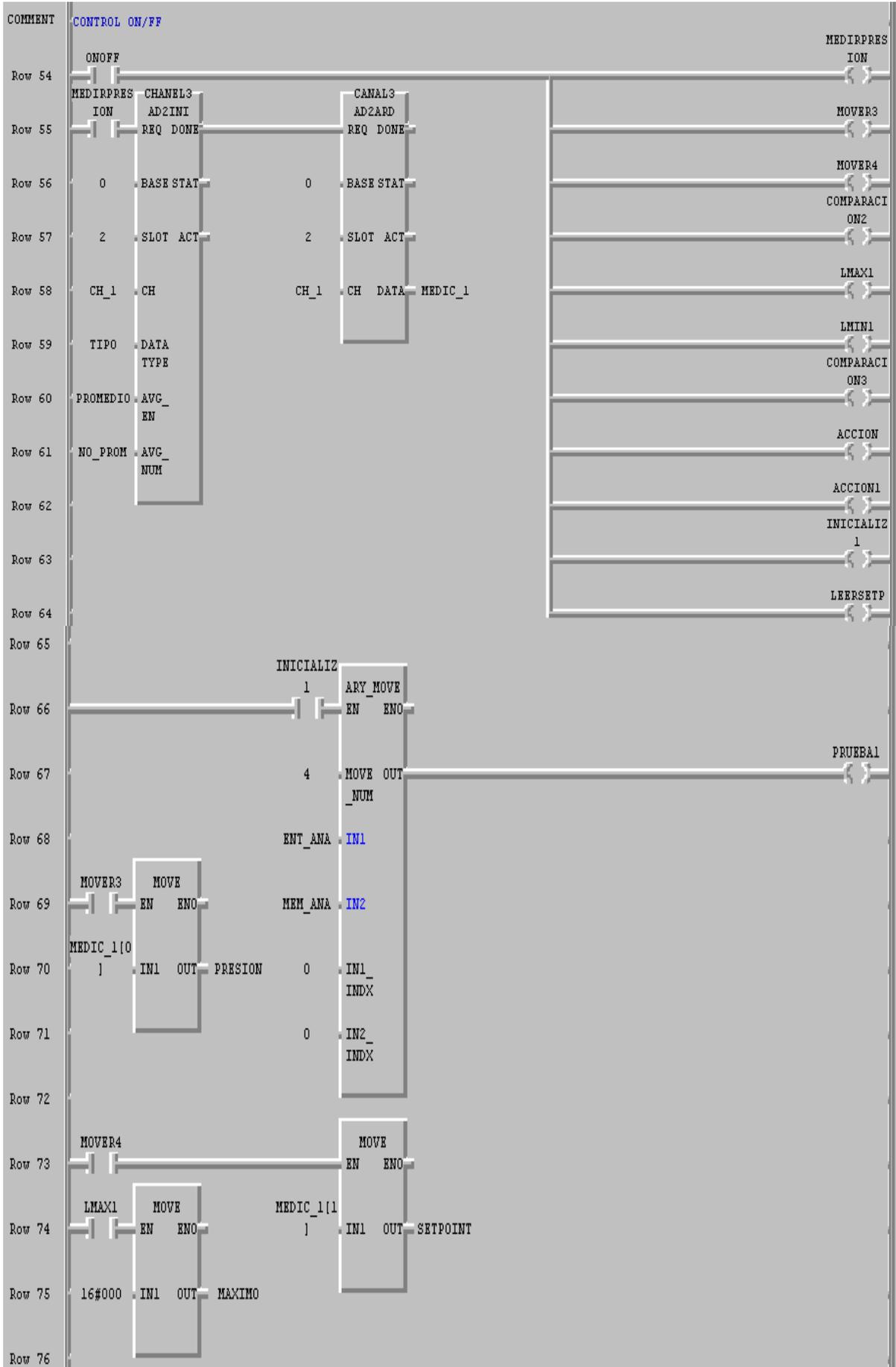
VARIABLES INTERNAS	COMENTARIO
Ch_1	Canal de medición 1
Ch_2	Canal de medición 2
Ent_ana	Cantidad de entradas analógicas
Medic_1	Medición 1
Mem_ana	Cantidad de lugares de memorias analógicas.
No_prom	Define el método del proceso
Presión	Presión Medida en el Tanque
Promedio	Define si se va utilizar el proceso
P_1_actual	Valor de salida del manipulador
P_1_ac_p	Constante de la acción proporcional
P_1_man_aut	Selección de operación Manual o Automático.
P_1_tim_i	Tiempo integral
P_1_tim_d	Tiempo derivativo
P_1_sp	Set point seleccionado
Salida_max	Valor de salida máximo del bloque
Salida_min	Valor de salida mínimo del bloque
S_point	Set point seleccionado
Tipo	Asigna el rango de conversión

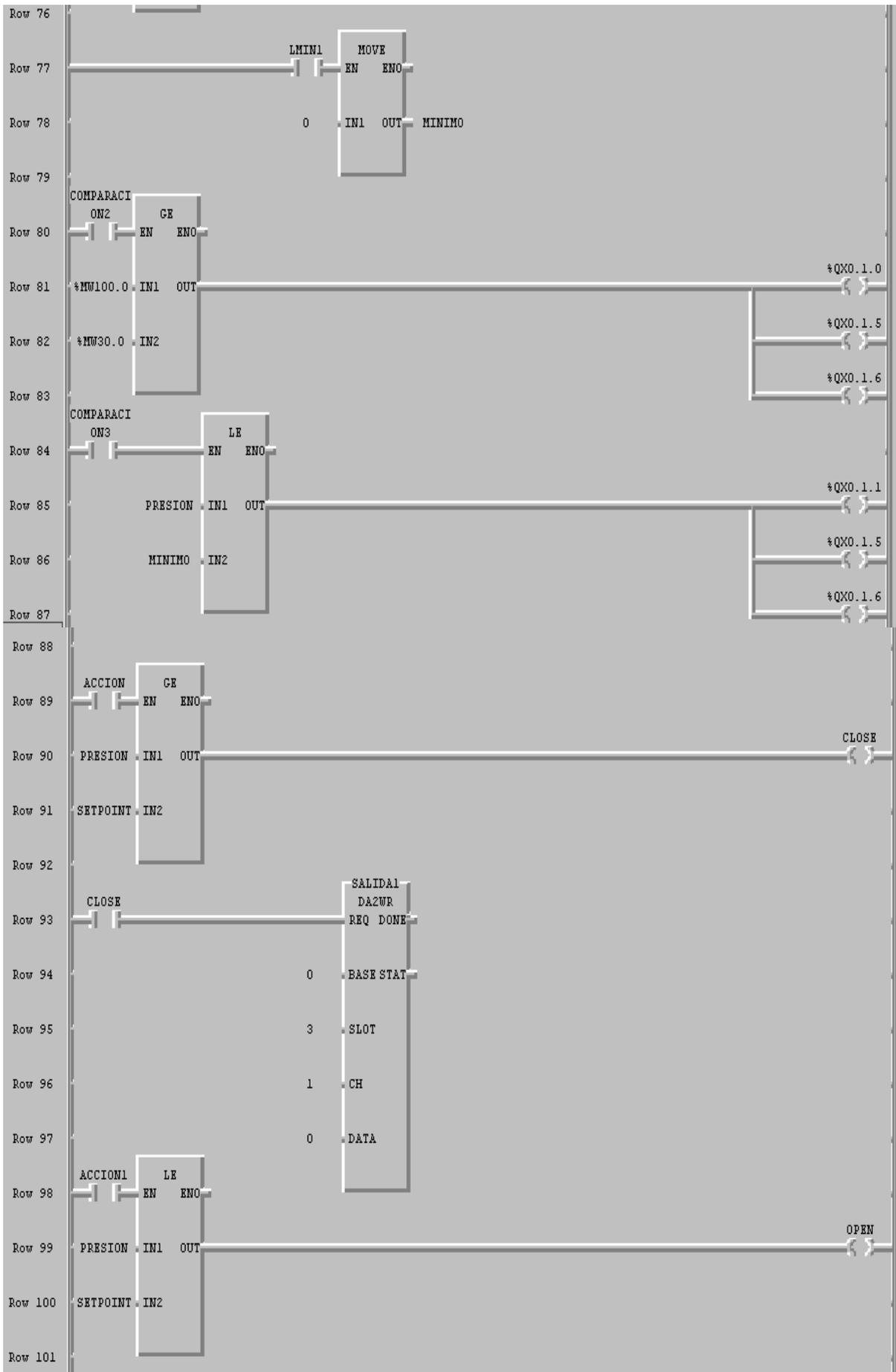
ANEXO # 11: PROGRAMA EN GMWIN PARA EL CONTROL DE LA PRÁCTICA DE LABORATORIO “PANEL GASEOSO”.

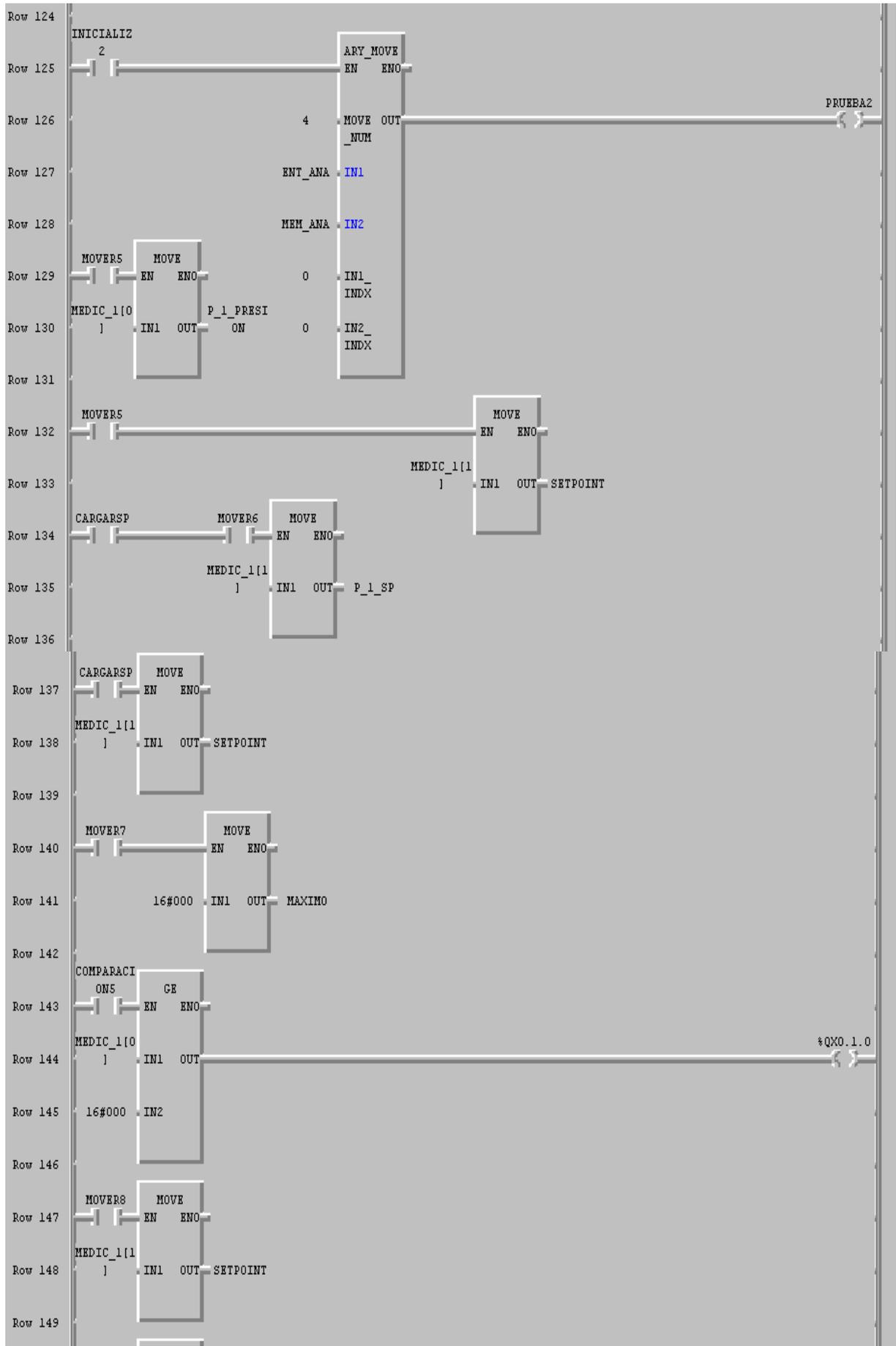


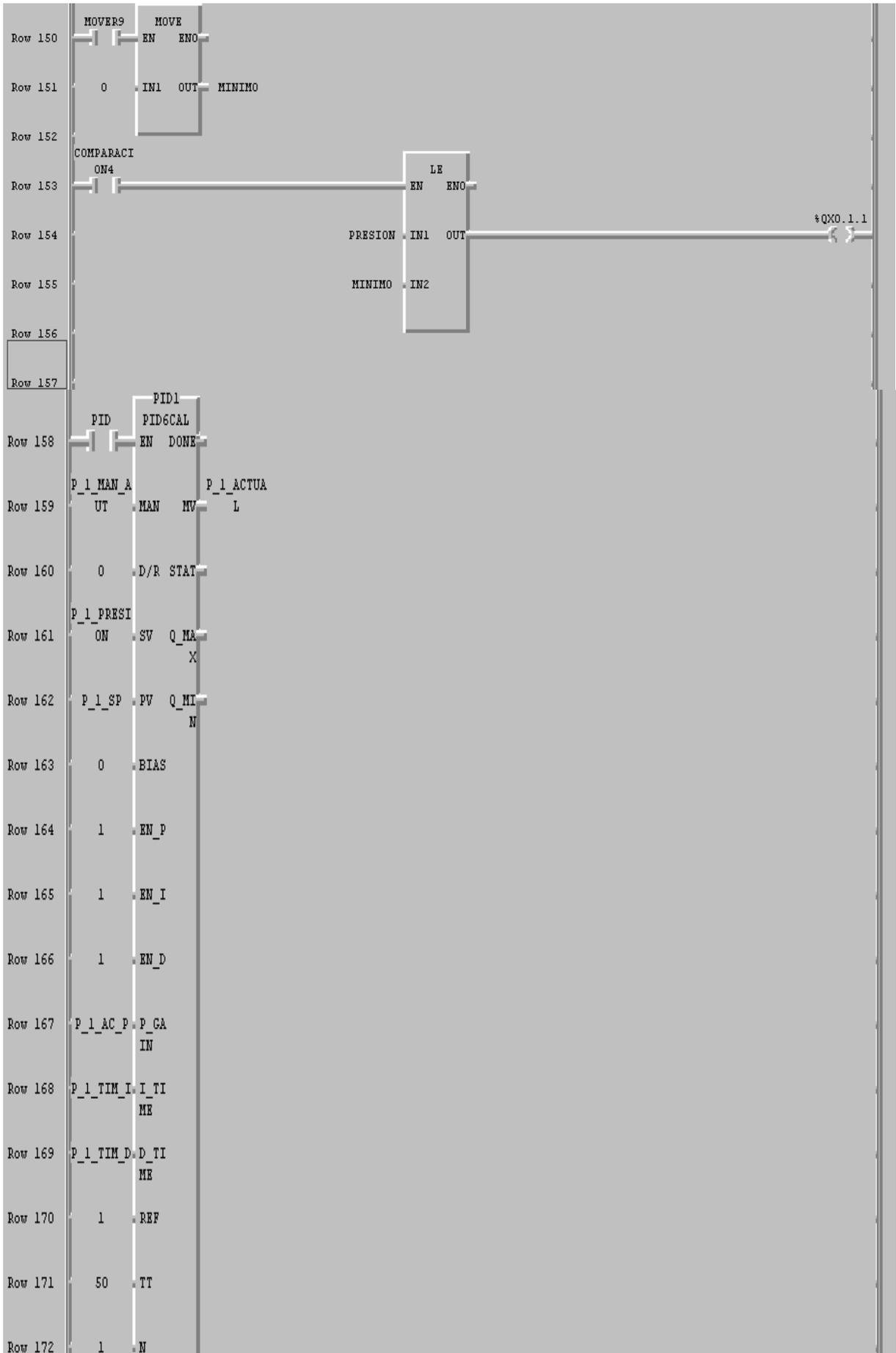


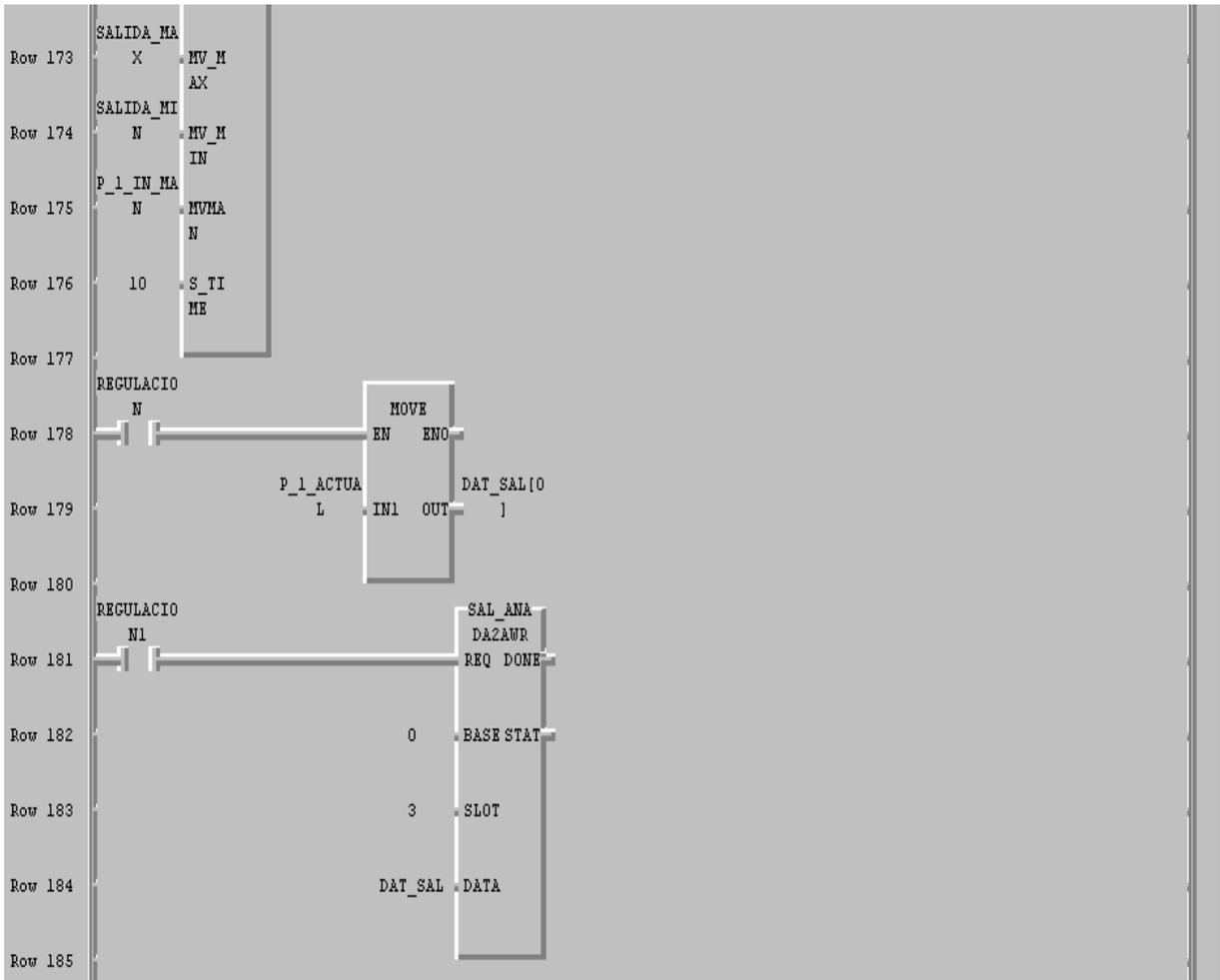




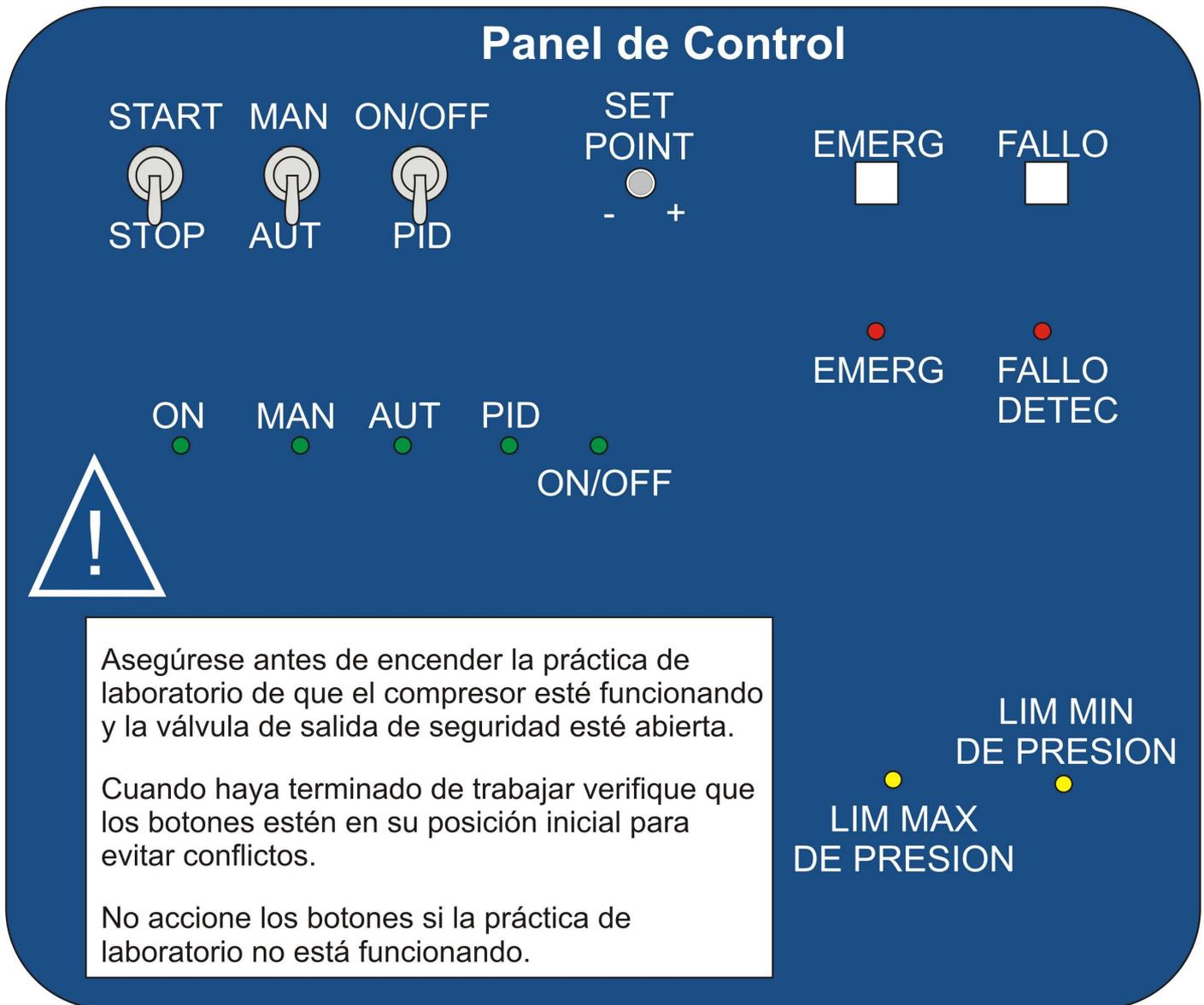








ANEXO # 12: ESQUEMA DEL PANEL DE CONTROL DE LA PRÁCTICA DE LABORATORIO “PANEL GASEOSO”.

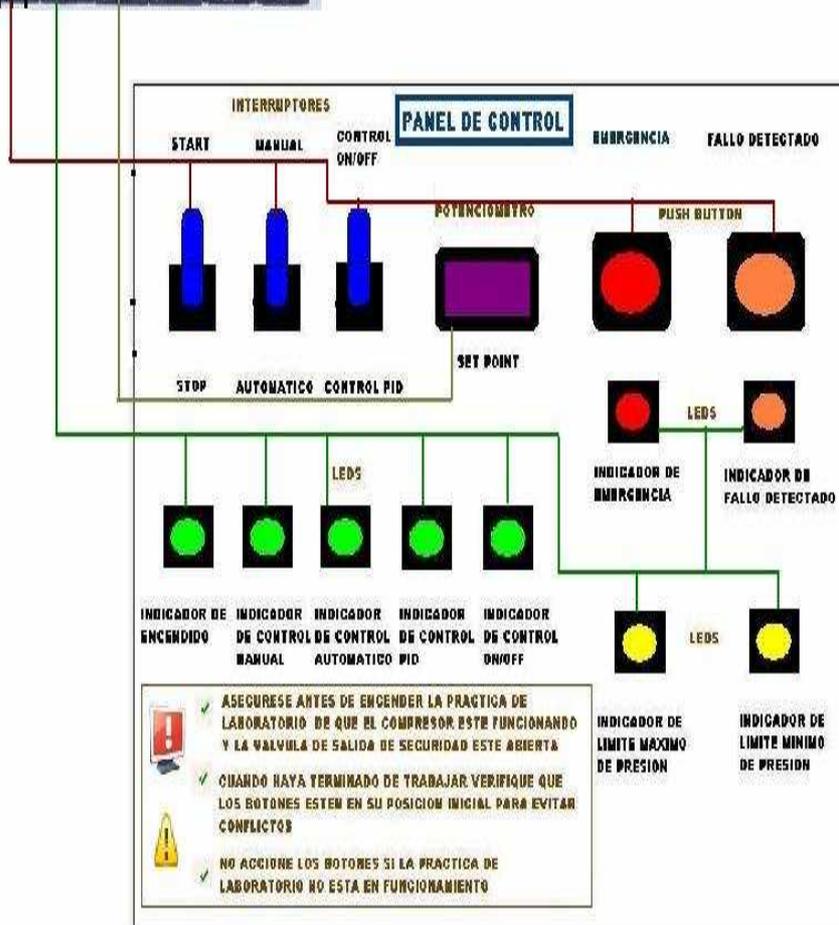


ANEXO # 13: ESQUEMA DE CONEXIONES ENTRE EL PANEL DE CONTROL Y EL PLC EN LA PRÁCTICA DE LABORATORIO “PANEL GASEOSO”.

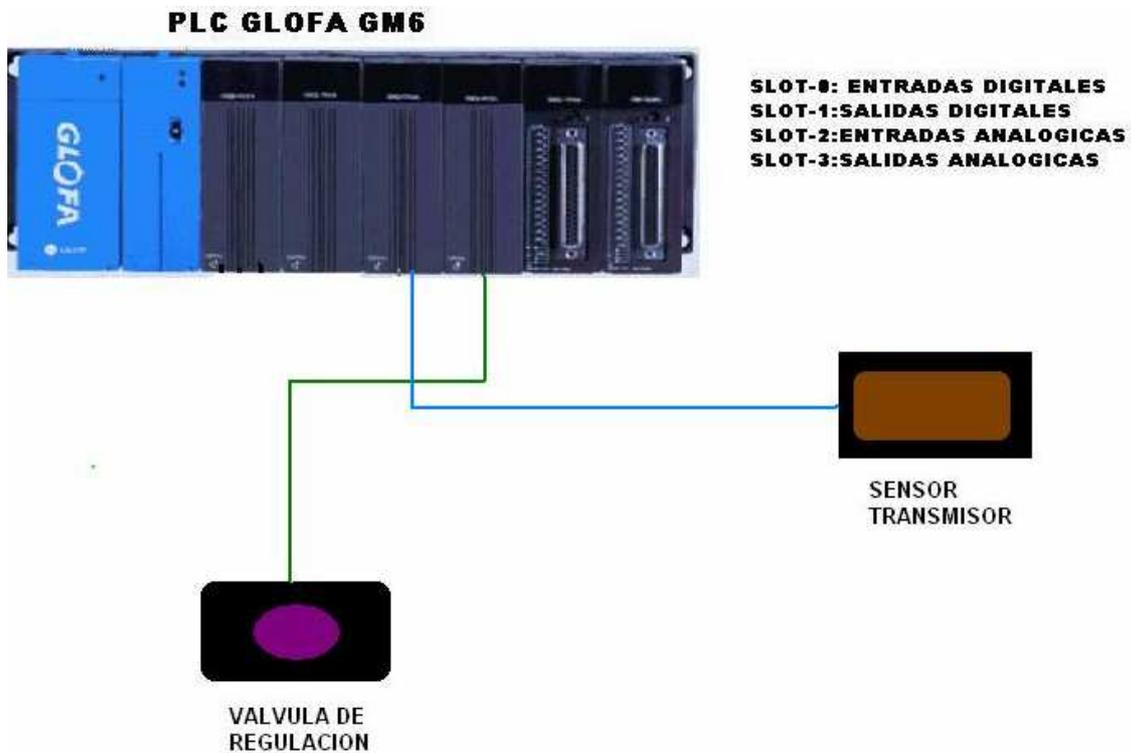
PLC GLOFA GM6



- SLOT-0: ENTRADAS DIGITALES**
- SLOT-1: SALIDAS DIGITALES**
- SLOT-2: ENTRADAS ANALÓGICAS**
- SLOT-3: SALIDAS ANALÓGICAS**



ANEXO # 14: ESQUEMA DE CONEXIONES ENTRE EL PROCESO Y EL PLC EN LA PRÁCTICA DE LABORATORIO “PANEL GASEOSO”.



ANEXO # 15 LISTADO DE INSTRUMENTOS

DISPOSITIVO	TIPO	CANTIDAD
Controlador	PLC LG GLOFA GM6	1
Actuador	Válvula Neumática	1
Válvulas	Válvulas de dos posiciones	3
Planta o proceso	Tanque cilíndrico	1
Módulo de la CPU	GM6-CPUB	1
Módulo de alimentación	G6M-PAFA	1
Módulo de entradas digitales	G6I-D21A	1
Módulo de salidas digitales	G6Q-RY2A	1
Módulo de entradas analógicas	G6I-AD2A	1
Módulo de salidas analógicas	G6Q-DA2I	1
Elemento de Medición	Sensor Transmisor	1
Interruptores	TII 1-2 (2 posiciones)	3
	Push-bottom	2
Indicadores	Lumínicos (Led)	9
	Manómetro	3
	Rotámetro	1
Potenciómetro	CII- 04	1