



**Facultad de Ingeniería Eléctrica
Departamento de Control Automático**

Trabajo de Diploma

Tesis en opción al título de Ingeniero en Automática.

Titulo: Modelado y programación del sistema de automatización tolerante a fallos IEC 1131 compatible para Maqueta ALECOP.

Autor: Orlenys Collado Pérez.

Tutores: Dr. Israel Benítez Pina.

MSc. Félix Vladimir Roldan.

Santiago de Cuba

2009

Resumen

La automatización de procesos industriales controlados por PLC's puede presentar fallos que conllevarían a daños irreparables en el sistema. Una forma de aumentar su fiabilidad consiste en dotarlos de mecanismos de tolerancia frente a los mismos. Con este trabajo se pretende implementar un sistema inmune a la ocurrencia de fallos en el control de velocidad de un motor de CD del Departamento de Control Automático, perteneciente a la Universidad de Oriente. Haciendo un estudio sobre la implementación de dicho sistema, se realiza la simulación del modelo del proceso en Redes de Petri en el Visual Object Net (VON) para su verificación y validación, donde se aplica una biblioteca de módulos pre-programados para la confección de la tolerancia a fallos clásicas y posteriormente se procede a su traducción en lenguaje de autómatas según la norma IEC1131.

Abstact

The automation of industrial processes controlled by PLC's can failure to file lead to irreparable harm in the system. One way to increase reliability is to provide them with mechanisms of tolerance to them. This work aims to implement a system immune to the occurrence of faults in controlling a motor speed of a CD of the Department of Automatic Control, from the Universidad de Oriente. Doing a study on the implementation of this system, is carry out the simulation of the model process networks in Visual Object Petri Net (VON) for verification and validation, where is apply a library of pre-programmed modules to compile failover classic and then proceeds to its translation into the language of automata according to IEC1131 standard.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LOS SISTEMAS AUTOMATIZADOS Y LOS SISTEMAS TOLERANTES A FALLOS.	4
1.1 ¿QUE ES UN SISTEMA AUTOMATIZADO?	4
1.2 LOS SISTEMAS TOLERANTES A FALLOS	7
1.3 LAS REDES DE PETRI EN LOS SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN.	8
1.4 LOS PLC'S EN LA AUTOMATIZACIÓN CON TOLERANCIA A FALLOS.	10
CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DE LA INSTALACIÓN.	14
2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN DE LABORATORIO.	14
2.2 OBTENCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DEL MOTOR.	18
2.3 MODELADO EN REDES DE PETRI GHENESYS DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN.	21
2.3.1 APLICACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LAS REDES DE PETRI EN EL MODELO.	22
2.4 CARACTERÍSTICAS DEL SOFTWARE GMWIN.....	28
2.5 TRADUCCIÓN DEL MODELO A LENGUAJE DE AUTÓMATA SEGÚN LA NORMA INTERNACIONAL IEC 1131.	29
2.6 VALORACIÓN ECONÓMICA	32
CONCLUSIONES	34
RECOMENDACIONES	35
BIBLIOGRAFÍAS	36
ANEXOS	38

Introducción

La necesidad de sistemas capaces de tolerar fallos ha crecido de forma exponencial debido a que muchos de estos sistemas funcionan en línea y en tiempo real afectando en muchos casos a la seguridad. Nuestra mayor dependencia de estos sistemas hace que no podamos permitir fallos en los sistemas automatizados.

La automatización de los mismos mediante lazos de control automático, si bien ha permitido liberar a los operadores humanos de su control y operación manual, no los ha inmunizado frente a los fallos. Entendiéndose por fallo todo cambio en el comportamiento de alguno de los componentes del sistema (desviación no permitida de alguna de sus propiedades o parámetros característicos) de manera que éste ya no puede satisfacer la función para la cual ha sido diseñado (Blanke, 2000).

La tolerancia a fallos es un área de mucha importancia en la automatización industrial moderna. Un sistema industrial moderno debe ser capaz de mantener su capacidad productiva con una calidad mínima permisible frente a fallos en diferentes elementos del sistema productivo y de control, siendo los sensores y actuadores son los elementos de mayor índice de fallos en un sistema que es controlado.

En la enseñanza de la ingeniería automática, especialmente en el área de laboratorios, el control de velocidad de los motores eléctricos son de suma importancia en la actualidad, debido a las diferentes aplicaciones industriales a los que son sometidos; es por ello, que la actualización y desarrollo de nuevas prácticas de laboratorio se hacen necesarias para ampliar el conocimiento de los estudiantes.

Un problema existente en el Departamento de Control Automático es la limitación de laboratorios para el desarrollo de sistema tolerante a fallos en el control de velocidad del motor de CD.

Para llevar a cabo la puesta en marcha de este proceso es necesario modelar dicho sistema, para ello se opta por las Redes de Petri (PN), siendo las de mayor aplicación en la descripción formal de programas de PLC's debido a que poseen muchas ventajas sobre otras formas de descripción formal, al facilitar una modelación sencilla e intuitiva, siendo generalmente los más compactos y poderosos.

Debido a lo anteriormente expuesto, para el análisis de este trabajo se tendrá en cuenta el siguiente diseño metodológico de la investigación:

-Problema de la investigación: Limitación de las instalaciones de laboratorios actuales para el desarrollo del sistema de automatización integral tolerante a fallos que correspondan con la automatización de la industria moderna, en especial la maqueta de control de velocidad de un motor de CD.

-Objeto de la investigación: Sistema de automatización integral tolerante a fallos.

-Objetivo: Proyecto de instalación e indicaciones de puesta en marcha del sistema de automatización integral tolerante a fallos de la maqueta de control de velocidad de un motor de CD (Maqueta ALECOP), apoyándose en el modelado en Redes de Petri GHENeSys y su traducción a programa en lenguaje del PLC LG Glofa.

-Campo de acción: Diseño y proyección del sistema de automatización integral tolerante a fallos de la maqueta de control de velocidad de un motor de CD.

-Hipótesis: Si se logra desarrollar el proyecto de instalación e indicación de puesta en marcha del sistema de automatización integral tolerante a fallos de la maqueta de control de velocidad de un motor de CD (Maqueta ALECOP), apoyándose en el modelado en Redes de Petri GHENeSys y su traducción a programa en lenguaje del PLC LG Glofa, se garantiza resolver la limitación de las instalaciones de laboratorios actuales para el desarrollo de sistema de automatización integral tolerante a fallos que correspondan con la automatización de la industria moderna, en especial la maqueta de control de velocidad de un motor de CD.

Etapas de Trabajo:

1. Estudio del proceso de control de la Maqueta ALECOP y los requisitos de automatización integral tolerante a fallos del sistema.
2. Desarrollo del modelado en VON del sistema de automatización integral tolerante a fallos de la Maqueta ALECOP. Esto debe incluir regímenes de operación manual y automático, arranque y parada de la instalación y parada de emergencia con señalización a fallos.
3. Desarrollo del proyecto simulado a partir de la traducción del modelo obtenido (en el punto 2) para programa IEC 1131 compatible en GMWin.
4. Estudio del PLC LG Glofa y sus posibilidades de aplicación de sistemas de automatización integral tolerante a fallos IEC 1131 compatibles.
5. Estudio de la teoría sobre sistemas de automatización integral tolerante a fallos y su aplicación en sistemas de automatización industrial con control de velocidad en motores de CD.
6. Desarrollo del proyecto de instalación e indicación de puesta en marcha del sistema de automatización integral tolerante a fallos de la Maqueta ALECOP con PLC Glofa de LG.

Técnicas y métodos:

1-Teóricos: se emplea en la etapa de asimilación de hechos, fenómenos y procesos y en la construcción del modelo.

2-Modelación: opera en forma práctica o teórica con un objeto, no en forma directa.

3-Observación: se emplea en la percepción directa del objeto de investigación, permitiendo conocer la realidad mediante la percepción directa de los objetos y fenómenos.

4-Experimentación: se utiliza en el desarrollo de la técnica creando las condiciones necesarias del objeto.

5-Análisis y síntesis: para la descomposición del proceso en varios subsistemas, relacionarlos entre sí y vincularlos con la situación del problema.

Aporte

Un nuevo diseño del modelado, instalación y puesta en marcha del sistema de automatización integral tolerante a fallos de la maqueta ALECOP para el control de velocidad de un motor de CD y la implementación de un panel de mando para un mayor acercamiento a una instalación industrial.

Estructura de la tesis

El trabajo se encuentra organizado en dos capítulos:

El primero trata aspectos teóricos sobre el desarrollo de sistemas de automatización, el uso de las redes de Petri en el diseño de sistemas tolerante a fallos y una breve descripción del autómeta LG Glofa.

El segundo capítulo se explica la obtención del modelo matemático del motor de CD, la utilización de las redes de Petri como herramienta para la implementación de la tolerancia a fallos y su traducción a lenguaje de PLC LG Glofa y la descripción de la instalación de laboratorio.

Finalmente se detallan las conclusiones, las literaturas utilizadas y los anexos del trabajo.

Capítulo 1: Fundamentos teóricos de los sistemas automatizados y los sistemas tolerantes a fallos.

La mayor calidad en los productos se logra mediante exactitud de las máquinas automatizadas y por la eliminación de los errores propios del ser humano; lo que a su vez repercute en grandes ahorros de tiempo y materia prima.

En grandes sistemas, cada componente provee cierta función y el sistema en conjunto trabaja satisfactoriamente sólo si todos componentes proveen el servicio para el que son diseñados. Por esta razón la tolerancia a fallos es un asunto primordial en sistemas distribuidos porque un fallo en un solo componente, si se propaga en la estructura de sistema, podría resultar catastrófico.

1.1 ¿Que es un sistema automatizado?

La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos [9].

La mayor calidad en los productos se logra mediante exactitud de las máquinas automatizadas y por la eliminación de los errores propios del ser humano; lo que a su vez repercute grandes ahorros de tiempo y materia al eliminarse la producción de piezas defectuosas.

En la práctica, la automatización de la industria alcanza diferentes niveles y grados (figura 1.1) ya que la posibilidad de que se concrete su implementación en los procesos de fabricación industrial varía considerablemente según se trate de procesos de producción continua o en serie [2].

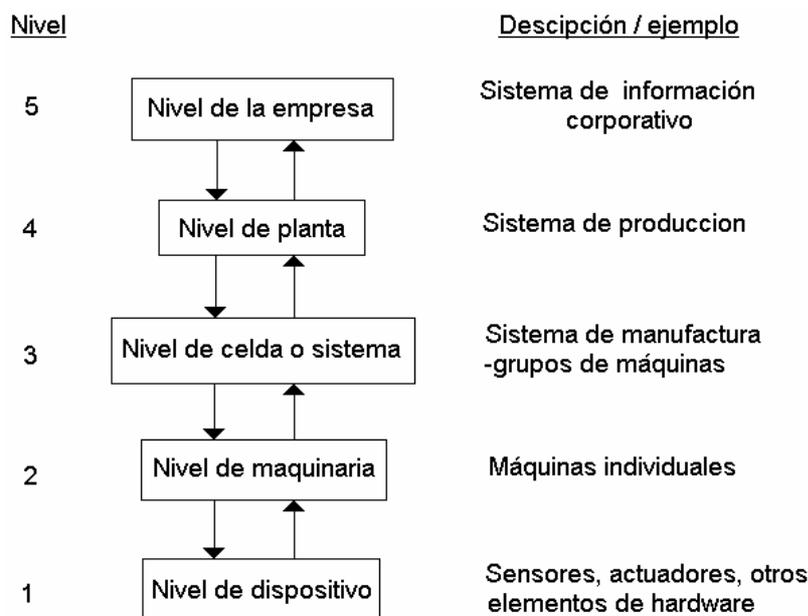


Fig. 1.1 Niveles de automatización

Teniendo como principales objetivos:

- Mejorar la productividad de la empresa, reduciendo los costes de la producción y mejorando la calidad de la misma.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos 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 producción [9].

Para el diseño de un sistema de automatización, se requiere de una integración de habilidades en sistemas mecánicos, electrónicos, computacionales y de control, con el fin de conseguir un sistema mejorado, simplificado e innovador. En los últimos años, se llega a comprender la extensión a la cual los sistemas de automatización llegan, caracterizando las variadas disciplinas que los comprenden, donde se incluyen, la modelación de sistemas físicos, sensores y actuadores, sistemas de señalización, software de computadoras [21].

Las etapas de desarrollo de cualquier automatización moderna incluyen:

- Proyección: Donde se requiere hacer el análisis y síntesis del sistema automatizado. Esto es solo posible con el uso del Modelado Formal de la planta industrial, sus especificaciones de seguridad y comportamiento como sistema controlado, al cual se le realiza la verificación de sus propiedades principales y validación del cumplimiento de las exigencias del cliente por medio de la simulación del funcionamiento de la planta con su control integrado.
- Programación: Los modelos optimizados 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 Autómatas programables son los dispositivos de mayor uso, entonces la IEC1131 es la norma más usada, así como sus ambientes de edición y simulación.
- Implementación: 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 [3].

Los avances en el campo de los microprocesadores de los últimos años han favorecido la generalización de las tecnologías programadas. En la realización de automatismos los equipos realizados para este fin son:

- Los ordenadores.
- Los autómatas programables.

Capítulo 1

El ordenador, como parte de mando de un automatismo presenta la ventaja de ser altamente flexible a modificaciones de proceso. Pero, al mismo tiempo, y debido a su diseño no específico para su entorno industrial, resulta un elemento frágil para trabajar en entornos de líneas de producción.

Un autómeta programable industrial es un elemento robusto diseñado especialmente para trabajar en ambientes de talleres, con casi todos los elementos del ordenador [13].

Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

- Parte de Mando
- Parte Operativa

La Parte de Mando suele ser un autómeta programable (tecnología programada), aunque hasta hace bien poco se utilizaban relay electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada). En un sistema de fabricación automatizado el autómeta programable esta en el centro del sistema. Este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes de sistema automatizado.

La Parte Operativa es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores y los captadores como fotodiodos, finales de carrera, etc. [9].

Detectores y Captadores

Como las personas necesitan de los sentidos para percibir, lo que ocurre en su entorno, los sistemas automatizados precisan de los transductores para adquirir información de:

- La variación de ciertas magnitudes físicas del sistema.
- El estado físico de sus componentes

Los dispositivos encargados de convertir las magnitudes físicas en magnitudes eléctricas se denominan transductores.

Los transductores se pueden clasificar en función del tipo de señal que transmiten en:

- Transductores todo o nada: Suministran una señal binaria claramente diferenciados.
- Transductores numéricos: Transmiten valores numéricos en forma de combinaciones binarias. Los encoders son transductores de este tipo.
- Transductores analógicos: Suministran una señal continua que es fiel reflejo de la variación de la magnitud física medida.

Algunos de los transductores más utilizados son: final de carrera, fotocélulas, pulsadores, encoders, etc. [14].

Accionadores y Pre-accionadores

El accionador es el elemento final de control que, en respuesta a la señal de mando que recibe, actúa sobre la variable o elemento final del proceso.

Un accionador transforma la energía de salida del automatismo en otra útil para el entorno industrial de trabajo.

Los accionadores pueden ser clasificados en eléctricos, neumáticos e hidráulicos.

Los accionadores son gobernados por la parte de mando, sin embargo, pueden estar bajo el control directo de la misma o bien requerir algún pre-accionamiento para amplificar la señal de mando. Esta pre-amplificación se traduce en establecer o interrumpir la circulación de energía desde la fuente al accionador.

Los pre-accionadores disponen de:

Parte de mando o de control que se encarga de conmutar la conexión eléctrica, hidráulica o neumática entre los cables o conductores del circuito de potencia [14].

1.2 Los sistemas tolerantes a fallos

El proceso de la detección de fallos no requiere el uso de modelos para los defectos específicos; es basado en reconocer las desviaciones de las variables medidas del sistema de su comportamiento normal [9].

Un sistema tolerante a fallos es aquel que posee la capacidad interna para preservar la ejecución correcta de las tareas a pesar de la ocurrencia de fallos en el hardware o errores en el software [18].

El control tolerante trata del diseño e implementación de sistemas de control de procesos industriales proclives a que se produzcan funcionamiento incorrecto ya sea en sensores, actuadores, controladores, o componentes de los procesos durante su operación. Para ello se trata de tener en cuenta a la hora de diseñar e implementar el sistema de control una situación en que se produzcan fallos en el mismo. En un entorno industrial ésta es una situación realista ya que los procesos industriales crecen en complejidad, aumentan el número de variables y parámetros que se miden y de actuadores que se accionan automáticamente en tiempo real y en consecuencia aumenta el grado de probabilidad de aparición de fallos [20]. Sensor, actuador o fallas de proceso (planta) pueden cambiar drásticamente el comportamiento del sistema, resultando en la degradación del rendimiento o incluso la inestabilidad.

Los sistemas de control tolerantes a fallos (FTC) son necesarios para preservar o mantener actualizado los objetivos de rendimiento, o si eso no puede ser posible, asignar nuevos objetivos (alcanzables) para evitar fracasos catastróficos. En general, la tolerancia de fallos puede ser conseguido de dos maneras:

- 1) Pasivamente, usando leyes de control de realimentación que son robustas con respecto a los defectos de sistemas posibles, o
- 2) Activamente, usando una detección de falla y aislamiento (FDI) y la técnica de adaptación [15].

El primero de ellos, utiliza la propiedad que tienen los sistemas realimentados de hacer frente a perturbaciones, cambios en la dinámica del sistema e incluso fallos en el mismo. Un cambio inesperado en el sistema crea un efecto sobre el mismo que se transmite al sistema de control que a su vez trata de compensarlo de forma más o menos rápida. En este sentido, el control tolerante pasivo consiste en un diseño robusto

del sistema de control realimentado para hacerlo inmune a determinados fallos, mientras que el control tolerante activo consiste en el diagnóstico en línea del fallo, es decir, en determinar el componente averiado, el tipo de avería, su tamaño e instante de aparición, y a partir de dicha información, activar algún mecanismo de acomodación del mismo o de reconfiguración del control o incluso dependiendo de la gravedad, decidir la parada del sistema [18,20].

La región de comportamiento deseado es aquella en la que el sistema debe operar normalmente cumpliendo su función. El controlador se encarga de mantener el sistema en dicha región a pesar de las perturbaciones e incertidumbre en el modelo utilizado para el diseño del lazo de control, e incluso, en caso de pequeños fallos, aunque esa no es su función principal.

La región de comportamiento degradado se corresponde con la región de funcionamiento a la que el sistema se desplaza después de la aparición de un fallo. En esta situación el controlador tolerante diseñado para reaccionar frente al mismo deberá de activar las acciones de recuperación preestablecidas de cara a evitar una mayor degradación que desplace al sistema hacia la región de comportamiento inadmisibles, e incluso de peligro [18].

Además de los errores de diseño, pueden aparecer anomalías de funcionamiento tanto en el hardware como en el software y en gran medida los fallos humanos en su interacción con el sistema de automatización.

Una de las causas de fallos a tener en cuenta en los sistemas automatizados radica en las características propias de los dispositivos de automatización, que en su gran mayoría son dispositivos electrónicos.

Los sistemas tolerantes a fallos tienen las siguientes propiedades:

- Usan la redundancia de información para detectar fallos.
- Usan componentes de sistema de reconfiguración programable para acomodar los fallos.
- Acepta el rendimiento degradado debido a un fallo pero mantiene la disponibilidad de la planta.
- Son baratos - ningún equipo físico nuevo [5].

1.3 Las Redes de Petri en los sistemas de automatización.

Las ventajas de los métodos formales en el proceso de diseño son por ejemplo, la facilidad para el análisis y reutilización, la repetitividad, la facilidad para proceder al análisis de sistemas de gran tamaño, la precisión del proceso de modelado y 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. En este campo, las Redes de Petri (PN) y sus extensiones, han sido la representación que más ha avanzado en este sentido por su dualidad matemático-gráfica [1].

Las redes de Petri representan una alternativa para modelar sistemas, sus características hacen que, para algunos problemas las redes de Petri funcionen de una manera natural. Comparada con otros modelos de comportamiento dinámico- gráficos,

como los diagramas de las máquinas de estados finitos, las PN ofrecen una forma de expresar procesos que requieren sincronía. Y quizás lo más importante es que las PN pueden ser analizadas de manera formal y obtener información del comportamiento dinámico del sistema modelado.

Para modelar un sistema se usan representaciones matemáticas logrando una abstracción del sistema, esto es logrado con las PN, en general, pueden verse como una estructura especial para estudiarse como ejercicio intelectual, también se les puede ver, como otro autómata capaz de aceptar o generar lenguajes formales e investigar sus propiedades matemáticas, o como un esquema de representación para describir, analizar, y sintetizar diferentes sistemas "en tiempo real".

Una Red de Petri es un modelo gráfico, formal y abstracto para describir y analizar el flujo de información. Además, debemos reconocer las condiciones y los eventos que se dan en él, de esta manera podemos hacer la analogía entre el sistema y el modelo. Al conocer las condiciones que se necesitan para dar cierto evento podemos diseñar los módulos y relacionarlos con otras condiciones, y para esto necesitamos saber la estructura de una PN para saber que corresponde a una condición y un evento en la red [12].

En el proceso de diseño de sistemas complejos e integrados, el grado de complejidad aumenta proporcionalmente a diferentes factores: el tamaño del sistema, el volumen y complejidad de las tareas, el grado de integración entre las partes que lo forman, etc.

El uso de un diseño jerárquico es una de las vías de solución de esta complejidad. Este diseño jerárquico no necesariamente coincide con la estructura de implementación, pero sí con la distribución funcional del sistema. Se busca la estructura funcional con mayor independencia para formar módulos integrados donde se modelan todas las funciones internas. Mientras que las interacciones con el exterior solo se presentan en su nivel jerárquico superior.

Esto garantiza una solución equivalente tanto en el modelo como en el programa para aplicaciones de sistemas de control distribuido, pero garantizando también en el modelo y el programa, cumplir con la simplicidad interna de los submódulos integrantes. Esto es debido a que los módulos resultantes pueden ser tratados como OPN (redes de Petri ordinarias) y en el programa estos mismos submódulos constituyen pasos del programa SFC que pueden ser tratados al nivel de programas en el propio SFC, o en IL, LD o ST de acuerdo a la experiencia del programador.

Principales propiedades funcionales de los modelos en PN:

- **Alcanzabilidad** (Reachability): Un estado es alcanzable si partiendo de un estado inicial la red avanza automáticamente hasta un estado dado.
- **Limitación** (Boundedness): La red es limitada si el número de tokens (k) en cada lugar no excede su capacidad para cualquier marcación alcanzable desde el inicial. Segura si es k -limitada con $k=1$.
- **Vivacidad** (Liveness): Es la ausencia de bloqueos (lazos cerrados) que limitan la dinámica de la red para una sola parte sin caer nunca en las restantes.

- **Reversibilidad y estado particular (*Reversibility and Home State*):** 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, y mas en el caso de los PLC. También tienen que garantizar que este comportamiento no sea aleatorio, sino que sea controlable permitiendo retorno a un estado particular de interés en el sistema de control.

Los modelos en Redes de Petri tienen muchas otras propiedades, mas, si los métodos de verificación de los modelos permiten garantizar estas cuatro tienen resuelto el 99.9% de las especificaciones de síntesis requeridos para un control eficiente.

Otras propiedades de los modelos en PN

- Cobertura (*Coverability*)
- Persistencia (*Persistence*)
- Distancia sincrónica (*Sinchronic distance*)
- Disparabilidad (*Fairness*)

Ventajas

- El sistema completo frecuentemente es fácil de entender debido a la naturaleza gráfica y precisa del esquema de representación.
- El comportamiento del sistema se puede analizar usando la teoría de red de Petri.
- Puesto que las redes de Petri pueden ser sintetizadas usando los enfoques ascendente (bottom-up) y descendente (top-down), es posible especificar sistemáticamente aquellos sistemas cuyo comportamiento es conocido o fácilmente verificable [3].

1.4 Los PLC's en la automatización con tolerancia a fallos.

Las redes de control distribuido con PLC's y microcomputadoras tienen grandes posibilidades de obtener diferentes grados de tolerancia a fallos según la estructura de la red, la modularidad de los PLC's, la programación de sus funciones, etc.

Todas las características generales de los PLC's benefician grandemente la creación de sistemas tolerantes a fallos (STF) con estos dispositivos, porque precisamente estas técnicas de seguridad utilizan estas particularidades para el logro de sus objetivos, tanto en el hardware como en software.

La utilización de un PLC en el diseño del sistema de control distribuido ya incluye, de por sí, la utilización de las técnicas de tolerancia a fallos de que ya dispone el hard y soft del equipo, que en otros sistemas de control distribuido deberían crearse [Higham&Rohrman96].

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La continua evolución del hardware y software amplía constantemente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan.

Capítulo 1

Los controladores lógicos programables son dispositivos de estado sólido que tienen la capacidad de almacenar instrucciones para implementar funciones de control, tales como:

- Control de eventos secuenciales.
- Control temporizado.
- Funciones de contador.
- Funciones aritméticas.
- Manipulación de datos.
- Comunicación.

Este dispositivo de automatización industrial dispone de n número de entradas/salidas analógicas y/o digitales que lo comunican con el proceso a controlar u otros dispositivos, donde la relación funcional entre las entradas y salidas se establece a través de un programa. Puede considerarse además como una microcomputadora de propósito específico.

A través de los módulos de entrada y salida, el PLC obtiene información sobre el estado o los valores de las variables del proceso o envía al proceso las acciones de comando que son generadas al ejecutar las rutinas de control programadas en su memoria.

La sección de entradas mediante el interfaz, adapta y codifica de forma comprensible para la CPU las señales procedentes de los dispositivos de entrada o captadores.

La sección de salida también mediante interfaz trabaja de forma inversa a las entradas, es decir, decodifica las señales procedentes de la CPU, las amplifica y las envía a los dispositivos de salida.

La arquitectura flexible y modular de los PLC's, permite adaptar el sistema de control a cambios o expansiones del proceso que se está controlando. Su fácil instalación, mínimo mantenimiento y alta confiabilidad son factores importantes a la hora de implementar soluciones utilizando PLC's.

La posibilidad de realizar tareas de control simple y repetitivo, como el encendido y apagado de elementos de una máquina sencilla, hasta ejecutar tareas de control sofisticadas y a gran escala en una planta, le dan a los PLC una importancia cada vez mayor dentro del mundo de la automatización de sistemas.

Sus aplicaciones se extienden al control de procesos, al poder efectuar lazos de regulación trabajando con dispositivos de instrumentación. En esta etapa, el autómata desarrolla el control adaptativo sin intervención del operador.

Las redes de control distribuido con PLC's y microcomputadoras tienen grandes posibilidades de obtener diferentes grados de tolerancia a fallos según la estructura de la red, la modularidad de los PLC's, la programación de sus funciones, etc.

La utilización de la admisibilidad global es muy fácil de implementar en aplicaciones, incluso pequeñas, de PLC, ya que las posibilidades actuales de programación de dichos equipos permiten vigilar los límites admisibles de las mediciones y su velocidad de variación.

Capítulo 1

Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, etc., hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

- Espacio reducido
- Procesos de producción periódicamente cambiantes
- Procesos secuenciales
- Maquinaria de procesos variables
- Instalaciones de procesos complejos y amplios
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso [10].

Características fundamentales del autómata LG Glofa

Este PLC compila un rango medio de I/O, alta velocidad de procesamiento, estructura modular, alojamiento de tamaño pequeño y precio bajo. Puede ser la solución perfecta para la mayoría de los equipos y líneas de producción pequeña. El PID con autotuning le permite usar siempre el Glofa-GM6 para temperatura, presión o control de flujos.

Características de la serie GLOFA-GM

1- Diseñado sobre la base de las especificaciones estándar internacionales (IEC 1131-3)

- soporta dispositivos de fácil programación
- lenguajes conforme con la norma IEC1131-3 (IL/ LD / SFC)

2- Red abierta para el uso de protocolos de comunicación conforme con las especificaciones estándar internacionales

3- Alta velocidad de procesamiento con un procesador dedicado a operaciones incluido

4- Varios módulos especiales que amplían el rango de aplicación del PLC

Características de GM6-CPUA/B/C

1- operación de procesamiento de alta velocidad

2- elevado diagnóstico propio

3- configuración del modo de reinicio

4- operación de depuración

5- varios programas de ejecución

6- Diversos tipos de datos [16]

Conclusiones parciales de capítulo.

Para diseñar un Sistema de Automatización Integral para el Control de Presión en esta Práctica, debemos:

- Diseñar un Sistema de Automatización Integral.

Capítulo 1

- Modelar con ayuda del Visual Object Net la práctica de laboratorio del control de velocidad de un motor de CD.
- Implementar la traducción de los modelos en las Redes Jerárquicas Extendidas GHENeSys a lenguaje de autómatas compatibles con la norma internacional IEC1131.

Capítulo 2: Descripción y características fundamentales de la instalación.

En este capítulo se expone el diseño de la instalación, donde se explica en detalles el funcionamiento del sistema y los medios utilizados desde el punto de vista de hardware así como la aplicación de las propiedades de las redes de Petri señaladas en el capítulo anterior y su traducción para conformar el algoritmo de programación del autómatas empleado.

2.1 Descripción general de la instalación de laboratorio.

La maqueta ALECOP (figura 2.1), es una instalación docente profesional del tipo SAD-100, formado por varios bloques como: alimentación, taco-generator, inversor, freno, entre otros.



Figura 2.1 Maqueta ALECOP

El taco-generator utilizado pertenece a la marca italiana Elcis, modelo E5-600-5-BZ-CV-2,5. Transforma la señal de salida del proceso (velocidad) en una señal de voltaje, esta tensión pasa al módulo TF-100 del panel, donde se filtra y se acondiciona.

El freno que ofrece la maqueta, de la marca francesa MEROBEL S.A, es el elemento electromecánico de carga seleccionado para simular físicamente la perturbación del par sobre el motor. El freno de polvo magnético introduce un par resistente que depende de su intensidad de excitación. Básicamente consiste en una bobina enrollada a una cavidad que contiene polvo de hierro; que al ser recorrida por una corriente eléctrica, imanta al polvo magnético que actúa sobre dos discos acoplados en el eje del freno. De esta forma se consigue que el par resistente dependa únicamente de la corriente que

Capítulo 2

circula por la bobina. El voltaje de alimentación de este dispositivo se genera en el módulo TF-100 con el que se varía la intensidad de excitación del freno y es ajustable a través de un potenciómetro.

La relación entre la intensidad y el potenciómetro K_4 , es aproximadamente:

$$i_e = (20mA) \cdot K_4 \quad (1)$$

El acondicionador y actuador de freno cuenta con la electrónica necesaria para acondicionar la señal proveniente del taco-generador acoplado al eje del motor, y convertirla mediante la ecuación (2) a un voltaje en el rango de 0-10 V.

$$V_T = 0.7K_3 \frac{mV}{rpm} \quad (2)$$

Donde K_3 es ajustable por un potenciómetro.

El par de carga (ML) varía en un rango de 0-250 Joule según la siguiente ecuación:

$$M_L = K_4 \cdot 25 \text{ N} \cdot \text{cm} \quad (3)$$

Donde K_4 es una constante de proporcionalidad, ajustable entre 0 y 10.

El amplificador de potencia genera la alimentación para el motor de corriente continua. La tensión de salida de la fuente es proporcional a la tensión aplicada a su entrada. Gracias a este elemento, con una señal entre -10 y $+10$ volts y muy poca corriente, se gobierna una potencia mucho mayor, la absorbida por el motor. Al cambiar la polaridad de la tensión cambia el sentido de giro del motor.

Panel de mando

En este panel (Anexo 19) se encuentran instalados los indicadores así como los interruptores y pulsadores para el accionamiento manual.

Al panel llegan las señales de 24VCD para la activación de los contactos de los módulos de entrada a partir de los interruptores, y llegan las conexiones provenientes del módulo digital de salida para las señalizaciones lumínicas. Además, del mismo sale la señal analógica proveniente del potenciómetro para poder variar la referencia.

Los indicadores que posee son encendido y stand by del sistema, motor encendido, parada de emergencia, indicación del modo de trabajo manual y 3 indicadores de fallo; los interruptores son encendido/apagado del sistema selector manual/automático, emergencia y un push-bottom de fin de fallo, y del accionamiento manual están encendido/apagado del motor, activación/desactivación del taco-generador y del controlador (Anexo 19).

Circuito convertidor de corriente a voltaje

El circuito que se muestra en la figura 2.5a y 2.5b es utilizado para convertir la señal de 4-20mA procedente del módulo analógico G6F-DA2I a un rango de voltaje de 0-10V que luego será amplificado en la Maqueta ALECOP.

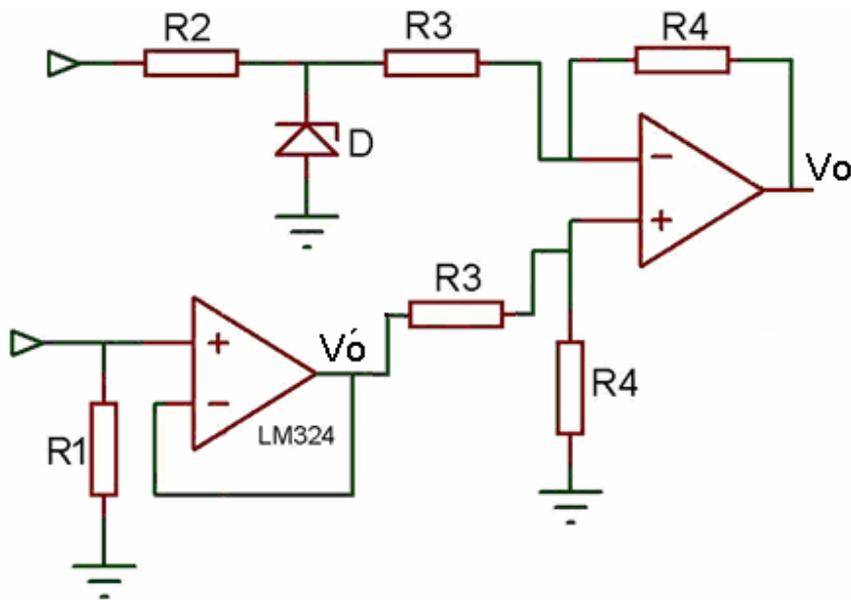


Fig. 2.5a Circuito convertidor de corriente a voltaje

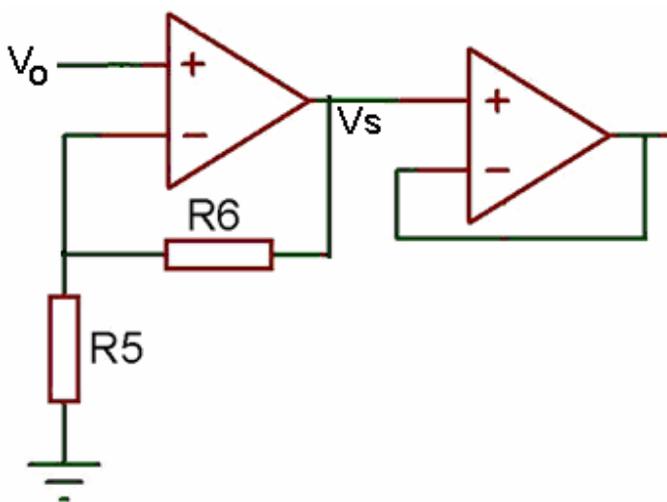


Fig. 2.5b Circuito convertidor de corriente a voltaje

Para el circuito de la fig.2.5a

$$V_+ = V_- \quad (1)$$

$$V_+ = V_o' \frac{R_4}{R_3 + R_4} \quad (2)$$

$$V_- = V_z \frac{R_4}{R_3 + R_4} + V_o \frac{R_3}{R_3 + R_4} \quad (3)$$

Capítulo 2

$$V_o' \frac{R4}{R3 + R4} = V_z \frac{R4}{R3 + R4} + V_o \frac{R3}{R3 + R4} \quad (4)$$

Despejando V_o en 4

$$V_o = V_o' \frac{R4}{R3 + R4} - V_z \frac{R4}{R3 + R4} \quad (5)$$

Teniendo todas las resistencias de igual valor

$$V_o = V_o' - V_z \quad (6)$$

Donde V_o es el voltaje que luego será amplificado V_o' es la salida del buffer de la resistencia $R1$ y V_z es el voltaje zener.

La resistencia $R1$ se emplea para ejercer una caída de voltaje con la corriente proveniente de la salida del módulo analógico del autómata. Debido a que el LM324 que es el amplificador operacional empleado en este circuito convertidor posee 4 operacionales, se decide darle uso a los operacionales que no se le iba a dar aplicación para no desperdiciar ninguno de ellos, donde el primer operacional de la fig. 2.5a es usado como buffer para no cargar el dispositivo de donde proviene la señal que será acondicionada. El segundo operacional es el encargado de restarle a la señal de control un voltaje fijado por el diodo zener D donde la resistencia $R1$ es calculada para que cuando la señal del autómata sea de 4mA, la caída de tensión sea de igual valor al voltaje zener para asegurar el 0V de la señal que será enviada a la maqueta. La resistencia $R5$ es la que limita la corriente que alimenta el zener y las resistencias $R3$ y $R4$ son de igual valor, lo que conlleva a que no haya amplificación de la señal, es decir, que la ganancia es 1.

Para el circuito de la fig.2.5b

$$V_+ = V_- \quad (7)$$

$$V_+ = V_o \quad (8)$$

$$V_- = V_s \frac{R5}{R5 + R6} \quad (9)$$

$$V_o = V_s \frac{R5}{R5 + R6} \quad (10)$$

Despejando V_s en 10

$$V_s = V_o \frac{R5 + R6}{R5} \quad (11)$$

$$V_s = V_o \left(1 + \frac{R6}{R5} \right) \quad (12)$$

Donde V_s es el voltaje que habrá en la salida.

El primer operacional es la etapa de amplificación donde las resistencias R_6 y R_7 son las que determinan la ganancia del circuito para lograr que cuando la caída en R_1 sea el equivalente a los 20mA, después del circuito convertidor esta señal sea de 10V. Por último el segundo operacional de la misma figura se usa como buffer para que la maqueta no vaya a cargar el circuito.

2.2 Obtención del modelo matemático del motor.

Las características de funcionamiento de los motores de CD controlados por inducido se asemejan a las características ideales de un motor de CA de dos fases. Sea el motor de CD controlado en el inducido puede verse en la fig. 2.1.

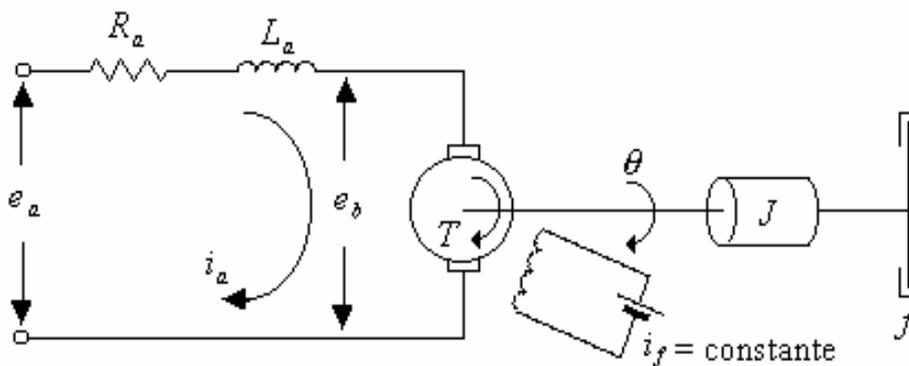


Fig. 2.1: Esquema de un motor de CD controlado por inducido.

En este sistema:

R_a : Resistencia del devanado del inducido [Ω]

L_a : Inductancia del devanado del inducido [H]

i_a : Corriente a través del devanado del inducido [A]

i_f : Corriente de campo [A]

e_a : Tensión aplicada a la armadura [V]

e_b : Fuerza contra-electromotriz [V-s/rad]

θ : Desplazamiento angular del eje del motor [rad]

T : Par desarrollado por el motor [N-m]

J : Momento inercia equivalente del motor con referencia al eje del motor [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]

Capítulo 2

f : Coeficiente de fricción viscosa equivalente del motor referido al eje del motor [N-m/rad/s]

El par desarrollado por el motor es proporcional al producto de la corriente de inducido i_a y el flujo del entrehierro ψ que a su vez es proporcional a la corriente de campo:

$$\psi = K_f i_f \quad (2.1)$$

Donde K_f es una constante. Por tanto se puede escribir el par T como:

$$T = K_f i_f K_1 i_a \quad (2.2)$$

Donde K_1 es una constante.

En el motor de CD controlado en el inducido, se mantiene constante la corriente del campo. Para una corriente de campo constante el flujo se vuelve constante y el par se hace directamente proporcional a la corriente del inducido, de manera que:

$$T = K i_a \quad (2.3)$$

Donde K es una constante del par motor.

Cuando el inducido está en rotación, se induce en éste una tensión proporcional al producto del flujo por la velocidad angular. Para un flujo constante, la tensión inducida e_b es directamente proporcional a la velocidad angular $d\theta/dt$.

Entonces:

$$e_b = K_b \frac{d\theta}{dt} \quad (2.4)$$

Donde K_b es una constante de fuerza contra-electromotriz.

Se regula la velocidad de un motor de CD controlado por el inducido por medio de la tensión e_a . La ecuación diferencial del circuito de inducido es:

$$L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a + e_b = e_a \quad (2.5)$$

La corriente de inducido produce el par que se aplica a la inercia y fricción; por tanto:

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} + f \frac{d\theta}{dt} = T = K i_a \quad (2.6)$$

Suponiendo que todas las condiciones iniciales son cero, y tomando las transformadas de Laplace de las Ecs. (2.4), (2.5) y (2.6), se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$K_b s \theta(s) = E_b(s) \quad (2.7)$$

$$(L_a s + R_a) I_a(s) + E_b(s) = E_a(s) \quad (2.8)$$

Capítulo 2

$$(Js^2 + fs)\theta(s) = T(s) = KI_a(s) \quad (2.9)$$

Se obtiene la función de transferencia de este sistema como:

$$\frac{\theta(s)}{E_a(s)} = \frac{K}{s(L_aJs^2 + (L_af + R_aJ)s + R_af + KK_b)} \quad (2.10)$$

La inductancia L_a en el circuito de inducido generalmente es pequeña y se puede despreciar. Si se desprecia L_a , la función de transferencia dada por la Ec. (2.10) se reduce a:

$$\frac{\theta(s)}{E_a(s)} = \frac{K_m}{s(T_ms + 1)} \quad (2.11)$$

Donde: $K_m = K / (R_af + KK_b) =$ constante de ganancia del motor

$$T_m = R_aJ / (R_af + KK_b) =$$
 constante de tiempo del motor

Para obtener de forma experimental los parámetros del modelo (K_m y T_m) se utilizó el esquema de la fig. 2.2. Para hallar la ganancia estática K_m se varió el voltaje de entrada al amplificador que alimenta la armadura del motor (V) y se midió la velocidad (W) a estado estacionario correspondiente a cada valor de voltaje. Estos valores se tabularon (tabla 1) y por el método de los mínimos cuadrados se calculó la pendiente ($\frac{\Delta\omega}{\Delta V}$) que no es más que la K_m .

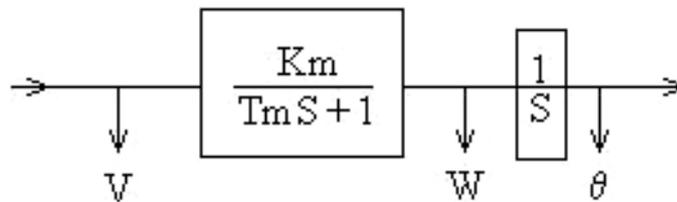


Fig. 2.2. Esquema para identificación.

V(V)	W(rad/s)
2	32,312736
2,5	48,469104
3	63,279108
3,5	77,341132
4	90,954368

4,5	104,418008
5	118,031244
5,5	130,8965
6	143,911352
6,5	156,926204
7	169,79146

Tabla 1. Valores experimentales de velocidad y voltaje de armadura.

Para hallar T_m , se utilizó la tarjeta de adquisición de datos PCL-818 del departamento de Control Automático así como un software elaborado también por el departamento. Se capturó la respuesta de velocidad del motor ante una entrada de voltaje tipo escalón. Se graficó, y se determinó el tiempo en que se demoraba el sistema en llegar al 63.2 % del total de la variación, se repitió esta experiencia diez veces obteniéndose valores muy similares. Finalmente con los resultados obtenidos se obtuvo la siguiente función de transferencia:

$$\frac{\theta(s)}{E_a(s)} = \frac{27}{(0.2s+1)s} \quad (2.20)$$

Donde:

$$K_m = 27 [\text{rad/V}] \quad T_m = 0.2 [\text{s}]$$

$\theta(s)$ = posición angular del eje del motor [rad],

$E_a(s)$ = voltaje a la entrada del amplificador que alimenta al motor [V].

Estos serían los parámetros nominalizados del modelo del sistema a controlar.

2.3 Modelado en Redes de Petri GHENeSys del sistema de automatización.

Disponer de una biblioteca de módulos pre-programados que se puedan relacionar con las recomendaciones de una metodología de diseño puede ayudar mucho para los especialistas de automatización principiantes.

En el trabajo a desarrollar, se emplea la implementación de la tolerancia a fallos en el control de la velocidad con chequeo de límites por software (Figura 1.2), que no es mas que comparar la velocidad medida con los valores fijados de velocidad máxima y mínima, en caso de dar una igualdad con uno de estos valores, se activa una alarma y se ejecutan las acciones programadas para este caso.

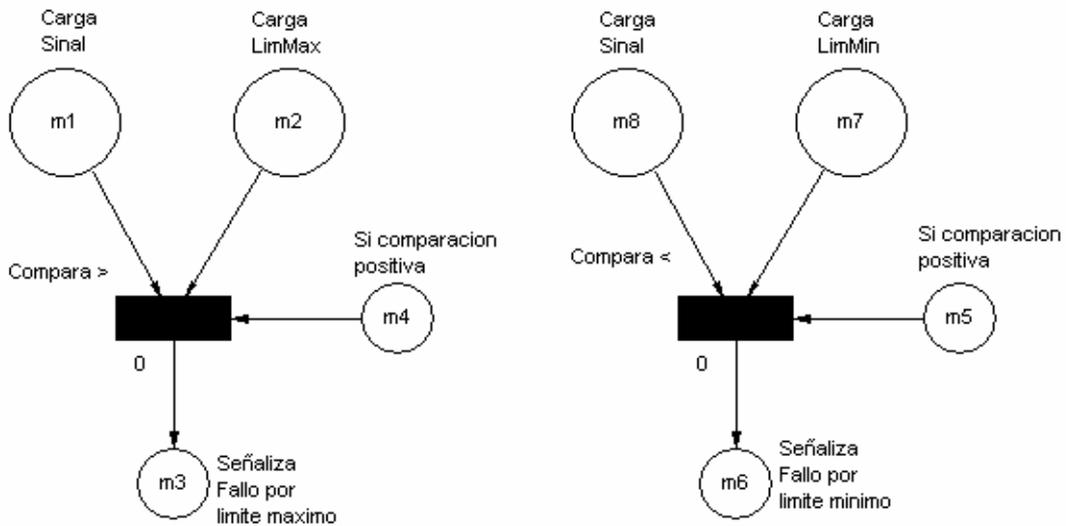


Fig. 1.2 Control de la velocidad con chequeo de límites por software.

Por eso un sistema capaz de recoger de la forma más simple posible toda esta experiencia, ayudaría a resolver el problema de la inaccesibilidad al usuario común de PLC's de estas técnicas, aseguraría una mayor garantía de funcionamiento de nuestras instalaciones y por tanto mayor eficiencia y productividad, es decir desarrollo económico del país.

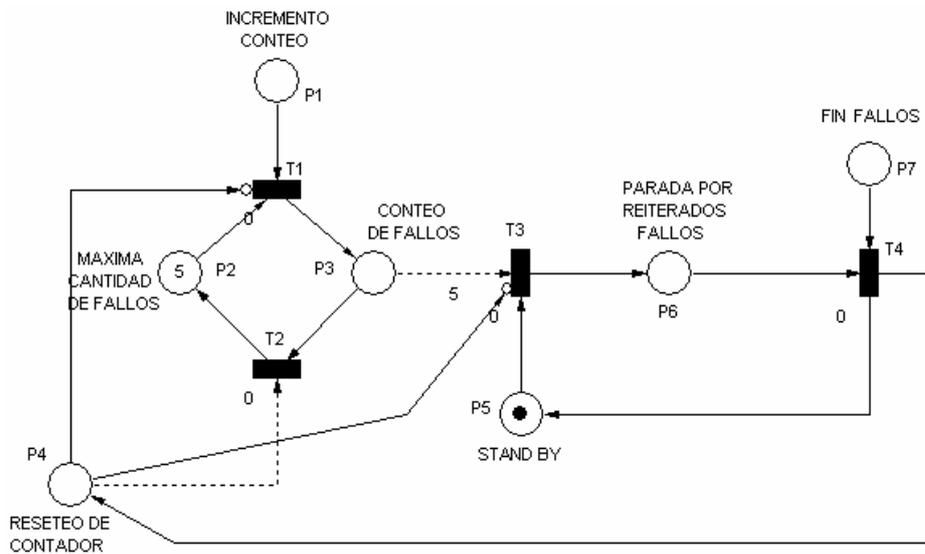
Seguidamente se lleva a cabo la metodología en Redes de Petri GHENeSys donde se propone el diseño del modelo del sistema de control de velocidad con tolerancia a fallos para garantizar una equivalencia con la programación estructurada modular que la IEC1131 propone por medio de los bloques funcionales y rutinas permitidas.

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.

2.3.1 Aplicación de las propiedades de las redes de Petri en el modelo.

Para realizar la simulación fue necesario aplicar las principales propiedades de las redes de Petri para lograr alcanzar el 99.9% de las especificaciones de síntesis requeridos para obtener un control eficiente.

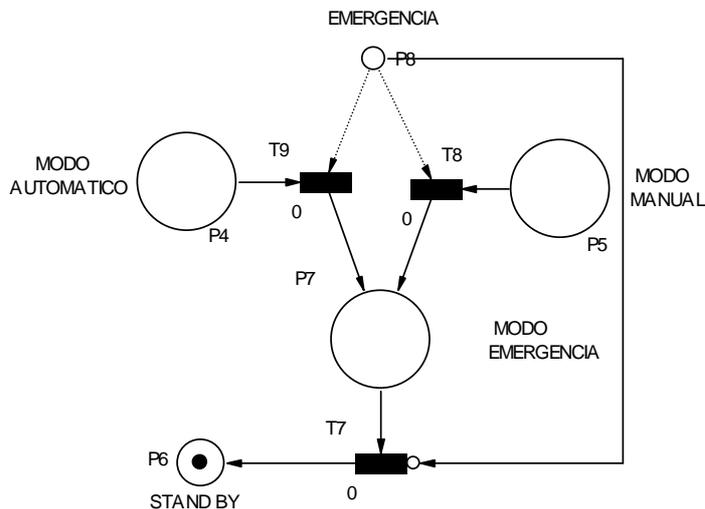
LIMITACIÓN



El sistema, inicialmente tiene un valor fijado por el programador (P2), que al ocurrir esa cantidad de fallos (P3) mientras se opera en modo automático, el sistema se detiene indicando mediante una alarma lumínica (P6) de que han ocurrido la cantidad de fallos anteriormente programada.

Una vez encontrada y reparada dicha(s) avería(s), se debe oprimir el botón de fin de fallos (P7) para que el sistema vuelva a las condiciones iniciales, las cuales son la inicialización del contador (P4) y llevar al sistema en estado de stand by (P5).

REVERSIBILIDAD

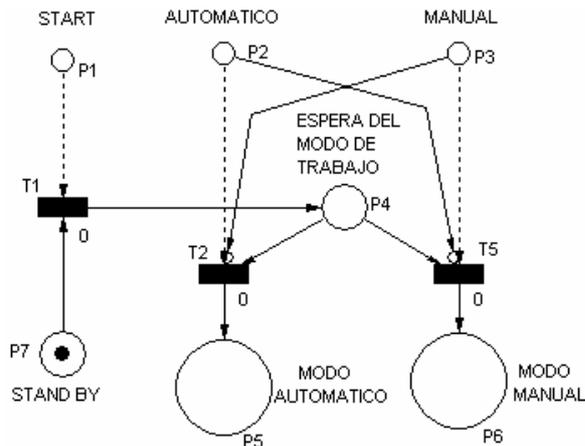


La propiedad de reversibilidad en una simulación con redes de Petri estará presente cuando el sistema que se está controlando, en este caso el motor de CD, presenta una avería y se decide ejecutar la parada de emergencia del sistema (P9), la cual conllevaría a la parada total del sistema (P8), desactivando el modo de trabajo, tanto

Capítulo 2

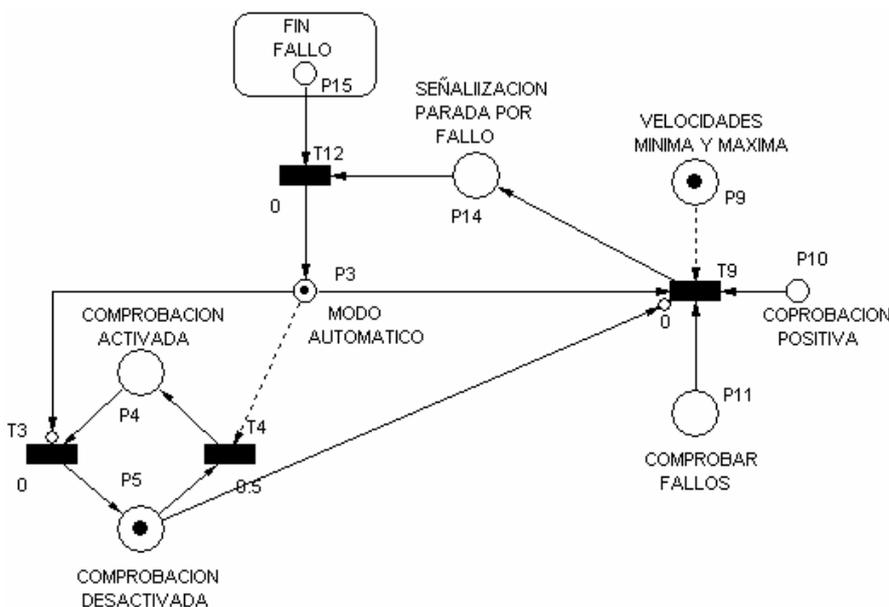
del automático (P5) como del manual (P6) sin la posibilidad de volver a encender el motor debido a que no se alcanzan las condiciones iniciales (P7). Al desactivar el interruptor de parada de emergencia (P9), el proceso vuelve nuevamente a las condiciones iniciales en espera de que se le de inicio al control del sistema.

ALCANZABILIDAD



La alcanzabilidad de este proceso se demuestra donde a partir de las condiciones iniciales o del estado de stand by del proceso (P7), al accionarse el interruptor de encendido (P1) y el interruptor del modo de trabajo se encuentre en la posición de automático (P3) o manual (P4), el sistema pasará a trabajar en el modo automático (P6) o en el modo manual (P7) dicho sea el caso.

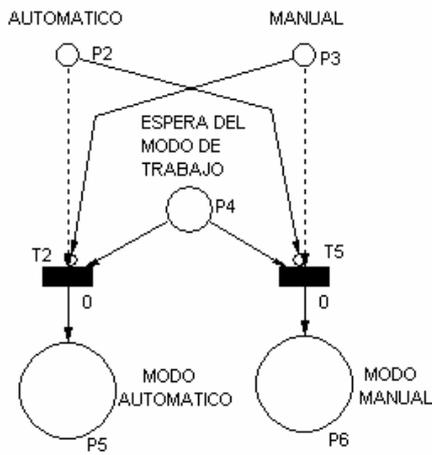
VIVACIDAD



Vivacidad es el equivalente a una ausencia de bloqueos, donde se ve reflejado en el sistema cuando este se encuentra trabajando en el modo automático en el cual se mantiene deshabilitada la comprobación de fallos (arco inhibitor que va desde el lugar P5 hacia la transición T9) durante un tiempo determinado (T4) hasta que el motor

alcance la velocidad de trabajo que es donde se activará la comprobación de fallos en la velocidad del mismo (P4). En caso de no disponer de un tiempo hasta que el motor alcance su régimen de trabajo, el sistema nunca llegará a realizar la función para la cual ha sido diseñado debido a que cuando se ponga en funcionamiento el motor, y llegue a la comprobación de fallos (P11), este detectará una falla en la velocidad (P10), debido a que no se ha superado el valor mínimo de velocidad que se le ha fijado al controlador (P9) y que será indicada mediante una señal lumínica de la existencia de una parada por fallos (P14) innecesaria ya que el fallo que se ha detectado no ha sido otro que el motor alcanzando la velocidad fijada en el set point.

PERSISTENCIA



Esta propiedad, a pesar de no estar incluida entre las cuatro fundamentales, no deja de ser importante, ya que si por un error humano, se llegan a oprimir simultáneamente los botones para la actuación automática (P2) y manual (P3), el sistema no ejecutara ningún control, debido a que el botón automático inhibirá la acción de control manual (T5) y el botón manual lo hará con la transición (T2) que conlleva al modo de trabajo automático.

Para una mejor comprensión de la aplicación de estas propiedades en el control de velocidad, referirse del anexo 1 al 3.

Descripción del autómeta LG Glofa GM6.

Para la implementación del control de velocidad se escoge el LG Glofa GM6 debido a que es un autómeta con grandes prestaciones. En el mismo se utilizan los siguientes módulos:

GM6-CPUB (anexo 5)

Soporta diferentes lenguajes de programación (LD, IL, SFC)

Presenta una capacidad de memoria de programación de 68 k bytes(17 k steps)

256 puntos de entrada/salida

Presenta una memoria de datos con un área de 2 a 8 kbytes de variables directas y 30 kbytes de variables simbólicas.

Modos de reinicio: frío, caliente

Funciones especiales incorporadas: RS 422/485, RTC y control PID

Consumo interno: 210 mA

Modos de Operación

1. Modo RUN

En este modo, los programas se encuentran operando normalmente

2. Modo STOP

En este modo, los programas no se encuentran operando.

3. Modo PAUSE

En este modo, la operación programada está temporalmente detenida. Si retorna al modo RUN, la operación continúa en el estado posterior a la parada.

4. Modo DEBUG

En este modo, los errores de programa son buscados y la secuencia de operación son rastreadas. Cambiando a este modo solo es posible desde el modo STOP. En este modo, un programa puede ser revisado con un examen en su estado de ejecución y el contenido de cada dato.

Funciones

1. Modo restart.

El modo reinicio define cómo inicializar variables en el sistema y cómo operarlas en el modo RUN.

Cuando el sistema inicia esta operación con el modo RUN por la re-aplicación de la fuente de alimentación o cambio del modo. Dos modos de reinicio, reinicio frío (Cold Restart) y caliente (Warm Restart) están disponibles y las condiciones de ejecución para cada reinicio se explican a continuación:

1) Cold Restart

- Se ejecuta cuando los parámetros de este modo han sido fijados al modo de reinicio frío.
- Todos los datos son inicializados con '0' y solo las variables a las cuales sus valores iniciales han sido definidos serán fijado a sus valores iniciales.
- Aunque los parámetros han sido fijados al modo de reinicio caliente, reinicio frío se ejecutará en la primera ejecución del programa antes de que haya sido cambiado
- En caso del comando Reset en el GMWin, se reiniciará de acuerdo con la configuración de los parámetros y en caso de la selección del comando 'Overall Reset', se reiniciará como modo de reinicio frío.

2) Warm Restart

- Se ejecuta cuando los parámetros de este modo han sido fijados al modo de reinicio caliente.

Capítulo 2

- Un dato que se haya fijado como retenido e inicial será retenido y un dato fijado como valor inicial será fijado con un valor por defecto durante el reinicio caliente. Todos los demás datos serán inicializados con '0'.
- Aunque los parámetros hayan sido fijados al modo de reinicio caliente, el reinicio frío se ejecutará en la primera ejecución del programa antes de que haya sido detenido debido a su descarga o error
- Aunque los parámetros hayan sido fijados al modo de reinicio caliente, el reinicio frío se ejecutará si el contenido de los datos son anormales (i.e., los datos se pierden con un fallo en la alimentación de energía)

G6F-AD2A (anexo 6)

Se escogió este módulo por las características que a continuación se describen:

- entrada analógica de voltaje de DC: 0 a 10V -10 a +10V
Selector del rango de voltaje: interruptor de selección de rango de entrada
- resistencia de entrada 1 M Ω
- salida digital
- resolución: 1 a 5V 1mV (1/4000)
 0 a 10V 2.5mV (1/4000)
 -10 a +10V 5mV (1/4000)
- precisión: $\pm 0.5\%$ (escala completa)
 $\pm 0.3\%$ a 25 °C
- una velocidad máxima de conversión de 5 ms/canal por canal

G6F-DA2I (Anexo 7)

Debido a la carencia del módulo G6F-DA2V se usa este módulo con la ventaja de que se puede transmitir la señal de control a una distancia mayor.

- entrada digital de 16 bit
- salida analógica de DC 4-20 mA
- resistencia de carga externa menor que 510 ohm
- resolución máxima de 4 μ A (1/4000)
- precisión es de $\pm 0.5\%$ a escala completa

Los módulos de entrada y salida digitales usados son el G6I-D21A y el G6Q-RY1A respectivamente. El primero de ellos se usa doble debido a la carencia del módulo G6I-D22A, las características de estos módulos se encuentran detalladamente en los anexos 8 y 9.

2.4 Características del software GMWin

GMWin es una herramienta de programación y depuración para el rango completo de las series G de PLC.

El software GMWin tiene las siguientes características.

1- Interfaz confortable.

Es posible compilar y depurar varios programas al mismo tiempo que maximiza la eficiencia del usuario.

2- Soporta varios lenguajes.

Soporta varios lenguajes como LD, SFC, IL. Puede seleccionar y usar lenguaje aplicable al sistema.

3- Usa variables por símbolos.

Se puede crear un programa usando símbolos para facilitar el entendimiento. La memoria puede ser asignada automáticamente o implícitamente este soporta un amplio rango de tipo de datos. Existe la opción de crear programas de alto nivel.

4-Sistema PLC usando Project Unit.

Es muy fácil crear y probar un programa porque puede incluir varios programas en un sistema PLC.

5- Conectando GMWin al PLC mediante una red fácil.

Se puede descargar y supervisar los programas, no sólo en PLC conectados directamente, sino también en un local de PLC conectados por la red.

6- Información de varios PLC.

Se está disponible para supervisar varios PLC y utilizar esta información en el modo de programación.

7- Bibliotecas definidas por el usuario

Además de las funciones estándar y bloques funcionales, puede definir un programa usado frecuentemente como una función o bloques funcionales para su conveniencia

Como conectar GMWin al PLC

En conexión del GMWin al PLC, puede previamente definir 2 opciones: método de conexión y formas de conexión en Connect Option.

Existen 4 tipos de métodos de conexión, usando RS-232C, módem, modulo de comunicación (GLOFA Fnet, Mnet para PC) y red (Ethernet), y 3 formas de conexión tales como local, remoto 1 y remoto 2 (figura 2.4).

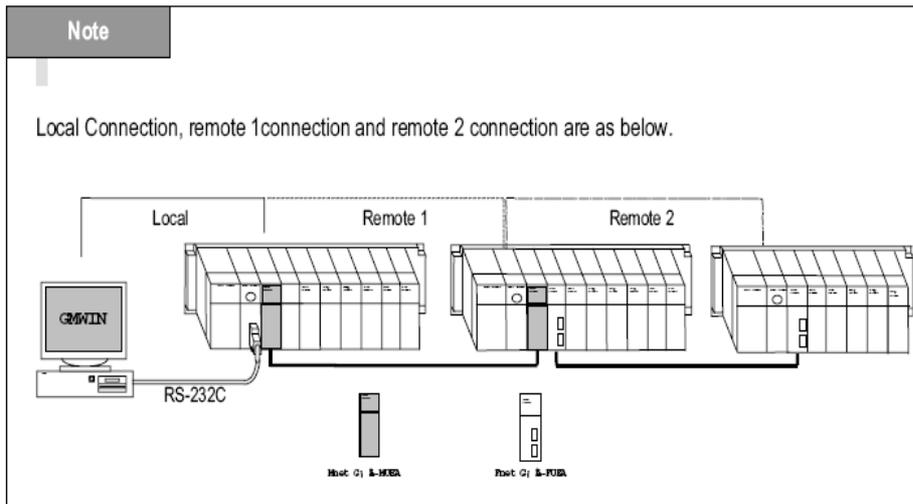
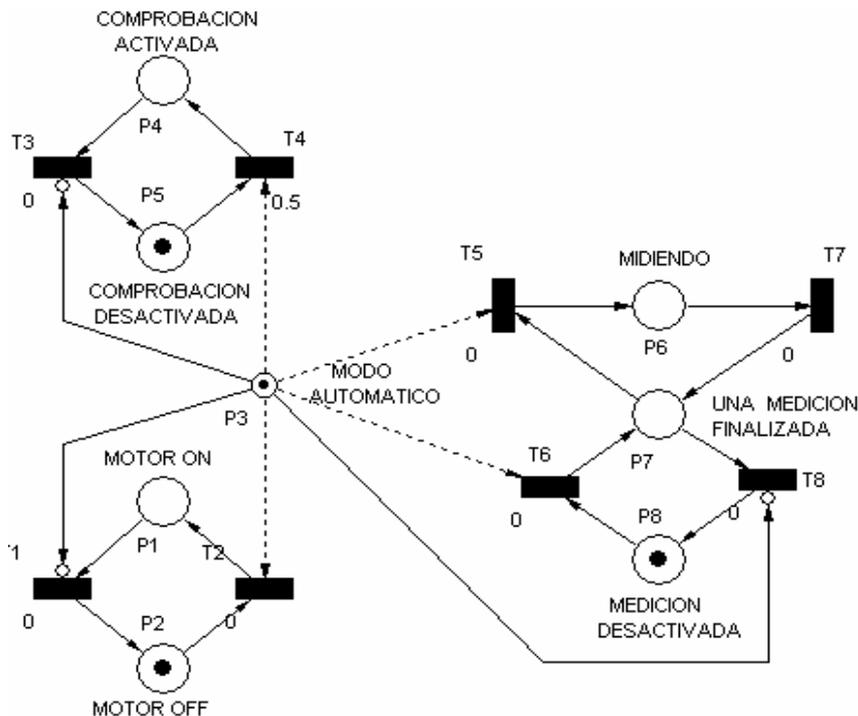


Fig. 2.4 Esquema de conexión del autómatas LG Glofa.

2.5 Traducción del modelo a lenguaje de autómatas según la norma internacional IEC 1131.

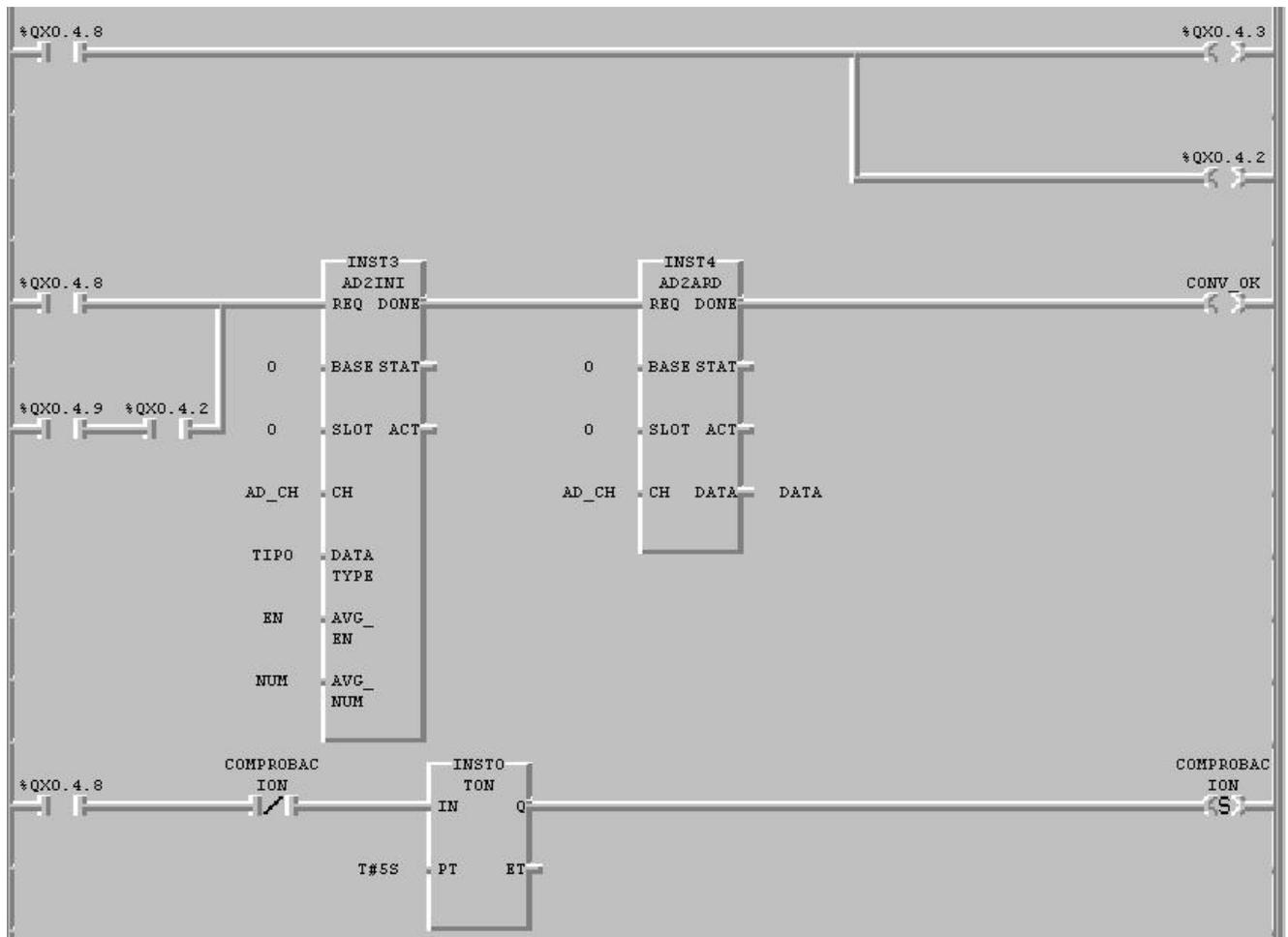
A continuación se toman 2 ejemplos de la simulación a los que se traducirán a lenguaje LD del autómatas LG Glofa y se explicará mediante una comparación del modelo simulado con la traducción.

1) Ejemplo de la inicialización del modo de trabajo automático



Capítulo 2

El que se traduce a



Donde

%QX0.4.8 contacto asociado a la bobina de activación del modo automático

%QX0.4.9 contacto asociado a la bobina de activación del modo manual

%QX0.4.2 contacto asociado a la bobina de activación del taco-generator

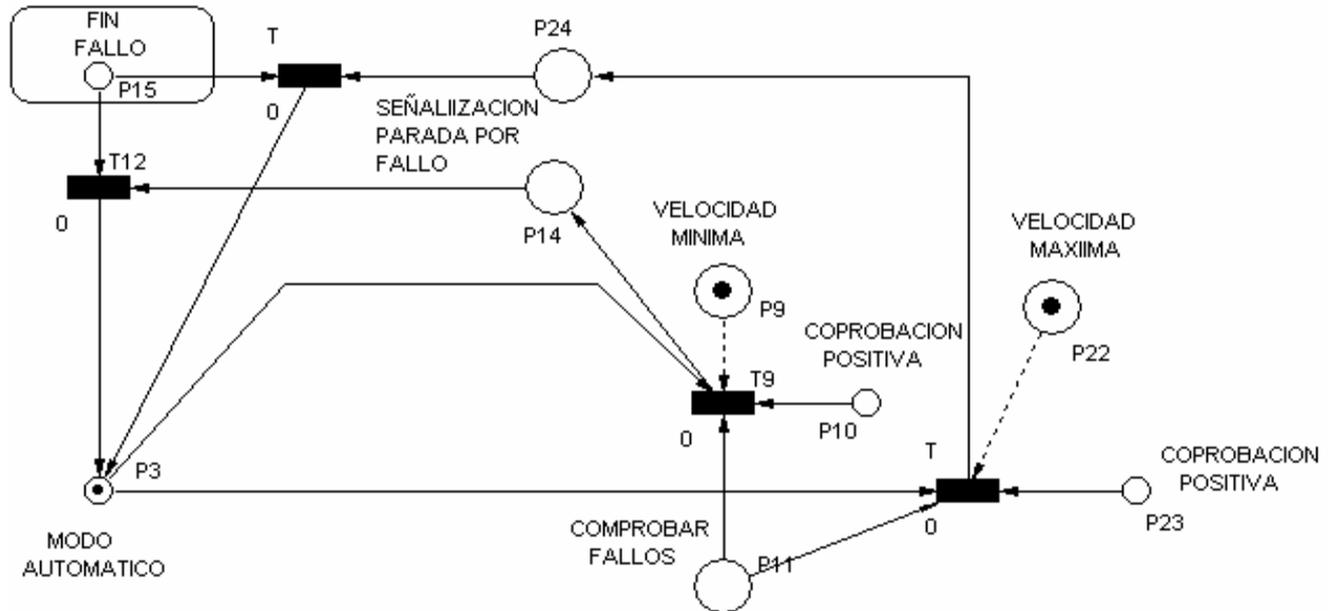
%QX0.4.3 contacto asociado a la bobina de activación del arranque del motor

En el que al activarse bobina del modo de trabajo automático - en la simulación es el estado P3-, se cierran los contactos asociados a esa bobina dando paso primeramente al arranque del motor –estado P1- y a la activación del taco-generator –en la simulación sería el equivalente al estado P7-, donde seguidamente se realiza la medición que al finalizar la conversión se activa una bobina –estado P7- indicando una medición realizada. Al mismo tiempo se mantiene activada la espera de la comprobación de la velocidad del motor hasta que culmine el tiempo establecido - transición T4, pasando posteriormente a la activación de la comprobación de fallos – estado P4-.

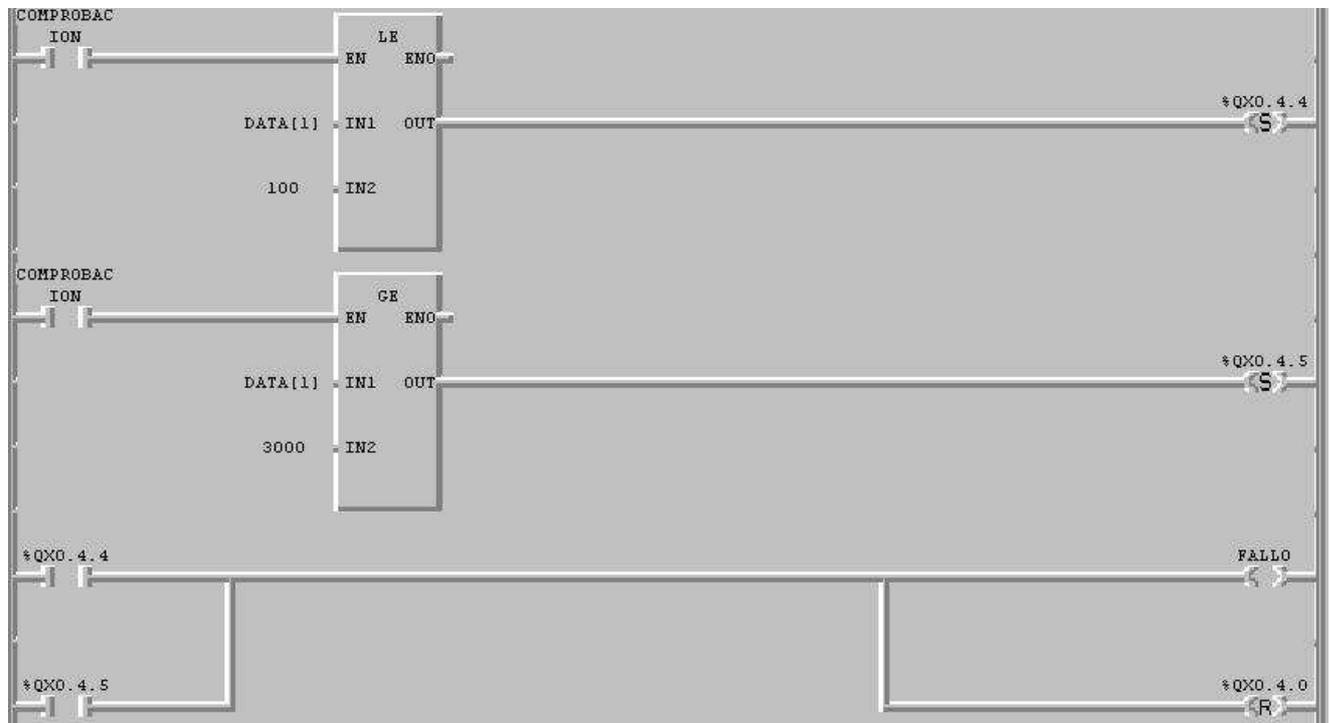
Capítulo 2

En el próximo ejemplo se explica el caso donde ocurra un fallo en algún dispositivo del sistema que provoque un aumento o disminución de la velocidad.

2) Ejemplo de la tolerancia a fallos en el control de velocidad.



Traduciéndose a



Donde

%Q0.4.0 bobina de activación del sistema de control.

%Q0.4.4 indicación de la ocurrencia de fallos por velocidad mínima.

%Q0.4.5 indicación de la ocurrencia de fallos por velocidad máxima.

Una vez activada la comprobación de fallos, la medición realizada se comprueba con 2 valores, uno para la velocidad mínima –estado P9- y otra para la máxima –estado P22-, en donde si ocurre una comparación positiva para una de los dos casos, se activará la bobina correspondiente dicho sea el caso –en la simulación sería P10 para un fallo de velocidad mínima y P23 para un fallo en la máxima.

Para un mayor entendimiento acerca de la traducción ver del anexo del 10 al 14.

2.6 Valoración económica

Actualmente la formación de nuevos profesionales de la ciencia y la técnica implica importantes gastos en sistemas y plataformas educativas, las cuales contribuyen a una mejor preparación del educando ya que mediante el montaje de la instalación, los alumnos que recibirán las prácticas saldrán con una base del conocimiento que se requiere en nuestros días sobre la automatización de accionamientos eléctricos para un buen desenvolvimiento en la industria moderna, así como para su desarrollo propio como ingeniero automático.

Las potencialidades de diseño de algoritmos de control, y realización de estudios científicos hacen de ella una herramienta para la Investigación Científica, ahorrándole así a nuestra universidad una suma relevante de dinero ya que el software del algoritmo es diseñado en la propia entidad, brindando la posibilidad de acceso a todos los estudiantes de pre-grado y de postgrado.

Teniendo presente que paralelo a este trabajo el Departamento de Control Automático lleva a cabo un proyecto de modernización de los laboratorios de la carrera; el mismo tiene como objetivo comprar e instalar un equipamiento totalmente nuevo incluyendo los accesorios para todas las prácticas que se realizan en dichos laboratorios. Sin embargo, el proyecto para esta instalación tiene un costo muy elevado, el mismo asciende a unos **6728.27** USD [6].

El presente trabajo propone también una modernización de la práctica de laboratorio del control de velocidad de un motor de CD, pero con un costo muchísimo menor, debido a que el costo de los componentes empleados es prácticamente ínfimo si lo comparamos con el costo en el mercado ya que el autómeta y sus módulos pertenecen al Departamento de Control Automático.

Otra ventaja que presenta es los botones e indicadores fueron obtenidos de equipos en desuso y los aditamentos que se emplearon en la instalación fueron construidos con recursos propios. Además, los indicadores que se usaron fueron diodos led lo que contribuye al ahorro de energía eléctrica. Pero la mayor importancia de esta práctica de laboratorio es que acerca 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.

Conclusiones parciales de capítulo

Para implementar el diseño de instalación del sistema de automatización integral del control de velocidad del motor de CD se confeccionó el modelo del sistema y se simuló en el Visual Object Net para luego realizar la traducción a lenguaje de autómeta según la norma estandarizada IEEE 1131. Además se realizó el diseño del panel de control para la instalación de la práctica de laboratorio.

Conclusiones

Para darle solución a la problemática del trabajo y poner en funcionamiento el sistema automatizado fue necesario:

- Realizar la simulación del modelo del sistema automatizado utilizando el Visual Object Net (VON).
- Abordar la metodología de traducción del modelo para lenguajes IEC1131 compatibles, garantizando la implementación y reinterpretación automática de cualquier aplicación sobre autómatas programables.
- Montar un circuito de acoplamiento entre el módulo de salida analógica que entrega una señal de 4-20mA y la maqueta ALECOP que recibe un rango de voltaje de 0-10V.
- Llevar a cabo la instalación del sistema integral tolerante a fallos del control de velocidad de un motor de CD para una práctica de laboratorio

Recomendaciones

Implementar otros algoritmos de control para el control de la velocidad en el motor de CD.

Diseñar un software con las herramientas de programación LabWindow o LabView para la comunicación del autómeta y una PC y el control remoto desde otra PC mediante la intranet e internet.

Implementar la seguridad y control de acceso de los usuarios a la visualización web.

Bibliografías

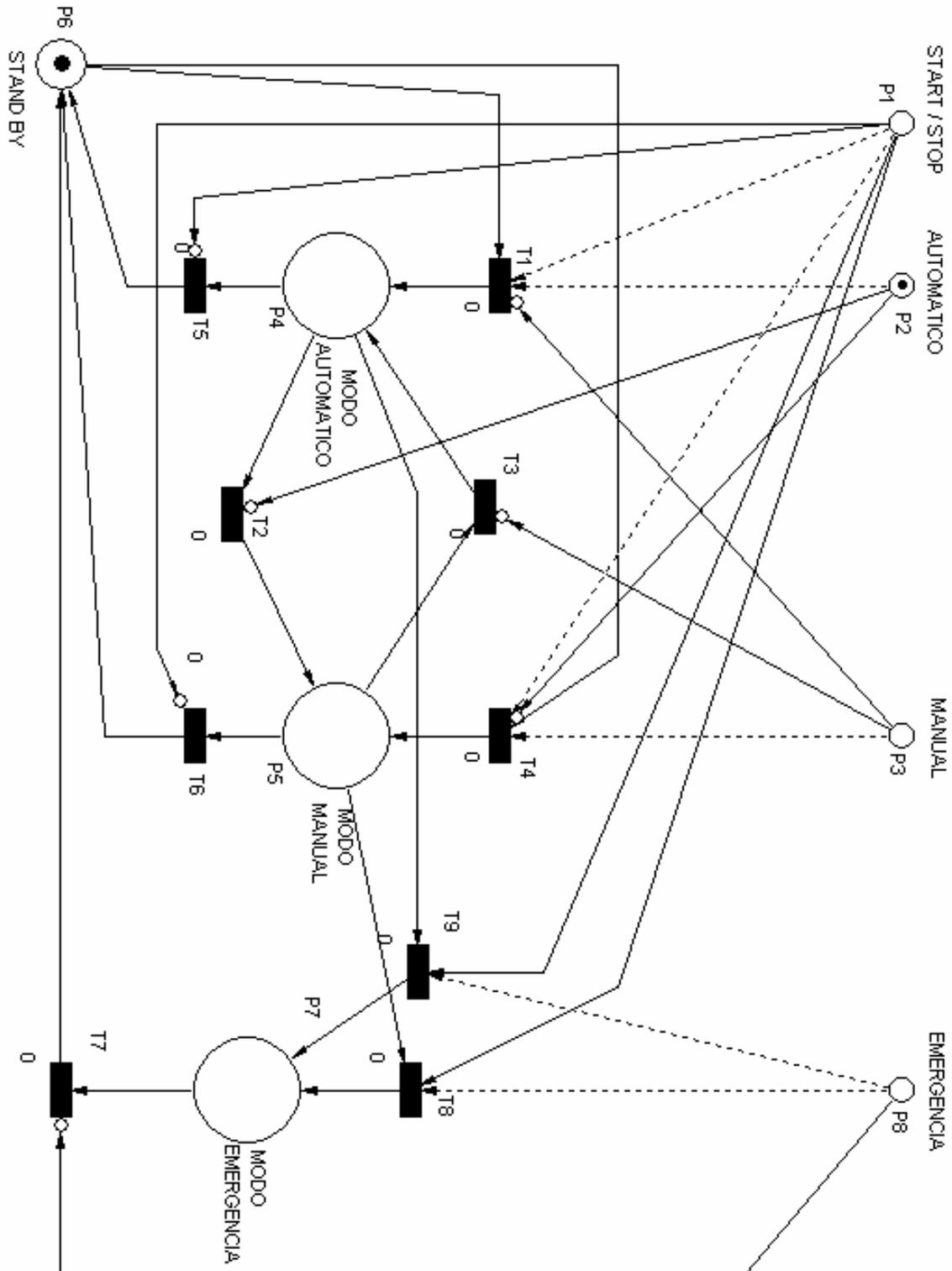
1. Arias Granda, Ksenia. "Desarrollo de Modelos de Automatizaciones en Redes Petri Ordinarias de Instalaciones de Laboratorio". Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniero Automático, Instituto Superior Politécnico "Julio Antonio Mella", Santiago de Cuba, junio 2002.
2. Automatización Industrial www.monografias.com
3. Benítez, I. " Conferencias de Sistemas de Automatización". <http://www.modle.canet.fie.uo.edu.cu/>.
4. Blanke M., Izadi-Zamanabadi, R, S.A. B~gh & Lunau, C.P.. "Control Eng. Practice", Vol. 5, No. 5 FAULT-TOLERANT CONTROL SYSTEMS - A HOLISTIC VIEW
5. Capiluppi, Marta & Paoli, Andrea. "Hierarchical design of distributed Fault Tolerant Control systems". Proceedings of the 13th Mediterranean Conference on Control and Automation Limassol, Cyprus, June 27-29, 2005
6. 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.
7. Garrido Rodríguez, Daniel Iván & Guillán Joa, Elizabeth. "APLICACIONES DE LA ELECTRÓNICA", 2007
8. GRUPO MASER. Autómatas programables, Curso Básico de Autómatas Programables. Tema 2: El PLC. 19 de octubre de 2004. http://www.grupo-maser.com/PAG_Cursos/Auto/auto2/auto2/PAGINA%20PRINCIPAL/index.htm/
9. <http://redmin.cl/?a=9265>
10. http://www.foster.pl/pdf/plc/manuals/GM6_Users_Manual.pdf
11. <http://www.hitech-america.com/plc-pws/lq-glofa-gm6.pdf>
12. <http://www.monografias.com/trabajos14/redesdepetri/redesdepetri.shtml?monosearch>
13. http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA%20PRINCIPAL/Automatizacion/Parte%20de%20mando/tecnologia_de_la_parte_de_mando.htm
14. http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA%20PRINCIPAL/Automatizacion/Parte%20de%20mando/tecnologia_de_la_parte_operativa.htm
15. Jiang, Bin & Fahmida N. Chowdhury. "Fault Estimation and Accommodation for Linear MIMO Discrete-Time Systems". IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY, VOL. 13, NO. 3, MAY 2005

Bibliografías

- 16.LG Industrial System. LG Programmable Logic Controller GLOFA GM Series Instructions & Programming. Manual del usuario.1999.
- 17.LG Industrial System. LG Programmable Logic Controller GMWIN for Windows [GLOFA GM Series]. Manual del usuario.1999.
18. Llosas Albuerne. Yolanda. "SISTEMAS DE DETECCIÓN DE FALLOS". MONOGRAFÍA CURSO DE POSTGRADO 2004.
- 19.Ogata, Katsuhiko. "Ingeniería de Control Moderna". Tomo I y II. Edición Revolucionaria, 1997
- 20.Puig, Vicenç, Quevedo, Joseba, Escobet, Teresa, Morcego, Bernardo, Ocampo, Carlos. "CONTROL TOLERANTE A FALLOS (PARTE II): MECANISMOS DE TOLERANCIA Y SISTEMA SUPERVISOR".Revista Iberoamericana de automática e informática industrial. Vol. 1. Numero 2. Julio 2004.
- 21.R.H. Bishop, "The Mechatronics Handbook", New York: CRC Press, 2002.

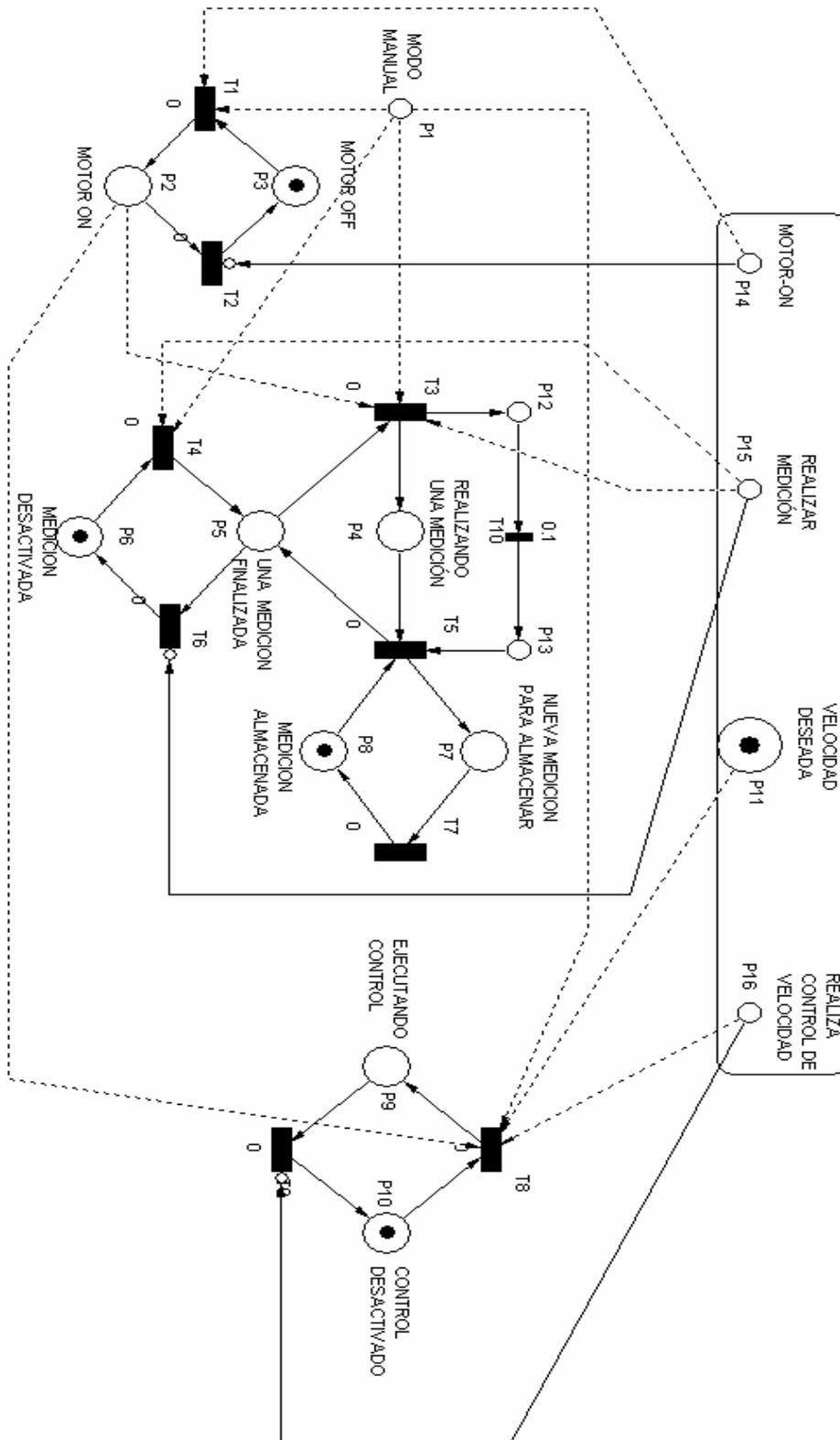
Anexos

Anexo 1. Simulación del panel de control



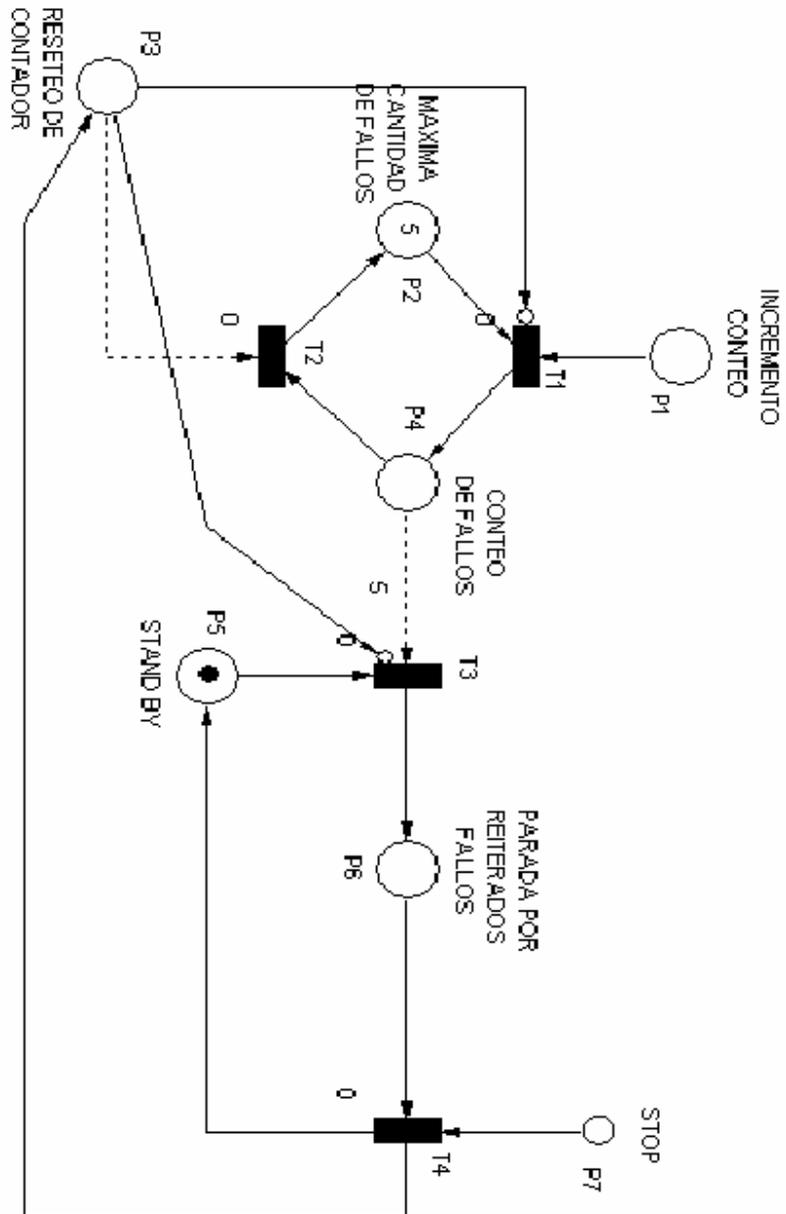
Anexos

Anexo 2. Simulación del proceso en modo manual paso a paso



Anexos

Anexo 4. Simulación del conteo de fallos del sistema



Anexo 5. Especificaciones generales de los módulos de CPU de la serie Glofa-GM

■ Features

- High performance features with compact size
- High-speed processing using dedicated CPU
- Designed by international standard language (IEC61131-3): IL, LD, SFC
- Max. I/O points: 384 points



■ Specifications

GM6		GM6-CPUA	GM6-CPUB	GM6-CPUC	Remark
Operation method		Cyclic execution of stored program, Time-driven operation, Internal task operation			
I/O control method		Scan synchronized batch processing method (Refresh method)			
Program language		IL (Instruction list) / LD (Ladder diagram) / SFC (Sequential function chart)			
Number of Instructions	Operator	LD: 13, IL: 20			
	Standard function	194			
	Standard function block	12			
	Special function block	Each special module has its own special function block			
Processing speed	Operator	0.5 μs/Instruction			
	Standard function	0.5 μs/step			
	Standard function block				
Programming memory capacity		68K			Built-in flash memory (128K)
I/O points	With 32-pt modules	192 points			
	With 64-pt modules	384 points			
	With remote I/Os	512 points			
Data memory	Direct variable area (DVA)	2~8K			Setting in GMWIN
	Symbolic variable area (SVA)	30K - Direct variable area			
Timer		No limitation. Time range: 0.001~4294967.295 sec (1193 hours)			20 bytes per 1 timer in SVA
Counter		No limitation. Count range: -32,768~32,767			8 bytes per 1 counter in SVA
Operation mode		RUN, STOP, PAUSE, DEBUG			
Data retention at power failure		Set to 'Retain' at data declaration			
Number of program blocks		100			
Program type	Scan	100 - (Number of program blocks in task)			
	Task	Time-driven	8		8 in total
		External Interrupt	8		
		Internal	8		
Initialization	1 (_INIT)				
Self-diagnostic functions		Watchdog timer, Memory error, I/O error, Battery error, Power supply error			
Restart mode		Cold, Warm			
Base type		4/6/8/12 slot *1)			Expansion is not available
Built-in functions		• Cnet (RS-232C) *2)	• PID control • Cnet (RS-422/485) • RTC function	• PID control • Cnet (RS-232C) *2) • HSC (50kHz) • RTC function	
Internal current consumption		170mA	210mA	170mA	

*1) In case of GM6-B12M, the module installed in slot number 8 or later is designated as base number 1 and slot number 0 or later; the suitable power module for GM6-B12M is GM6-PAFC, which can't support an analogue module. For analog modules or TC module, you are supposed to use GM6-PAFB or GM6-PDFB considering internal current consumption of each module.

Communication modules are not to be installed in after slot number 7.

*2) Built-in RS-232C port: 4 (Rx), 7 (Tx), 5 (SG)

Anexo 6. Especificaciones de módulo convertidor analógico a digital G6F-AD2A

■ Features

- 4-/8-channel analog input per module
- Voltage/Current selection by dip switch/terminal
- Digital range selection (-8,192~8,191 or -192~16,191): G4F-AD2A
- High resolution (1/16,000, 1/4,000)



■ Specifications

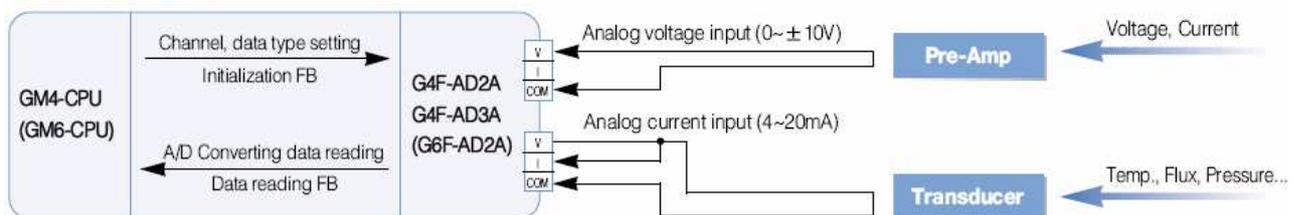
Item		G4F-AD2A *1)	G4F-AD3A	G6F-AD2A *2)
Analog input	Voltage	DC -5~+5 DC -10~+10V	DC 1~5V DC 0~10V	DC 1~5V DC 0~10V, -10~+10V
	Current *3)	DC -20~+20mA	DC 4~20mA	DC 4~20mA
	Voltage/Current select	Input terminal connection	Input selection switch	Input terminal connection
	Voltage range select	Input range selection switch	Program	Input range selection switch
Digital output		0~16,000 -8,000~8,000	0~4,000	0~4,000 -2,000~2,000
	Resolution			
Resolution	DC 1~5V	-	1.0mV (1/4,000)	1.0mV (1/4,000)
	DC 0~10V	-	2.5mV (1/4,000)	2.5mV (1/4,000)
	DC -5~5V	0.625mV (1/16,000)	-	-
	DC -10~10V	1.25mV (1/16,000)	-	5mV (1/4,000)
	DC -20~20mA	2.5μA (1/16,000)	-	-
	DC 4~20mA	-	4μA (1/4,000)	4μA (1/4000)
Accuracy		±0.5% (Full scale) ±0.3% at 25°C	±0.5% (Full scale) ±0.3% at 25°C	±0.5% (Full scale) ±0.3% at 25°C
Max. conversion speed		5ms/Ch	5ms/Ch	5ms/Ch
Max. absolute output	Voltage		±12V	
	Current		±25mA	
Analog input point		4 Channels	8 Channels	4 Channels
Offset/gain		Available	Not available	
Insulation method		Between input terminal and PLC power supply: Photocoupler, Between channels: No insulation		
Current consumption		400mA (5V)	500mA (5V)	40mA (+5V), 50mA (+15V), 20mA (-15V)

*1) You are able to adjust offset and gain value in G4F-AD2A so that you can adjust input range.

*2) If you use analog modules in GM6, you are supposed to use GM6-PAFB or GM6-PDFB for power module.

*3) For current input, connect V and I terminal.

■ Configuration



Anexo 7. Especificaciones de módulo convertidor digital a analógico

G6F-DA2I

■ Features

- 2-/4-/8-channel analog output per module
- Analog voltage/current output when CPU stops (set in FB)
 - medium, previous, max., min. value: G4F-DA1A
- Various modules according to output types



■ Specifications

Item		G4F-DA1A *1)	G4F-DA2V	G4F-DA3V	G4F-DA2I	G4F-DA3I *2)	G6F-DA2V *3)	G6F-DA2I *3)
Digital input		-192~16,191 -8,092~8,191	-48~4047					
Analog output	Voltage	DC -10~10V	DC -10~10V		-	-	DC -10~10V	-
	Current	DC 4~20mA	-	-	DC 4~20mA		-	DC 4~20mA
	V/C selection	Output terminal	-	-	-	-	-	-
Resolution	DC -10V~10V	1.25mA (1/16000)	5mV (1/4000)		-	-	5mV (1/4000)	-
	DC 4~20mA	2.5μA (1/6000)	-	-	4μA (1/4000)		-	4μA (1/4000)
Accuracy		±0.3% (Full scale)	±0.5% (Full scale)					
Max. conversion speed		3ms/module	10ms/module	15ms/module	10ms/module	15ms/module	10ms/module	
Max. absolute output	Voltage	DC 15V			-	-	DC 15V	-
	Current	DC 24mA	-	-	DC 24mA		-	DC 24mA
Analog output point		2 Channels	4 Channels	8 Channels	4 Channels	8 Channels	4 Channels	
Insulation		Between input terminal and PLC power supply: Photocoupler, Between channels: No insulation						
External power supply	Voltage	-	-	-	-	DC 21.6~26.4V	-	-
	Current	-	-	-	-	230mA	-	-
Current consumption		450mA (5V)	400mA (5V)	700mA (5V)	680mA (5V)	70mA	5V (40mA) 5V (80mA) -15V (60mA)	5V (40mA) 15V (120mA) -15V (25mA)

*1) You are able to adjust offset and gain value in G4F-DA1A so that you can adjust output range.

*2) If you use G4F-DA3I, you are supposed to supply external DC 24V for its operation.

*3) If you use analog modules in GM6, you are supposed to use GM6-PAFB or GM6-PDFB for power module.

Anexos

Anexo 8. Módulo de entrada digital

Input type		DC Input		
Part number		G6I-D21A	G6I-D22A	G6I-D22B
Input point		8 points	16 points	
Rated input voltage		DC12/24V	DC12/24V	DC24V
Rated input current		3/7mA	3/7mA	7mA
On voltage/current		DC9.5V or more/ 3.5mA or more	DC9.5V or more/ 3.5mA or more	DC15V or more/ 4.3mA or more
Off voltage/current		DC5V or less/ 1.5mA or less	DC5V or less/ 1.5mA or less	DC5V or less/ 1.7mA or less
Response time	Off→On	5ms or less	5ms or less	5ms or less
	On→Off	5ms or less	5ms or less	5ms or less
Common		8 points/COM		
Operating indicator		LED		
Insulation method		Photocoupler insulation		
Current consumption (DC5V)		40mA	70mA	

Anexos

Anexo 9. Módulo de salida digital

Output module type		Relay output		
Part number		G6Q-RY1A	G6Q-RY2A	G6Q-RY2B
Output point		8 points	16 points	
Rated load voltage		DC12/24V, AC110/220V (50/60Hz)		
Off leakage current				
On voltage drop		-		
Rated load current	1 Point	2A		
	1 Common	-	5A	
Response time	Off → On	10ms or less		
	On → Off	12ms or less		
Common		1 point/COM	8 points/COM	
Operating indicator				
Insulation method		Relay		
Surge absorber		-	Varistor	
Current consumption (DC5V)		210mA	400mA	
External power supply		-		

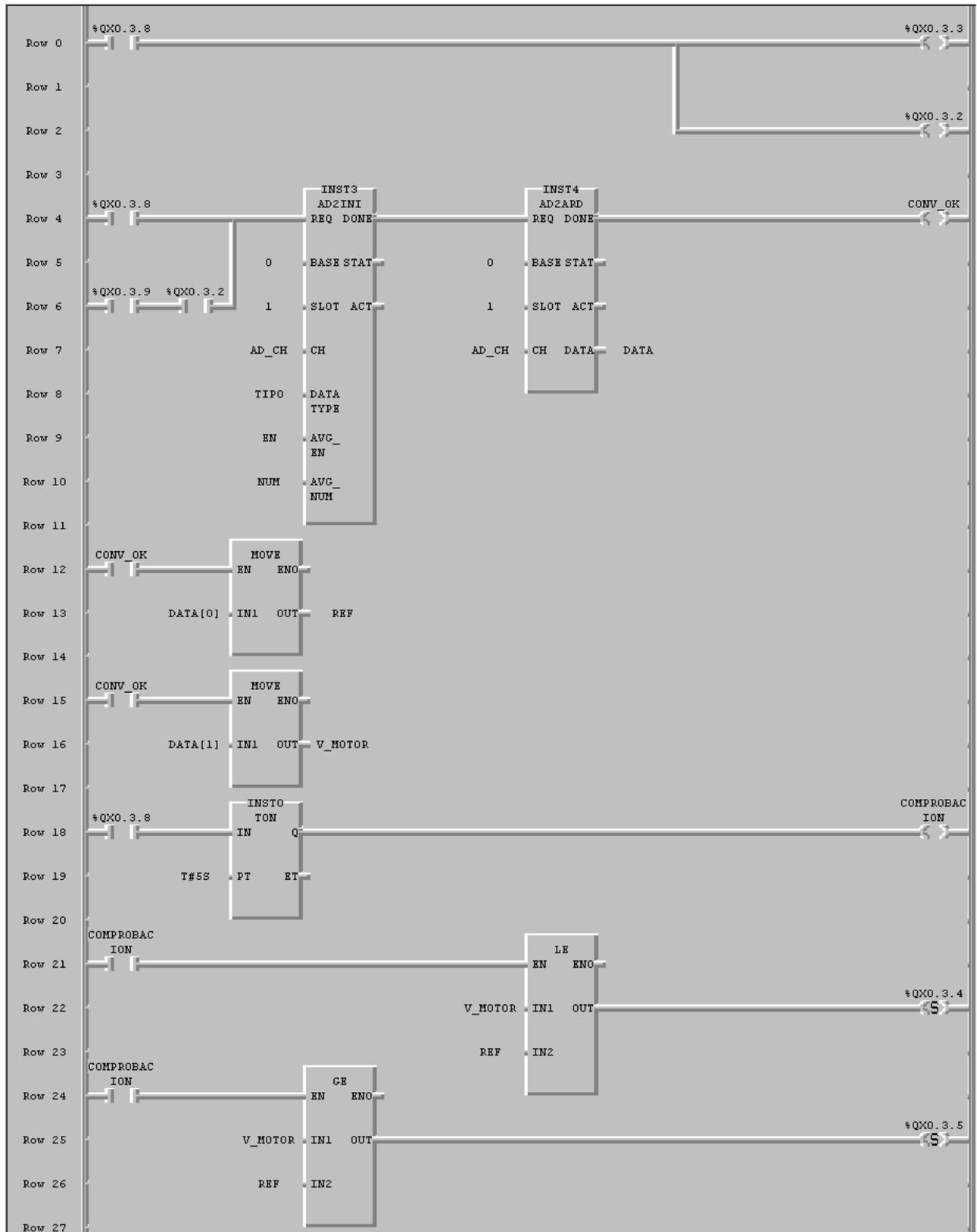
Anexos

Anexo 10. Programa principal



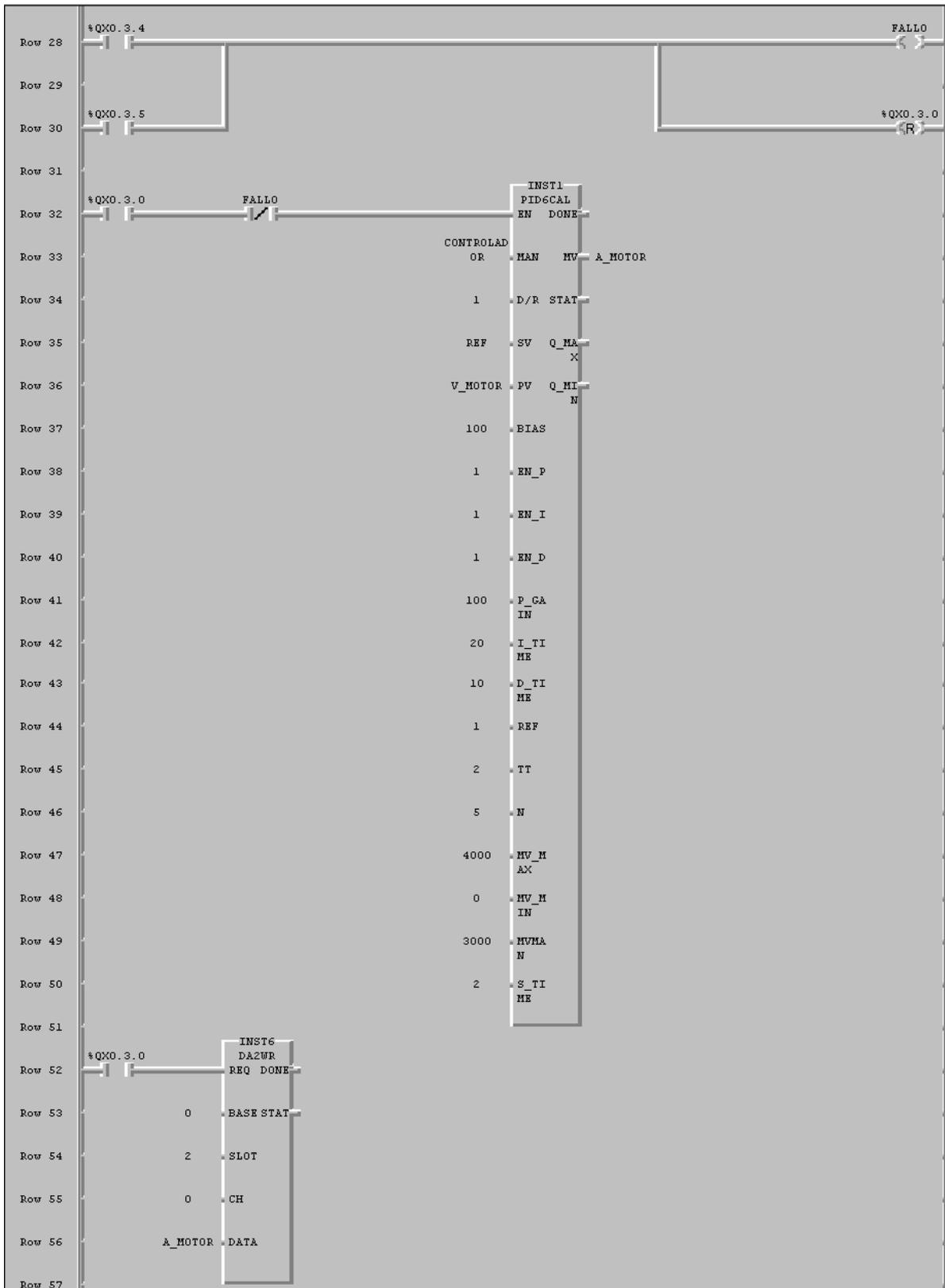
Anexos

Anexo 11. Modo automático



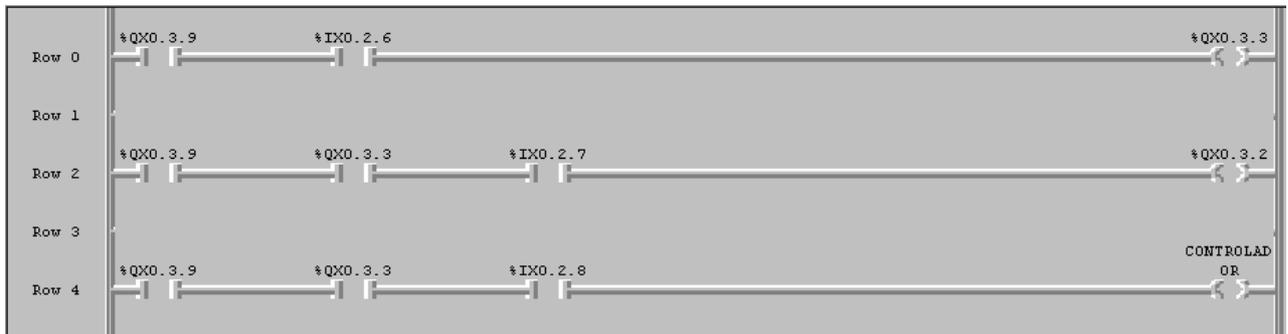
Anexos

Anexo 12. Modo automático (continuación)



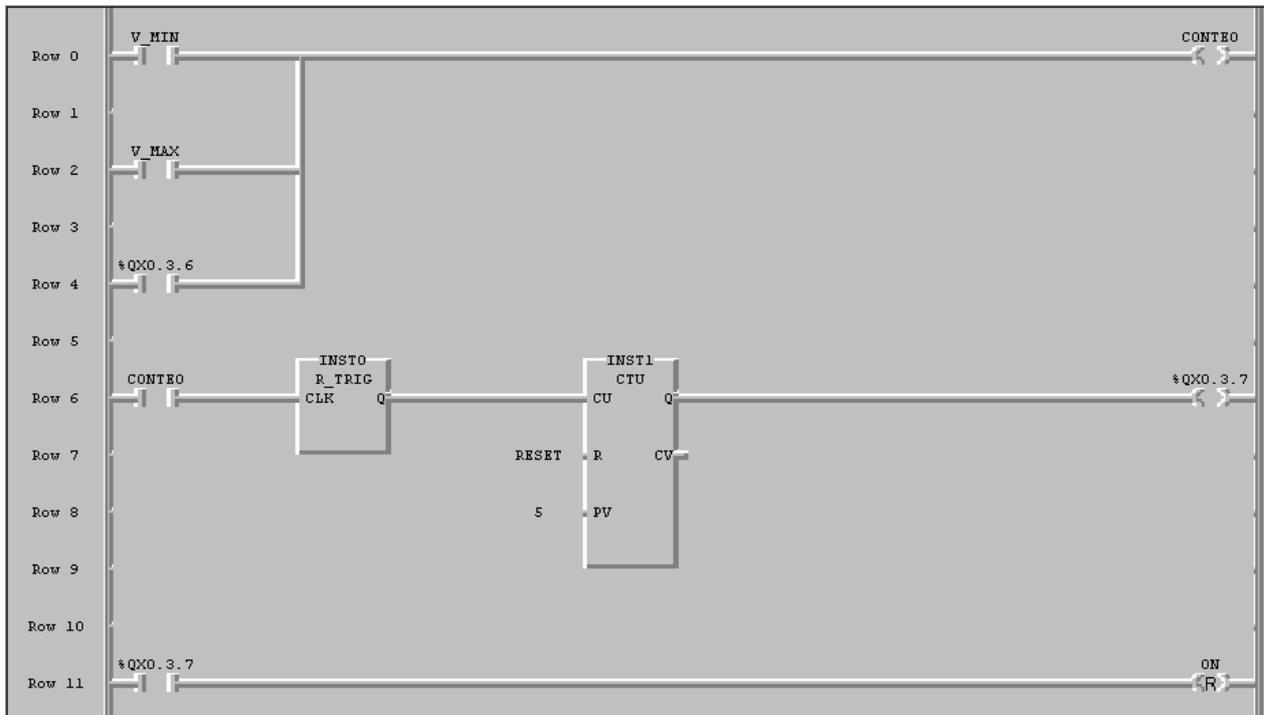
Anexos

Anexo 13. Modo manual



Anexos

Anexo 14. Conteo de fallos



Anexo 15. Sistema básico

Example of System configuration	Slot number	0	1	2	3	4	5	6	7
	POWER	0.0.0 ~ 0.0.15	0.1.0 ~ 0.1.15	0.2.0 ~ 0.2.15	0.3.0 ~ 0.3.15	0.4.0 ~ 0.4.15	0.5.0 ~ 0.5.15	0.6.0 ~ 0.6.15	0.7.0 ~ 0.7.15
Base Board 									
(The above figure shows the configuration where 16-input/output modules are loaded.)									
Maximum number of Input/Output modules		8 modules							
Maximum number of Input/Output points		<ul style="list-style-type: none"> • 16-point module mounted: 128 points • 32-point module mounted: 256 points 							
Configuration units	CPU module	GM6-CPUA, GM6-CPUB, GM6-CPUC							
	Power Supply module	GM6-PAFA, GM6-PAFB, GM6-PD3A, GM6-PDFA							
	Basic Base Unit	GM6-B04/06/08M							
	I/O module	G6I- G6Q-							
	Special module	G6F-							
	Communication module	G6L-							
I/O number allocation		<p>64 points are allocated to each slot in a base board whatever it is empty or not. There's no limitation for the location and the number of special modules on base board. Special modules do not have fixed I/O numbers while a fixed I/O number is allocated to a digital I/O module.</p> <p>A dedicated function block controls a special module and memory is allocated automatically.</p>							
Note for power supply module selection		<ul style="list-style-type: none"> • To use A/D, D/A conversion module, be sure to select GM6-PAFB power supply module that supplies ±15VDC instead of 24VDC. ±15VDC power is need for operation of internal analog circuit of A/D and D/A conversion modules. 							

Anexos

Anexo 16. Listado de instrumentos

Materiales	Tipo	Cantidad
Controlador	PLC LG GLOFA GM6	1
Actuador	Maqueta ALECOP	1
Planta o proceso	Motor de CD	1
Modulo de alimentación	G6M-PAFB	1
Modulo de entradas digitales	G6I-D21A	2
Modulo de salidas digitales	G6Q-RY1A	1
Modulo de entradas analógicas	G6I-AD2A	1
Modulo de salidas analógicas	G6Q-DA2I	1
Sensor	Taco-generador	1
Interruptores	3 posiciones	6
	Push-bottom	1
Variador de voltaje	Potenciómetro	1
Indicadores	Lumínicos (Led)	8

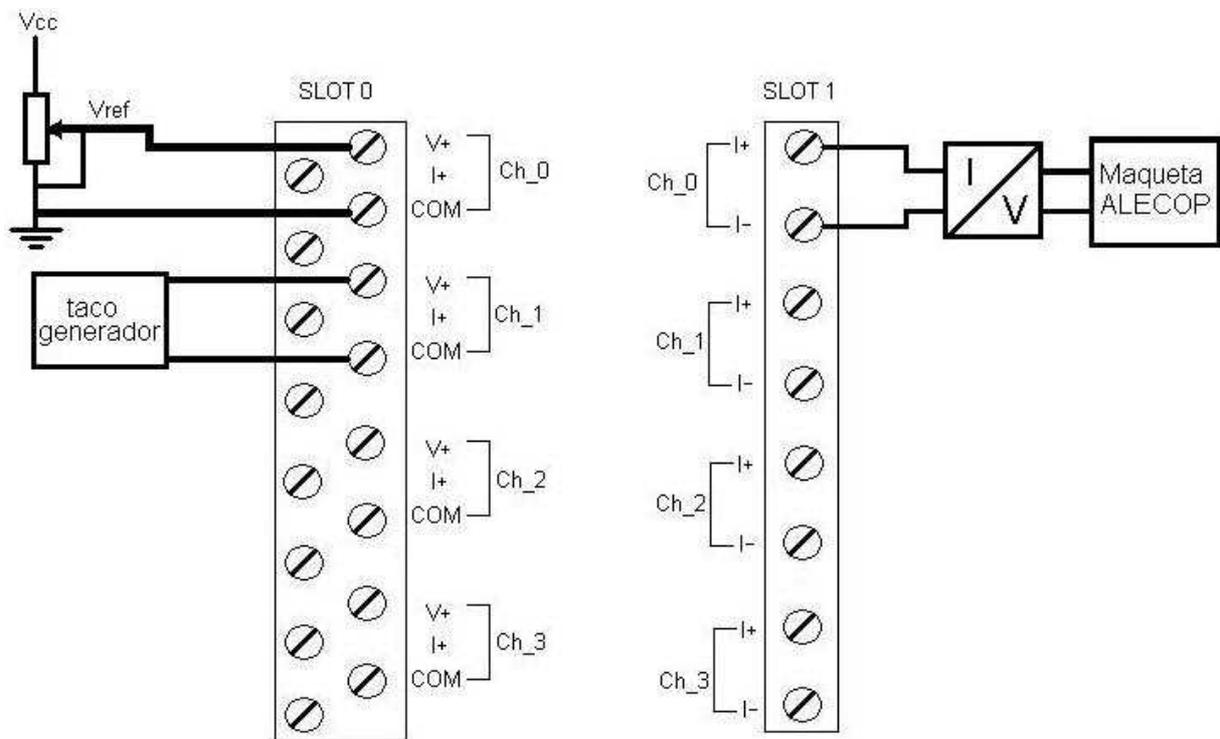
Anexos

Anexo 17. Conexiones de los módulos del autómata

Slot	Módulo	Contacto	Variable
0	G6F-AD2A	Canal 0	Referencia
		Canal 1	Taco-generador
1	G6F-DA2I	Canal 0	Convertidor de corriente a voltaje
2	G6I-D21A	0	Start
		1	Stop
		2	Automático
		3	Manual
		4	Parada de emergencia
3	G6I-D21A	0	Fin de fallo
		1	Encender motor
		2	Medir
		3	Control
4	G6Q-RY1A	0	Encendido (On)
		1	Stand by
		2	Taco-generador
		3	Motor
		4	Velocidad mínima
		5	Velocidad máxima
		6	Emergencia
		7	Conteo máximo

Anexos

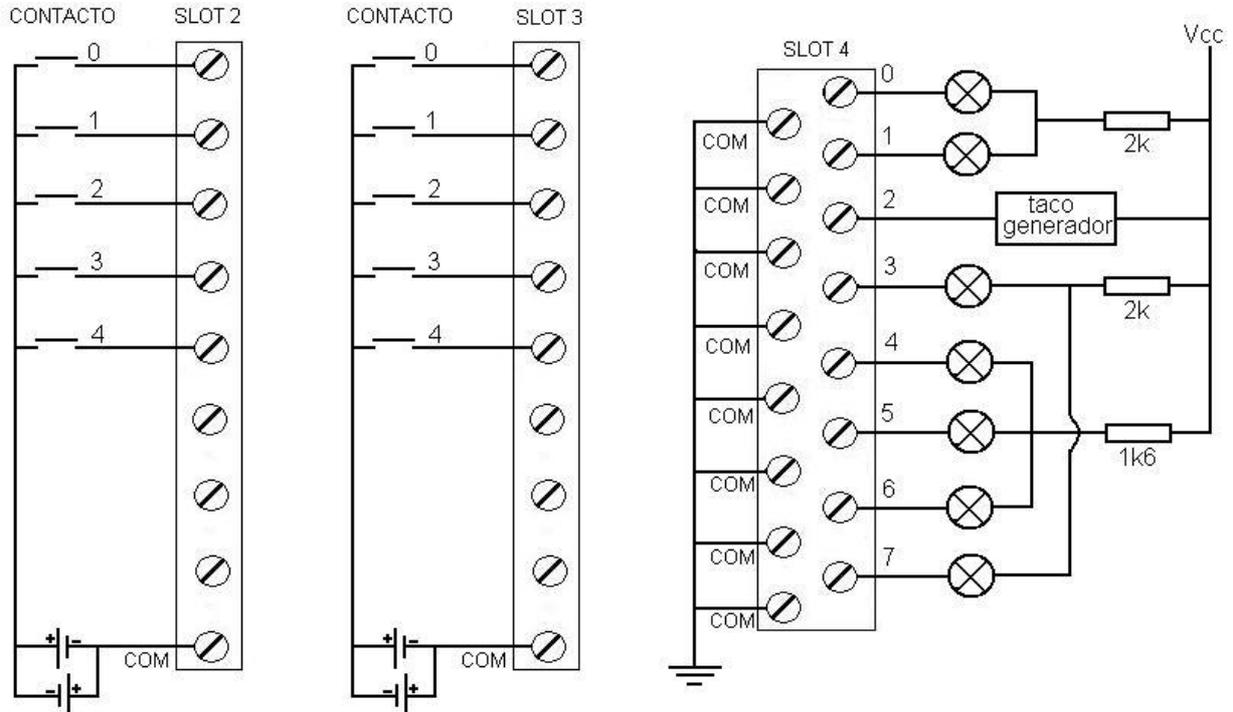
Anexo 18. Esquema de conexiones del autómata.



Canales	SLOT 0	SLOT 1
0	Referencia	Convertidor de corriente a voltaje
1	Taco-generador	
2		
3		

Anexos

Esquema de conexiones del autómata (continuación).



Entradas/salidas	SLOT 2	SLOT 3	SLOT 4
0	Start	Fin de fallo	On (encendido)
1	Stop	Encender motor	Stand by
2	Automático	Medir	Taco-generador
3	Manual	Controlar	Motor
4	Parada de emergencia		Velocidad mínima
5			Velocidad máxima
6			Emergencia
7			Conteo máximo

Anexos

Anexo 19. Panel de mando



Anexo 20. Criterio de Experto

El informe cuenta con los aspectos necesarios para la implementación, instalación y puesta en marcha del sistema de control de velocidad de un motor de CD, además sirve como guía y base en la optimización de otros proyectos y la metodología puede ser generalizable a otro tipo de sistemas que se deseen controlar utilizando la modelación en Redes de Petri.

Esta investigación tiene gran importancia para el Departamento de Control Automático ya que aporta nuevas herramientas de diseño en la utilización de las Redes de Petri, el mismo facilita la programación de los PLC en los sistemas de control integral, y su instalación cuenta con un panel de mando para la interacción con el autómatas, lo cual potencia los estudios de pre-grado facilitando a los estudiantes los conocimientos necesarios de lo que es el control de un proceso industrial moderno.

Este sistema garantiza la eficiencia, la fiabilidad y la seguridad del proceso siendo capaz de demostrar su robustez ante perturbaciones propias del sistema debido a su previo modelado utilizando la metodología en Redes Petri GENESys.

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