UNIVERSIDAD DE ORIENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
CARRERA AUTOMÁTICA

Tesis en opción al título de Ingeniero en Automática.

Titulo:

Modelado y programación eficiente del Sistema de Automatización en la Fábrica de Cemento José Mercerón Allen.

Autor: Alfredo Linares Rejo.

Tutores: Dr. Israel Benítez Pina.
Ing. Santiago Sotomayor.

Curso: 2008-2009
Año del 50 Aniversario del triunfo de la Revolución.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

CARRERA AUTOMÁTICA

Tesis en opción al título de Ingeniero en Automática.

Titulo:
Modelado y programación eficiente del Sistema de Automatización en la Fábrica de Cemento José Mercerón Allen.

Autor: Alfredo Linares Rejo.

Tutores: Dr. Israel Benítez Pina.
Ing. Santiago Sotomayor.

Curso: 2008-2009.

Año del 50 Aniversario del triunfo de la Revolución.

Santiago de Cuba, junio 2009.

Dedicatoria.

Dedico este trabajo de diploma a mi madre, padre y hermana que han sido un constante apoyo toda la vida.

A los amigos que siempre me han apoyado. Y a los profesores de mi carrera que influyeron en mi formación.

¨Oye Hijo mío la instrucción de tu Padre,
Y no desprecies la dirección de tu madre¨

Agradecimientos.

Expreso mi agradecimiento a:

A la Universidad de Oriente, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Departamento de Automática por los años de mi carrera y la enseñanza que brindan sus profesores.

A mis Tutores Israel Benítez y Santiago Sotomayor, y a todos los que me ayudaron en mi desarrollo. A mi familia.

Resumen.

En nuestro trabajo hemos realizado una propuesta para la automatización del molino 9 de clinker en la fábrica de cemento José Mercerón Allen. A causa de los problemas que se enfrentan allí que conllevan a una baja producción en la empresa, se desarrolló una metodología para lograr la eficiencia frente a fallos en valores de presión, temperaturas u otros. Se realizaron modelos en Redes de Petri del proceso completo y se hizo la traducción de dichos modelos a programas en lenguajes de autómata. En nuestro caso se utiliza un PLC S7 300 de Siemens con un panel operador OP 170 B para la supervisión de los ajustes en las mediciones analógicas involucradas. Al final se comprobó como con esta técnica mejoró la eficiencia de la producción en la fábrica.

Abstract.

In this work we made a proposal to the automation of the grinder of clinker number nine in the cement factory Jose Mercerón Allen, Santiago de Cuba. Because the problems in this place avoid a required operating efficiency. We developed a method to obtain efficiency against failures in pressure values, temperature values and others. With this method, we have developed models in Petri Nets of the complete process and we translated those models to language automaton programs. In our case with PLC S7 300 from Siemens and OP 170 B operate panel to the supervision of fittings in analogue measurements inside the process. Finally with this technique the efficiency improve the production in the factory.

Introducción. 9
Capitulo 1: Caracterización y tendencias actuales de la Automatización. Fundamentos teóricos del modelado en Redes de Petri, programación en lenguaje de autómatas y sistemas tolerantes a fallo. 12
1.1 Antecedentes de la producción del cemento. 12
1.1.2 Automatización. 13
1.1.3 Autómata programable. 13
1.2 Estado del arte internacional en la automatización industrial. 13
1.2.1 Conociendo la aplicación industrial moderna. 16
1.2.2 Haciendo un PLC más como una PC. 17
1.2.3 Aplicaciones de los PLC. 18
1.3 Fundamentos teóricos de los sistemas industriales modelados en Redes de Petri y tolerantes a fallos. 20
1.3.1 Etapas y herramientas de Diseño de Automatización Industrial. 20
1.3.2 Redes de Petri (PN). 21
1.3.3 Modelado de Procesos para simulación. 23
1.3.4 Introducción general a los Sistemas Automatizados Tolerantes a fallos. 23
1.3.5 Teoría de modelado de sistemas de automatización utilizando Redes de Petri extendidas GHENeSys. 23
1.3.6 Metodología de modelado con Redes de Petri Jerárquicas Extendidas GHENeSys. 24
1.3.7 Teoría de la programación en los sistemas automatizados. 25
Capitulo 2: Metodología para el diseño del modelo en Redes de Petri, y programa en lenguaje de autómatas para la automatización eficiente del molino 9 de clínker con PLC S7-300 de SIEMENS aplicando métodos de tolerancia a fallos. 26
2.1 Descripción de la Metodología. 26
2.1.2 Propuesta de la Metodología. 26
2.1.3 Desarrollo de los modelos en Redes de Petri clásicas extendidas. 27
2.2 Relación de los modelos realizados con las Propiedades Funcionales de las Redes de Petri. 29
2.2.1. Alcanzabilidad. 29
2.2.2 Limitación. 30
2.2.3 Vivacidad. 31
2.2.4 Reversibilidad. 31
2.2.5 Persistencia. 31
2.3 Aplicación de métodos de tolerancia a fallos. 31
2.4 Traducción de los modelos en Redes de Petri a lenguajes de autómatas para programa IEC 1131 compatible con STEP7. 33
2.4.1 Modulo de Entradas Digitales 24 V DC utilizado. Características. 36
2.4.2 Modulo de Salidas Digitales 24 V DC utilizado. Características. 36
2.4.3 Modulo de Salidas Digitales por relee utilizado. Características. 37
2.4.4 Modulo de entradas analógicas RTD utilizado. Características. 37
2.4.5 Modulo de entradas analógicas 4-20 mA utilizado. Características. 37
2.4.6 Modulo de entradas analógicas para temperaturas motor principal Molino 9 utilizado. Características. 37
2.4.7 CPU usada 315-2DP. 38
2.4.8 Esquema General de una instalación con PLC Siemens. 38

2.5. Descripción del Panel de Operador de Autómata SIEMENS Molino 9 de Cemento. 38
2.6 Valoración Ambiental. 42
2.7 Valoración Técnico Económica. 44
2.8 Valoración por criterio de expertos. 45
Conclusiones. 46
Recomendaciones. 47
Bibliografía. 48
Anexos. 49

Introducción.

El precipitado desarrollo de la industria y la técnica moderna se debe principalmente a la automatización de procesos industriales, lo que ha permitido el incremento de la productividad del trabajo y una mejor utilización de los recursos materiales y humanos. La automatización como una disciplina de la ingeniería es más amplia que un mero sistema de control, abarca la instrumentación industrial, que incluye los sensores y transmisores de campo, los sistemas de control y supervisión, los sistema de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de plantas o procesos industriales. Para mediados del siglo 20, la automatización había existido por muchos años en una escala pequeña, utilizando mecanismos simples para automatizar tareas sencillas de manufactura. Sin embargo el concepto solamente llego a ser realmente práctico con la adición (y evolución) de las computadoras digitales, cuya flexibilidad permitió manejar cualquier clase de tarea. Las computadoras especializadas, referidas como Controlador lógico programable (PLC), son utilizadas frecuentemente para sincronizar el flujo de entradas de sensores y eventos con el flujo de salidas a los actuadores y eventos. Esto conduce para controlar acciones precisas que permitan un control estrecho de cualquier proceso industrial. Las interfaces Hombre-Máquina (HMI) o interfaces Hombre-Computadora (CHI), formalmente conocidas como interfaces Hombre-Máquina, son comúnmente empleadas para comunicarse con los PLC y otras computadoras, para labores tales como introducir y monitorear temperaturas o presiones para controles automáticos o respuesta a mensajes de alarma. Nuestro país no ha omitido este avance tecnológico y hoy se cuenta con muchos procesos automatizados en distintas industrias. Esto sucede tanto en las aplicaciones cotidianas de la producción como en la instrucción. Hoy en día, la tecnología de automatización está casi siempre ligada a las tecnologías de accionamiento, control y a la informática. Debido al acelerado desarrollo de la tecnología de microcontroladores y ordenadores, la tecnología de automatización se ha convertido en el área más innovadora y con mayor vida de la electrotecnia. Por otra parte, por medio de la norma IEC1131-3, de validez mundial, se eliminó la discrepancia en los productos de software, cuyas particularidades dependían hasta ahora del fabricante. La mayoría de los sistemas de automatización ofrecen los mismos tipos básicos de operaciones. No obstante, existen pequeñas diferencias en cuanto al aspecto, al funcionamiento, etc. de los productos de los distintos fabricantes. Durante los últimos años, la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI) o International Electrotechnical Commission (IEC) ha desarrollado una norma global dedicada a numerosos aspectos de la programación de autómatas programables (denominados “sistemas de automatización” en la terminología SIMATIC). El objetivo de esta norma es que los diferentes fabricantes de autómatas programables ofrezcan operaciones similares tanto en su aspecto como en su funcionamiento.

En el desarrollo socioeconómico del país, cobra auge la industria de materiales de la construcción y en especial la del cemento, por la gran demanda nacional de fabricar viviendas, industrias, escuelas, poblados campesinos, presas, etc., para satisfacer las necesidades materiales de la población.

La industria del cemento en Cuba, como consecuencia del proceso revolucionario y el desarrollo industrial que el mismo conlleva, ha experimentado, en su capacidad productiva, una expansión considerable en los últimos años. La misma necesita grandes cantidades de energía en todas sus formas, siendo esta el principal componente del costo en la fabricación del cemento.
La planta de cemento es una planta que tiene más de 30 año de explotación con Equipos tecnológicos obsoletos y con una deficiente automatización, instrumentación, PLC FESTO de una generación que ya no se fábrica, sin piezas de respuesta lo que hace que los tiempos de paradas por avería se prolonguen, los niveles de producción y eficiencias sean bajos y se eleve el consumo de energía. Resulta difícil desarrollar una producción eficiente debido a todos estos inconvenientes, llegando a influir de manera negativa en la economía del país. También estando en desacuerdo con las necesidades crecientes que tiene la nación en un mayor desarrollo económico pues en estos momentos se están automatizando todos los procesos industriales en los centrales azucareros y otras industrias.
Por ser el Molino de Cemento la última fase de elaboración del producto, resulta crítico que opere siempre en óptimas condiciones. Aquí no pueden darse el lujo de presentar paradas de producción, pues es en esta parte donde se muele el clinker que llega del horno junto con otros materiales, como el yeso y la caliza, los cuales son molidos para su posterior almacenamiento en los silos y empaque. Más que una necesidad, la tecnología se ha convertido en una filosofía de trabajo en la fabricación de cemento. El grado de automatización alcanzado en este sector es muy alto internacionalmente, y los dispositivos electrónicos han construido un sólido reinado sobre los equipos mecánicos a todo lo largo del proceso de producción, siendo la mas utilizada la tecnología Siemens.

Con lo antes planteado llegamos a las conclusiones siguientes:

Problema: La necesidad de mejorar la eficiencia del proceso de producción de la Planta de Molinos de Clinker en Santiago de Cuba.

Objeto: Automatización eficiente del molino 9 de clinker.

Objetivo: Diseño del modelo en Redes de Petri y programa en lenguaje de autómatas para la automatización eficiente del Molino de clinker con PLC S7-300 de SIEMENS.

Campo de acción: Modelado y programación simulada de la Automatización del molino de clinker.

Hipótesis: Si se logra el diseño del modelo en Redes de Petri y programa en lenguaje de autómatas para lograr el sistema automatizado del Molino 9 de la Fabrica de Cemento José Mercerón de Santiago de Cuba con PLC SIMATIC S7-300 de Siemens, entonces se resuelve el problema de los bajos niveles de producción, eficiencia y alto consumo de los portadores energéticos en los molinos de cemento.

Las Tareas para dar cumplimiento al objetivo de este trabajo se relacionan a continuación:

1. Estudio del sistema de automatización actual de los molinos de cemento y el estado del arte internacional en este tipo de automatización.
2. Estudio de teoría de modelado y programación de sistemas de automatización y las herramientas mas efectivas a nivel internacional.
3. Desarrollo del modelado en VON del sistema de control del molino de la fábrica de Cemento. Aplicación de métodos de tolerancia a fallos.
4. Desarrollo del proyecto simulado a partir de la traducción del modelo obtenido (en el punto 3) para programa IEC 1131 compatible con STEP7.

5. Validación de resultados a escala de simulación.

Métodos y técnicas empleadas en la investigación:

- Observación.
- Técnicas y métodos empíricos: entrevistas.
- Revisión de fuentes documentales.
- Valoración de la propuesta por expertos.

Aporte practico.

El aporte de esta investigación radica en elaborar un sistema automatizado que resuelva el problema de la baja eficiencia en el proceso de producción de la Planta de Molinos de Cemento.

La investigación que realizamos se encuentra dividida de la siguiente manera:

Primero tenemos una introducción general en la que se expone las principales motivaciones que nos llevaron a la realización de esta investigación y en la cual se encuentra además la fundamentación del diseño metodológico de la misma. Dos Capítulos que constan de introducciones y conclusiones parciales para la mejor comprensión de los objetivos de los mismos, estos a su vez, los capítulos, se encuentran organizados por epígrafes, de manera que resulta mas fácil su revisión por parte del lector. En el capitulo 1 se da una caracterización del marco teórico en que nos basamos, además de una estado del arte internacional en la automatización industrial enfocado a nuestros objetivos. Posteriormente en el capitulo 2 se plantea una metodología para diseñar los modelo en Redes de Petri y traducirlos a lenguaje de autómatas, se aplican propiedades funcionales de las PN y se brinda información sobre los módulos utilizados del PLC y las características del Panel Operador. El mismo incluye además un análisis económico y ambiental de nuestra propuesta metodológica, y su valoración por criterio de expertos que viene a reafirmar la importancia, desde ambos puntos de vista, de la realización de trabajos como el que esta propuesta presenta.

Para finalizar la investigación dispone también de su Conclusión, Recomendaciones así como Bibliografía y los Anexos en donde se encuentran ubicadas importantes informaciones alrededor de la descripción del proceso y datos referentes a otras partes del trabajo.

Capitulo 1: Caracterización y tendencias actuales de la Automatización. Fundamentos teóricos del modelado en Redes de Petri, programación en lenguaje de autómatas y sistemas tolerantes a fallo.

En la actualidad los procesos industriales complejos sean vuelto cada vez más frecuentes y con el requerimiento de ser optimizados, para que operen de la manera más económica, rápida, con menos fallas, y con mayor facilidad para reparación, entre otros. Debido a estos factores, la industria se ha visto en la necesidad de automatizar sus procesos. Un estudio del estado del arte internacional de la automatización es urgente para mostrar la actualidad relacionada con la automatización y definir las características productivas industriales a nivel internacional.

1.1 Antecedentes de la producción del cemento.

En este parte de nuestra investigación nos dimos a la tarea de realizar una revisión de trabajos, artículos y publicaciones presentados por investigadores, profesores o estudiantes del ámbito del control automático, no solo en Cuba sino también en todo el mundo, que abarquen de alguna forma el tema de la automatización de molinos de cemento con todo lo que refiere, que podrían ayudar en buena manera en la culminación de los objetivos trazados por este trabajo.

El cemento ha sido utilizado durante más de 2.000 años en algunas de sus diversas formas. Aunque se encuentran vestigios del empleo del de morteros hidráulicos en las edificaciones romanas, estos hallazgos indican que el uso del cemento sólo tuvo un carácter casual o empírico en estos tiempos, que no dejó huella en años posteriores.

A partir de 1974 la fábrica de cemento "José Mercerón Allen" de Santiago de Cuba, donde se desarrolla nuestro trabajo específicamente en el área de molida de cemento, se comenzó a producir cemento con adición de hasta 10 %, empleando para ello molinos de cementos de tres fabricantes distintos.

La producción de cualquier tipo de cemento implica, como proceso sin obviar, la molienda final de las materias primas que han de ser alimentadas a los hornos para su cocción y obtención del clínker, roca artificial constituida por silicatos y otros materiales con actividad hidráulica, cuya hidratación ha de producir compuestos estables que le confieren al cemento y más aun a los hormigones y morteros sus propiedades técnicas que hace posible su empleo hoy día insustituible en las construcciones más disímiles [7].

En un sentido estricto, se considera cemento a toda sustancia o mezcla de sustancias que tienen propiedades adhesivas, entrando en esta definición, por tanto, productos muy diversos incluso resinas. En un sentido más preciso se denomina cemento a todo agente aglutinante hidráulico. La hidraulicidad es la capacidad defraguado tanto al aire como en agua. En esencia el cemento consiste en un polvo fino que se obtiene moliendo la escoria de una mezcla de arcilla y caliza. Al mezclar cemento y agua se obtiene una masa plástica que se endurece progresivamente a medida que se forman cristales entrelazados de

aluminio silicato hidratados hasta alcanzar la dureza similar a la piedra. Puede ser mezclado con arena y grava para formar mortero y hormigón. En la actualidad se utiliza en la construcción de edificios en ingeniería civil y militar [1].

1.1.2 Automatización.

En términos técnicos, automatización significa el funcionamiento automático de una maquina o un conjunto de máquinas encaminado a un fin único lo cual permite realizar con poca intervención del hombre una serie de trabajos industriales o administrativos o de investigación. La automatización es un sistema donde se trasfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos. Para Balcells – Romeral (1991) [2] los objetivos de la automatización pueden ser los siguientes:

- Mejorar 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 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.

1.1.3 Autómata programable.

Un autómata programable industrial (API) o Programable logic controller (PLC), es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales. Su manejo y programación puede ser realizada por personal eléctrico o electrónico sin conocimientos informáticos. Realiza funciones lógicas: series, paralelos, temporizaciones, contajes y otras más potentes como cálculos, regulaciones, etc. [11].

1.2 Estado del arte internacional en la automatización industrial.

En diversas latitudes se realiza la automatización de procesos industriales con sus características particulares según las necesidades ocurrentes. Para ello se echa mano de distintas tecnologías que sean capaces de resolver los problemas en muchos casos vemos la utilización de autómatas programables.

Tenemos como un ejemplo de automatización en Colombia en la Empresa Unilever Andina Colombia LTDA donde se realizó la automatización de un molino (harina, arroz). El sistema de automatización se diseño en ambiente gráfico, esto permite que su manejo sea fácil y no requiera de alto grado de capacitación. La automatización consistió en manejar todo el proceso de producción desde un cuarto de control de proceso usando autómatas programables con sus debidos equipos, sensores y terminales para realizar todo el control de sincronización de los equipos de proceso. Este proyecto se realizo con el fin de obtener una mayor productividad en el área de procesos [10].
En la figura 1 se da un ejemplo del panel de proceso.

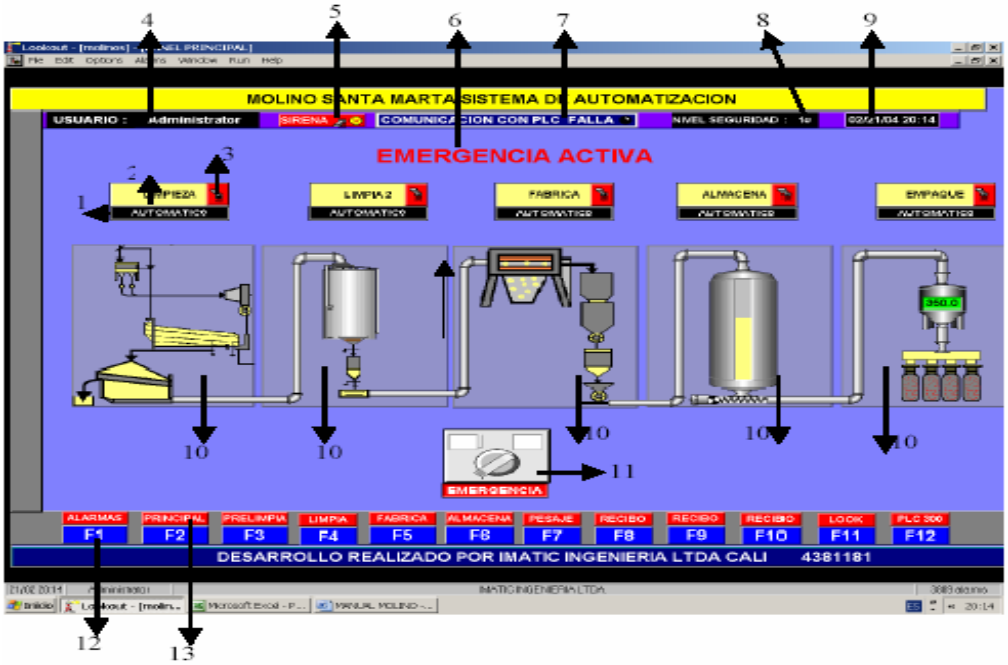


Figura 1. Ejemplo de panel principal de proceso.

Tenemos también como otro ejemplo en una línea de producción de cerámica, el polvo de cerámica solo, hecho desde el spray secante o enjugador que necesita para ser transportado y almacenado en silos, primeramente pasar por un sistema de correas para maduración, este proceso es frecuentemente llamado Almacenamiento de polvos.
El trabajo en procesos de sistemas de desarrollo flexible, puede ser brevemente ilustrado por la figura 2.

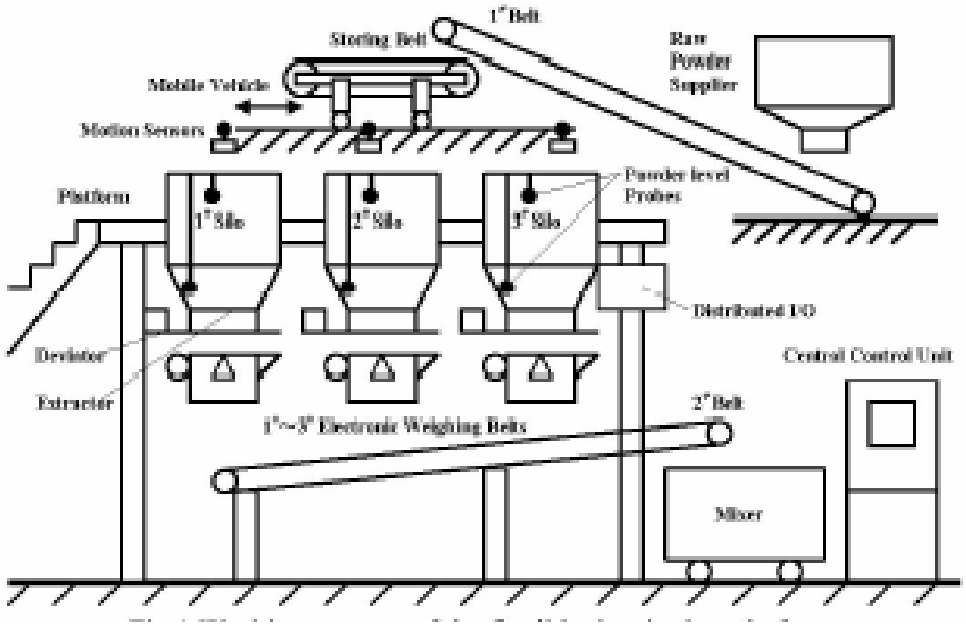


Figura 2. Proceso trabajando en la plataforma de desarrollo flexible.

Al mismo tiempo, muchos tipos de polvo usualmente en colores diferentes los cuales han tenido maduración por cierto tiempo. El almacenamiento automático de polvo de cerámica y el pesado proporcional continuo (CPS&CPW) sección para un moderno tipo de línea de producción de cerámica es generalmente un sistema complicado, el desarrollar esta tarea es frecuentemente dificultoso, confuso y consume mucho tiempo [13].
Se necesitan muchos días para poder extraer de otro grupo de silos y pesados proporcionalmente de acuerdo a cierto recipiente de producción, que son entonces mezclados juntos y transportados para prensarlos para compresión o para los silos hacia buffers de almacenaje.
La figura 3 representa la configuración de hardware del control para la plataforma de desarrollo flexible.

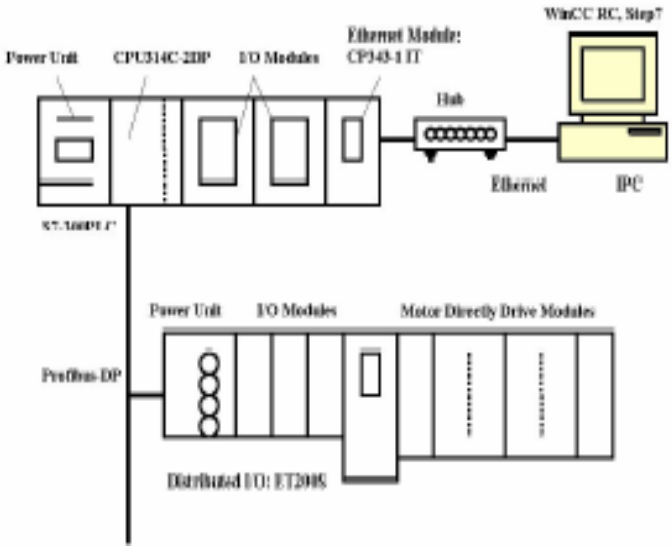


Figura 3. Configuración de hardware de control para la plataforma de desarrollo flexible.

La idea principal es que la automatización del proceso (CPS&CPW) es

realizada por una IPC y un PLC y son distribuidas las entradas y salidas I/O basadas en Siemens Profibus-DP y protocolos de comunicación industrial ethernet. La IPC cuya aplicación de control es desarrollado por Siemens Software WinCC, hace instrucciones y conoce datos para el nivel bajo de computadora vía ethernet, mientras que el nivel bajo de computadora consiste en un PLC S7-300, sus módulos de entradas y salidas distribuidas ET200S, y con correspondientes módulos de expansión recibidos y ejecutados con correspondiente manejo de hardware, que también recibe las señales sensadas y lo hace saber a nivel mas alto en la computadora.

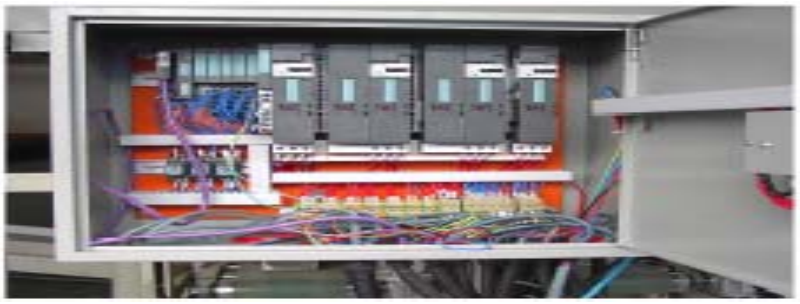


Figura 4. Módulos de entrada y salida en la cabina distribuidos, instalados en el campo.

La figura 4 muestra la distribución de las I/O, el desarrollo de aplicaciones incluye ambos el desarrollo de interfase de control de la IPC y el programa lógico del PLC. En total son 36 parámetros a controlar en el sistema de desarrollo flexible:
13 entradas digitales y 14 salidas digitales.
6 entradas analógicas y 3 salidas analógicas.
Durante el desarrollo del proceso, los parámetros son definidos por el programa del autómata S7-300 y puede ser directamente usado por las aplicaciones de control WinnCC en la IPC.

1.2.1 Conociendo la aplicación industrial moderna.

La implementación de una moderna aplicación industrial puede presentar desafíos y algunas veces causando mezcla de las demandas. Por ejemplo es bien entendido que un sistema de control típico debe tener interfase con señales que provengan de simples sensores y actuadores, todavía para muchas aplicaciones modernas esto es meramente el punto de partida [12].
La mayoría de los PLC son programados usando el lenguaje LD (ladder logic), lo que ha tenido origen en los diagramas de contacto usados para describir los arreglos y conexiones de relees físicos y temporizadores en un sistema de control. Las aplicaciones que divergen o se expanden más allá de este modelo se convierten crecidamente difíciles de programar en LD. Por ejemplo complejas aplicaciones matemáticas tales como proporcional-integral-derivativo PID utilizados para control de temperatura con punto flotante aritmético implicado. Para mejorar esos cálculos, los PLCs frecuentemente deben ser mejorados con división y (separadamente programados) de tarjetas de hardware.

1.2.2 Haciendo un PLC más como una PC.

Usando un PLC para conocer requerimientos de aplicación moderna para redes de conectividad, dispositivos e interoperabilidad e integración de acometimiento de datos presenta otros desafíos. Estos tipos de tareas son más solicitados usualmente para las capacidades de una computadora PC. Para lograr estas capacidades en un PLC, aplicación basada, procesos adicionales, redes de entradas o convertidores, middleware (software intermedio), software corriendo en una PC por separado, y software especial para sistemas de acometimiento deben ser frecuentemente integrados dentro del sistema.

1.2.2.1 Haciendo una PC más como un PLC.

De la otra forma, una PC preparada para el ambiente industrial nos puede proveer muchas de las posibilidades en aplicaciones modernas, particularmente necesitadas para red de trabajo y comunicación de datos.
Similar al argumento de un PLC para efectuar una PC como tareas, o sea, en una PC industrial que se necesita para mejorar un PLC más como tareas, así como una maquina o control de procesos también requiere de expansión.

1.2.2.2 Introduciendo el PAC.

Finalmente el dispositivo ha terminado en un controlador automático programable o PAC. Mientras la idea de combinar el PLC con la PC basado en tecnologías para el control industrial ha sido intentada anteriormente, esto ha sido usualmente hecho a través del tipo de adición de aprovechamiento descrito previamente, donde el middleware adicional, procesadores o ambos, son usados en unión con uno o más PLCs. Un PAC, como sea tiene las ampliadas capacidades necesarias formando parte dentro del diseño.

1.2.2.3 Características de un PAC.

Se debe agregar que analistas industriales ARC grupo advisor originaron el termino PAC. ARC concibió el término por dos razones: para ayudar a los usuarios a definir mejor sus aplicaciones necesitadas y para dar a los vendedores de hardware automáticos un término más claro que comunique las capacidades de sus productos. Los PACs tienen las siguientes capacidades:

1) Operar usando una plataforma simple en múltiples dominios incluyendo lógico, movimiento, conducción y control de procesos.
2) Ajustadamente controlador integrado de hardware y software.

3) Es programable usando herramientas de software que puede diseñar programas de control para soportar procesos que fluctúen a través de muchas maquinas o unidades.
4) Provee un eficiente procesamiento y escaneo de entradas y salidas (I/O).

1.2.3 Aplicaciones de los PLC.

EL PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del “Hardware” y “Software” amplia continuamente éste campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el aspecto de sus posibilidades reales [11]. Algunas de las aplicaciones de los PLC, según el área de aplicación, son las siguientes:

- Maniobra de máquinas:
    1. Maquinaria industrial del mueble y la madera.
    2. Maquinaria en proceso de grava, arena y cemento.
    3. Maquinaria en la industria del plástico.
    4. Maquinas-herramientas complejas.
    5. Maquinaria de ensamblaje.
    6. Maquinas de transferencia.
- Maniobra de instalaciones:
    1. Instalaciones de aire acondicionado y calefacción.
    2. Instalaciones de seguridad.
    3. Instalaciones de almacenamiento y transporte.
    4. Instalaciones de plantas embotelladoras.
    5. Instalaciones en la industria automotriz
    6. Instalación de tratamientos térmicos.
    7. Instalaciones de la industria azucarera.

1.2.3.1 Características del PLC S7-300.

El autómata que utilizamos en nuestro trabajo es de la firma Siemens muy prestigiosa por su calidad mundialmente. A continuación se mostrará como se ha conformado el módulo de entradas y salidas analógicas y digitales según se ha ido desarrollando el trabajo [14].

Módulo de conexión frontal.

Para establecer la conexión con el módulo se ofrecen conectores frontal modificados, llamados módulos de conexión frontal. Éstos se enchufan en el módulo que se va a cablear en lugar del conector frontal. Los módulos de conexión frontal están disponibles en muchas variantes. Para SIMATIC S7-300 y SIMATIC S7-400, en versión digital o analógica. Los cables de conexión se enchufan en estos módulos de conexión frontal.

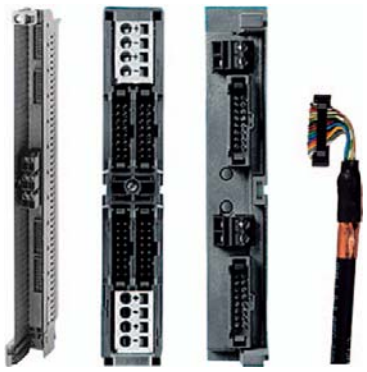


Figura 5. Módulos de conexión frontal.

Cables de conexión.
El cable de conexión está disponible en dos variantes. Una a modo de cable redondo de 16 polos ya conectorizado (con pantalla o sin ella) de hasta 5 m de largo, y otra a modo de cable plano en vaina redonda de 16 polos, de fácil conectorización por parte del usuario (con o sin pantalla) o bien 2 cables planos en vaina redonda de 16 polos (sin pantalla).

Figura 6. Cables de conexión.

Módulo de conexión.
Para conectar las señales de E/S, el sistema dispone de módulos de conexión digitales y analógicos, que se abrochan en el perfil soporte. Los módulos de conexión están disponibles en dos variantes que se distinguen por el tipo de conexión: con bornes de resorte o de tornillo.
Módulo base:
Módulos de conexión con funcionalidad básica para transmitir la señal de forma rápida y sencilla del campo al módulo o del módulo al campo. Para señales digitales o analógicas.
Módulo de señales:
Amplía el módulo base digital con LEDs que indican la actividad de la señal "high". Esto facilita la puesta en marcha y permite saber en todo momento el estado de las señales de las unidades periféricas. Un LED señaliza la disponibilidad de la tensión de alimentación.
Módulo de función:
Módulos de conexión digitales dotados de relee. El módulo de conexión para señales de salida TPRo se utiliza cuando se requieren otros niveles de tensión

o de potencia en el campo. Con toda facilidad y fiabilidad, este módulo convierte la señal de salida de 24 V DC en otro nivel de tensión o de potencia. Para conducir en el campo señales de entrada de 230 V AC hasta la unidad de mando, se utiliza el módulo de conexión con relee TPRi, que convierte la señal de 230 V AC en una señal de 24 V DC. Así, por el lado del módulo siempre se tiene el mismo nivel de tensión.

1.2.3.2 Diseño e implementación de aplicaciones de automatización tolerantes a fallos con PLCs.

Las redes de control distribuido con PLCs y microcomputadoras tienen grandes posibilidades de obtener diferentes grados de tolerancia a fallos según la estructura de la red, la modularidad de los PLCs, la programación de sus funciones, etc. [5].

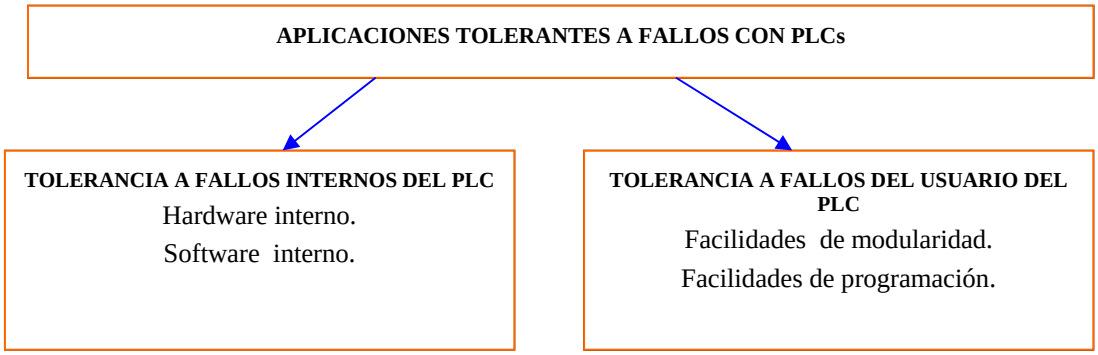


Figura 7. Tolerancia a fallos en PLCs.

Todas las características generales de los PLCs 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.

1.3 Fundamentos teóricos de los sistemas industriales modelados en Redes de Petri y tolerantes a fallos.

La automatización de sistemas industriales tiene una fuerte componente definida por la coordinación de las actividades de los diferentes subsistemas que se integran en las redes de control distribuido industrial que se utilizan 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 [4].

1.3.1 Etapas y herramientas de Diseño de Automatización Industrial.

Las etapas de desarrollo de cualquier automatización moderna incluyen:

1. Diseño: 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.
2. 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 PLCs son los dispositivos de mayor uso, entonces la IEC1131 es la norma más usada, así como sus ambientes de edición y simulación.
3. 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.

1.3.2 Redes de Petri (PN).

Las Redes de Petri surgen en 1962 con el trabajo doctoral de Carl Adam Petri "Kommunikation mit Automaten" (Comunicación con autómatas), en Alemania. En su disertación doctoral Petri formuló la base para una teoría de comunicación entre componentes asíncronos de un sistema de cómputo. Las ideas de Petri atrajeron la atención de un grupo de investigadores del Applied Data Research Inc. Dirigido por Anatol Holt y que trabajaban en el proyecto "Information System Theory Project". El grupo, desarrolló la teoría del proyecto conocido como “Systemics”. Este trabajo fue el que proporcionó la teoría primaria, notación y representación de las Redes de Petri. La teoría de Redes de Petri fue divulgada en 1968 en el reporte final del proyecto "Systemics". Posteriormente, en el artículo titulado "Events and Conditions", publicado en 1970, Holt y Commoner muestran como las Redes de Petri pueden aplicarse al modelado y análisis de sistemas con componentes concurrentes. Una Red de Petri es un modelo gráfico, formal y abstracto para describir y analizar el flujo de información. El análisis de las Redes de Petri ayuda a mostrar información importante sobre la estructura y el comportamiento dinámico de los sistemas modelados. La teoría de las Redes de Petri permite la representación matemática del sistema a ser modelado. Las Redes de Petri son de utilidad en el diseño de sistemas de hardware y software, para especificación, simulación y diseño de diversos problemas de ingeniería. Ellas pueden considerarse como autómatas formales o como generadores de lenguajes formales y tienen asociación con la teoría de grafos. Son excelentes para representar procesos concurrentes, así como, procesos donde pueden existir restricciones sobre la concurrencia, precedencia, o frecuencia de esas ocurrencias. Las Redes de Petri están divididas en varios grupos pero el que nos interesa en este momento y es en el que se desarrolla los modelos son las Redes Clásicas. Se utilizan para modelar el comportamiento dinámico de sistemas discretos. Están compuestas de dos tipos de objetos: Las plazas o lugares que permiten representar los estados del sistema mediante la utilización de marcas o tokens. Las transiciones tienen lugares de *entrada* y lugares de *salida*, los cuales

representan pre-condiciones y pos-condiciones de las transiciones respectivamente [8].

Un estado o marcación en una red de Petri, cambia de acuerdo a las siguientes reglas de disparo:

1. Una transiciones *t* se dice que está habilitada si cada lugar de entrada *p* de *t* está marcado con al menos *w (p; t)* tokens, donde *w (p; t)* es el peso del arco de *p* a *t*.
2. Una transición habilitada puede o no disparar (en dependencia de si los eventos de los que dependen ocurren o no).
3. Una transición habilitada *t* elimina *w (p; t)* tokens de cada lugar de entrada *p* de *t*, y adiciona *w (t; p)* tokens a cada lugar de salida *p* de *t,* donde *w (t; p)* es el peso del arco de *t* a *p*.

1.3.2.1 Ventajas y Desventajas.

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.

Desventajas.

- Las redes de Petri generales no pueden modelar ciertas situaciones de prioridad.
- En general, el problema de alcanzabilidad en redes de Petri, aunque decidible, se ha visto, que es de tiempo exponencial y fuerte consumidor de espacio.

Sin embargo, para esta última desventaja, si se encuentran problemas en el análisis, esto es un reflejo de la complejidad del sistema a ser modelado y no debe considerársele como una desventaja.

- Existen muchas variedades de Redes de Petri que pueden agruparse en dos campos o clases; generalización de Redes de Petri y subclases del modelo general.
- Las primeras, llamadas "Modelos Generales", tienen algunas ventajas para el modelado, mientras que las segundas, llamadas "Modelos Específicos" tienen ventajas para analizar el comportamiento de sistemas específicos.
- Los modelos generales de Redes de Petri, utilizan la concepción original de Petri. Los modelos específicos, han surgido con diferentes adjetivos y

que sus autores han modificado o extendido del original para resolver determinados problemas.

1.3.3 Modelado de Procesos para simulación.

La mayoría de los sistemas pueden ser vistos como sistemas de eventos discretos (SED), por ejemplo los sistemas de manufactura flexible, sistemas prácticos. Esos sistemas son complejos y difíciles ambos de entender y operar eficientemente. Por causa de la gran versatibilidad, flexibilidad, y potencia la simulación es una de las técnicas mas completamente usadas. Mientras que la simulación, en teoría tiene un gran potencial para poder tener el entendimiento y la operación eficiente de estos sistemas, muchos estudios muestran que a pesar de eso se le da un bajo uso en la industria.
Los métodos formales tienen una base formal y hay muchas implementaciones de software para ese método. Dentro de los métodos formales tenemos como herramienta las Redes de Petri, que son formalismos matemáticos basados en unos pocos y simples objetos relacionados y reglamentados, con capacidad de representar sistemas muy complejos. Las Redes de Petri están siendo usadas para apoyar la simulación. Las PN son capacitadas para un modelado muy preciso y para representar un sistema real [9].

1.3.4 Introducción general a los Sistemas Automatizados Tolerantes a fallos.

La tolerancia a fallo es la propiedad que habilita a los sistemas automatizados a continuar trabajando u operando proporcionadamente en presencia de uno o más fallos de algunos de sus componentes.
Los fallos en procesos automatizados a veces pueden causar reacciones adversas y paros en la producción de la planta controlada, además de que las consecuencias pueden ser dañosas para partes técnicas, equipos en la planta incluso al personal del ambiente externo. Ver anexo (1).
Un sistema técnico funciona cuando todos los parámetros que caracterizan su estado tales como temperaturas, caudales, presiones o concentraciones se encuentran dentro de los límites de tolerancia previstos por el diseño.
Dichos límites, naturalmente varían con el régimen de funcionamiento analizado, por ejemplo las cargas nominal o parcial o la esperada.
En nuestro caso, nos interesa un tipo específico de sistemas dinámicos, los sistemas de automatización industrial, que son los sistemas que interactúan con los procesos o servicios de una empresa para lograr su funcionamiento automatizado.

1.3.5 Teoría de modelado de sistemas de automatización utilizando Redes de Petri extendidas GHENeSys.

Hoy en día existen muchos trabajos relacionados con la aplicación de métodos formales en el análisis, síntesis, verificación y validación de modelos de

automatización, no estando exento el desarrollo de modelos de automatizaciones con PLC usando Redes de Petri [6].

1.3.6 Metodología de modelado con Redes de Petri Jerárquicas Extendidas GHENeSys.

Para la aplicación de todo lo anteriormente explicado en el proceso de análisis y síntesis de sistemas de automatización con PLCs es definida una metodología general con los pasos siguientes:

1. Estudio del sistema a controlar y las exigencias funcionales del sistema controlado propuestos por el usuario.
2. Determinación de la mayor cantidad de unidades funcionales del sistema de control, sin necesidad de coincidir con el equipamiento de implementación futura, pero si con los componentes funcionales del sistema. Ellos son los subsistemas integrantes del modelo de planta del proceso a automatizar.
3. Definición de cuales son acciones internas y cuales interdependencias de cada unidad funcional y el nivel jerárquico en que debería estar de acuerdo con estas interdependencias y su función en el sistema de control. También son delimitadas las especificaciones de seguridad y secuenciales para cada uno de ellos de acuerdo con las especificaciones globales. Esto garantiza la posibilidad de incluir nuevas sub-redes que representan las secuencias deseadas de funcionamiento de la planta en el punto de refinamiento (punto 5).
4. Uso de un diseño Top-down para establecer un modelo jerárquico basado en Macro-elementos para cada unidad funcional, construyendo una red modular jerárquica GHENeSys para el modelo entero del sistema de control. Aquí se define la ubicación de cada modelo de subsistema en los diferentes niveles jerárquicos para luego iniciar la integración en el refinamiento.
5. Refinamiento Botton-up del modelo para detallar la estructura de cada sub-rede del modelo. Aquí, inicialmente, se van integrando los modelos de los subsistemas según la secuencia de operación, quedando conformado el modelo de planta sin control**.** Esto garantiza el desarrollo de nuevas sub-redes integradas que representan las secuencias deseadas de funcionamiento de la planta, los cuales constituyen elementos para la síntesis del controlador.
6. Clasificación de cada sub-rede y determinación de sus propiedades funcionales (fundamentalmente Vivacidad (*Live*) y Seguridad (*Safe*)). Esto garantizan la ausencia de bloqueos en los modelos y después en el programa de control. Pero para este paso solo es necesario el análisis de los modelos sin la inclusión de los lugares auxiliares, pues estructuralmente tienen las mismas propiedades.
7. Aplicación del método de la regla de reducción simple para revisar la estructura de las sub-redes y alcanzar la mayor independencia entre selección y concurrencia de las ramas del modelo, creando modelos bien-formados. Si fueron observados durante la síntesis del modelo de planta y el controlador las reglas de buena formación, generalmente es aplicable el

método de reducción simple hasta la mínima expresión (un lugar y una transición).
8. Reclasificación de cada sub-rede modificada y predeterminación de sus propiedades, para garantizar que las adaptaciones llevadas a cabo permiten el cumplimiento de las propiedades principales.
9. Simulación del trabajo de cada sub-rede y confirmación del cumplimiento de las exigencias funcionales del usuario.
10. Reclasificación de cada sub-rede modificada y redeterminación final de sus propiedades.
11. Estudio de las características específicas del equipamiento para su implementación y modelado de las sub-redes que ejecutan la sincronización de las comunicaciones o funciones relacionadas.
12. Traducción del modelo para un programa IEC1131 compatible, quedando a consideración del usuario la selección para definir el tipo de lenguaje (ST, IL, LD) para las sub-redes básicas (Macro-elementos) integrantes de cada nivel jerárquico.

Los pasos del 1 al 5 conforman el análisis y síntesis formal del modelo, incluyendo la formalización de las exigencias del usuario, que al aplicar ellas al modelo de planta no controlada, permiten la síntesis del controlador.
Los puntos del 6 al 8 contienen la fase de verificación de propiedades funcionales y estructurales del modelo, lo cual garantiza modelos bien-formados y programas óptimos libres de bloqueos. Del punto 9 al 11 es realizada la validación del modelo de acuerdo con el comportamiento requerido para el sistema controlado y para las particularidades de su implementación. El paso 12 es la implementación del sistema controlado al traducir el modelo previamente verificado y validado a los lenguajes de programación de PLCs IEC1131 compatible.

1.3.7 Teoría de la programación en los sistemas automatizados.

La mayoría de los sistemas de automatización ofrecen los mismos tipos básicos de operaciones. Para programar el funcionamiento deseado del proceso en cuestión primeramente tenemos que fijarnos en el modelo previamente diseñado [4]. Existen varios tipos de lenguajes de autómatas en dependencia de la familia de PLC que se use serán entonces los lenguajes como lo haya establecido el fabricante. En el caso de nuestro PLC Siemens S7-300 con software para programación Step7 que ofrece de los siguientes lenguajes de programación: Esquema de contactos (KOP), Lista de instrucciones (AWL) y Diagrama de funciones (FUP). Se escogió el de esquema de contactos KOP pues es el más común y más recomendado para los que empiezan a programar, además de que es semejante al LD de la norma IEC1131 que ha sido estudiado en la carrera ing. Automática.

En el capitulo se ha abordado sobre la actualidad en automatización y todo lo que esto conlleva. Además de establecer fundamentos teóricos que nos sirven para emplear en el próximo capitulo. Con lo que pretendemos cumplir nuestro objeto, campo de acción y posteriormente resolver nuestro problema.

Capitulo 2: Metodología para el diseño del modelo en Redes de Petri, y programa en lenguaje de autómatas para la automatización eficiente del molino 9 de clínker con PLC S7-300 de SIEMENS aplicando métodos de tolerancia a fallos.

Durante el desarrollo de este capitulo se mostrará al lector los aspectos propios de la metodología para el desarrollo de los modelos en Redes de Petri (PN) aplicando métodos de tolerancia a fallo, que representan el proceso en la automatización del molino 9 de clínker. Además se describirá la forma en que las PN posibilitan un trabajo más efectivo en la metodología que proponemos en este trabajo. También la traducción de dichos modelos a un programa para el autómata S7-300, que permita el desarrollo del proyecto simulado.

2.1 Descripción de la Metodología.

Conociendo las características típicas del proceso que queremos modelar, realizamos un análisis completo, incluyendo todas las particularidades que se representan en la secuencia de trabajo del molino de cemento. Aquí encontramos que tenemos un proceso continuo pues los motores que intervienen se incorporan al trabajo uno a continuación de otro, cada motor tiene riesgos de fallo ya sea por protecciones térmicas o valores de alguna medición de la cual el dependa para su correcto funcionamiento, en esos casos se aplican métodos de tolerancia a fallo. Se comprueba todo lo antes dicho por medio de la simulación. Para simular los modelos contamos con el Visual Object Net (VON) para la creación del modelo usando una biblioteca de estructuras típicas en archivos independientes que pueden facilitar su traducción manual, la cual es aumentada con nuevas sub-redes validadas por los usuarios. VON (Visual Object Net) es un software que garantiza una mejor resolución del programa a emplear. Aquí es donde se ejecuta el modelado del proceso en Redes de Petri para su posterior traducción a lenguajes de autómatas. El Visual Object Net es la herramienta que ofrece una buena confortabilidad para desarrollar los modelos en Redes de Petri.
Una vez hechos los modelos procedemos a estudiar los mismos para realizar un análisis con las propiedades funcionales de las PN. Esto nos permite lograr modelos más óptimos para nuestra necesidad; lo que se explicará más adelante. Además de llevar a cabo con estos aportes la traducción de los modelos a lenguaje de autómatas. Para luego desarrollar la simulación del programa resultante.

2.1.2 Propuesta de la Metodología.

Lo primero que hacemos para modelar en PN es realizar un modelo general que contiene todo el proceso con todas sus variantes, los modos de funcionamiento con todas sus características, aquí representamos los modos

manual y automático y otras partes del proceso inmiscuidas en ellos como es el caso de las mediciones de presiones y temperaturas con macroelementos.
Entonces conociendo esto tenemos varios modelos para representar nuestro proceso completo. Primero conformamos el modelo general al que le llamamos selección (ver anexo 11) pues es aquí donde comienza el proceso y se selecciona en que modo va a funcionar, y donde tenemos acceso a detenernos cuando haya alguna necesidad de mantenimiento a cualquier motor o en caso de una emergencia. Luego procedemos con los otros modelos de cada modo de funcionamiento, en el caso del funcionamiento manual (ver anexo 10) se utiliza este modo para en caso de que se necesite darle mantenimiento a cualquier motor o una bomba de lubricación de collar u otros pero no para la producción.
El funcionamiento automático (ver anexo 9) es de suma importancia pues en el es que se desarrolla la secuencia de trabajo del molino, aquí es donde tomamos en cuenta todas las particularidades de cada equipo, el cuidado de las mediciones ya sea presión o temperatura. Además de aplicar métodos de tolerancia a fallo para aumentar la productividad y la eficiencia del proceso.
En los otros modelos se representan las mediciones analógicas (ver anexo 12) así como el funcionamiento de una alarma sonora (ver anexo 13) para el conocimiento del estado de las mediciones según su valor normal hacia su valor límite.

2.1.3 Desarrollo de los modelos en Redes de Petri clásicas extendidas.

El primer modelo que realizamos es el de la selección de los modos de funcionamiento, manual (P1) o automático (P2) en el también se reflejó el funcionamiento completo del proceso además de haber posibilidad de parar (P3) en caso de que haya necesidad de parar por emergencia para mantenimiento. Ver figura 8.

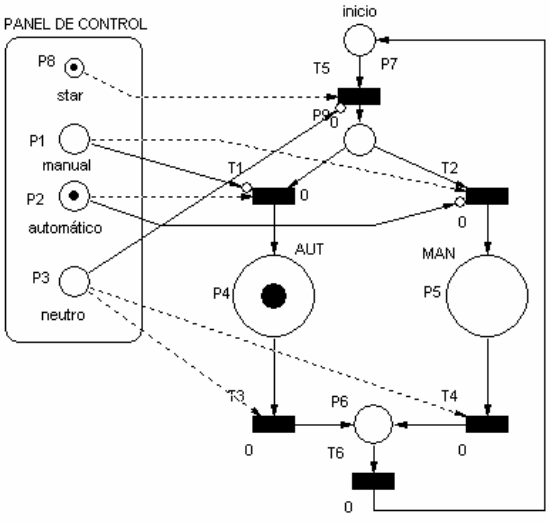


Figura 8. Modelo de la selección.

Iniciamos seleccionando el modo manual o automático (P1, P2), después comienza a desarrollarse el proceso según lo escogido (P4, P5).
El otro modelo que se realizó es el que representa el modo manual en el cual se accede a cada motor por particular para encenderlo o detenerlo.
También es bueno destacar que en este modo se le puede dar mantenimiento si así lo requiere algún equipo del sistema.

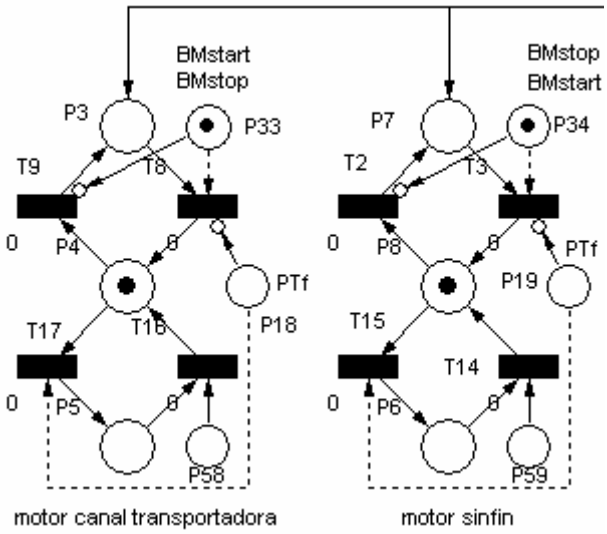


Figura 9. Funcionamiento manual.

Aquí arrancamos o detenemos (P33) de la misma forma los restantes equipos del proceso. El funcionamiento automático ha sido representado en partes en las figuras 12, 13, 14 respectivamente pues los motores allí representados conforman la secuencia de proceso en el molino 9. El funcionamiento de cada motor o bomba que representamos en los modelos es característico del modelo de una máquina con fallos ya que en el proceso ellas no están exentas de los mismos.
Otro modelo que desarrollamos fue las mediciones analógicas, aquí se representa las variables de la siguiente forma, se establecen dos lugares para la medición, valor existente, requerido y comparación positiva o sea que se realizó la medición correctamente. Lo podemos apreciar mejor en la figura 10.

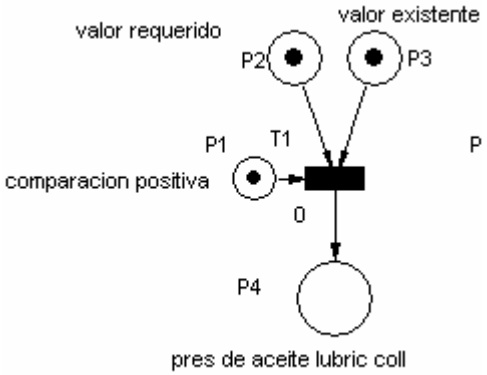


Figura 10. Medición analógica de presión de aceite de lubricación de collar.

El último modelo es el que representa la alarma sonora que se necesita para avisar al operador de que las mediciones han alcanzado un valor próximo a su disparo y que debe chequearlas antes de que alcancen su último valor.

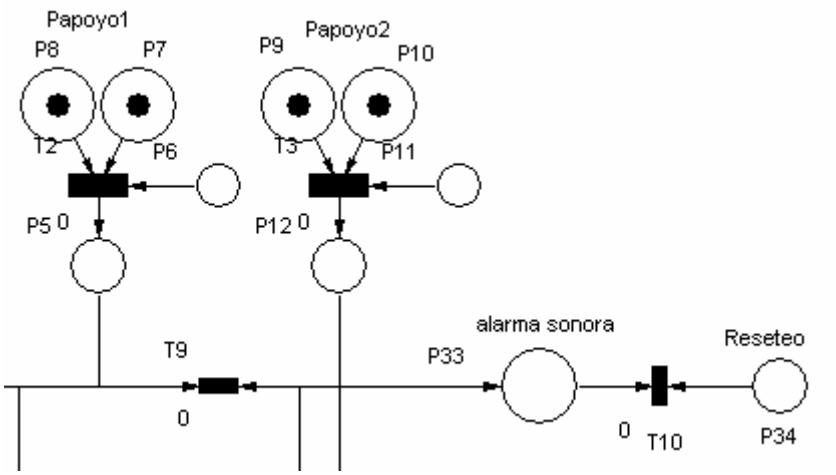


Figura 11. Alarma sonora.

2.2 Relación de los modelos realizados con las Propiedades Funcionales de las Redes de Petri.

En el diseño y análisis de modelos basados en Redes de Petri son analizadas un conjunto de propiedades las cuales se clasifican en: dependientes de la marcación o propiedades funcionales, y propiedades estructurales [8]. En nuestro trabajo solo nos corresponde el análisis de las propiedades funcionales.

Dependientes de la marcación o propiedades funcionales.

Las propiedades funcionales son aquellas que dependen del estado o marcación inicial de la red. Estas propiedades son:

Propiedades Funcionales.

- **Alcanzabilidad.**
- **Limitación.**
- **Vivacidad.**
- **Reversibilidad.**
- **Persistencia**.

2.2.1. Alcanzabilidad.

La alcanzabilidad la podemos ver en los modelos de las bombas de lubricación de collar, la bomba de aceite reductor y en el arranque de las electroválvulas de limpieza. En las bombas de lubricación de collar se tienen en cuenta valores de presión (presión mayor de 1 bar.) para su correcto funcionamiento. Existiendo la posibilidad real de ocurrencia de fallos por el valor de las mediciones con esta propiedad funcional se puede tener mayor visión para aplicar tolerancia a fallo en el modelo. Teniendo aquí tres estados, el motor

parado (P42), funcionando (P43) y detenido (P44) por fallo ocurrido. Planteamos como lugar alcanzable el motor funcionando una vez restaurado el fallo.

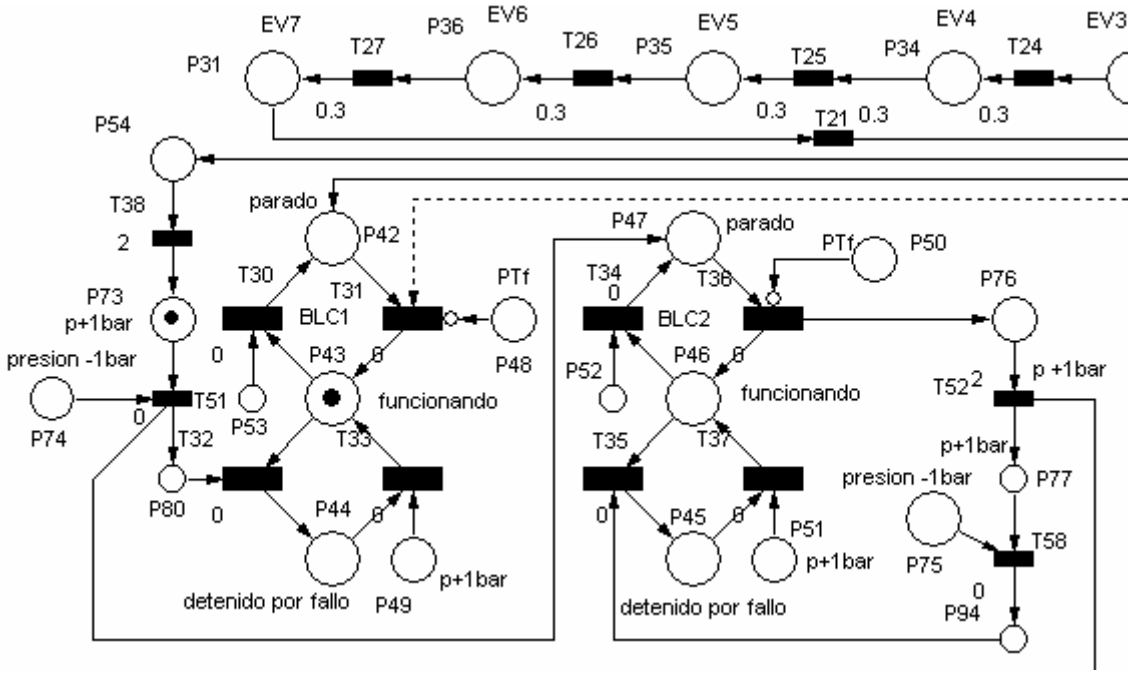


Figura 12. Bombas de lubricación de collar.

También en el caso del arranque de las electroválvulas de limpieza podemos considerar como lugar alcanzable el estado de funcionamiento de las mismas (P30, 31,…36).

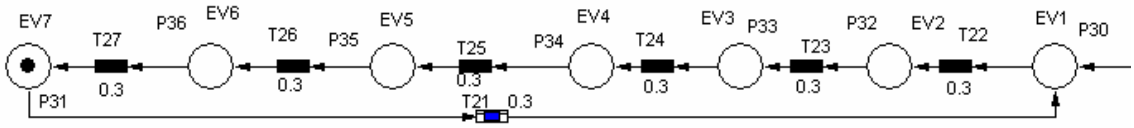


Figura 13. Electroválvulas de limpieza.

2.2.2 Limitación.

Con esta propiedad podemos tener en cuenta la productividad, que sea un token (P59, 62) en cada motor y valor de la medición analógica, para representar cualquier estado o situación que se desee.

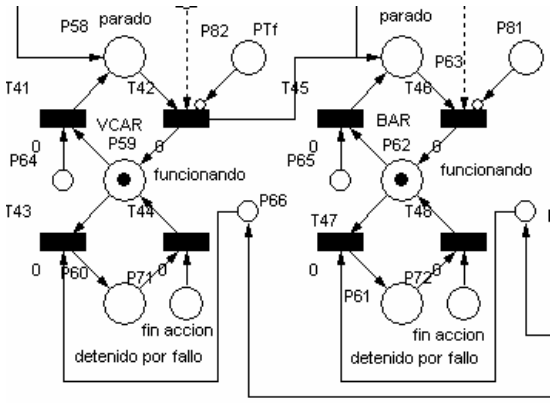


Figura 14. Bomba de aceite para reductor.

2.2.3 Vivacidad.

Esta propiedad nos brinda el conocimiento de que teniendo una red viva significa que esta libre de bloqueos y es eficiente el modelo realizado. Para comprobar la vivacidad es necesario realizar la simulación.

2.2.4 Reversibilidad.

La Reversibilidad es típica de sistemas cíclicos cuando de un estado se parte y luego se regresa al mismo, o sea siempre se puede volver al estado inicial. Nosotros lo vemos más específicamente en el modelo de la selección de los modos de funcionamiento (anexo 11).

También en la secuencia del encendido de las electroválvulas de limpieza (anexo 9) pues se deben encender cada 30 segundos un equipo releva al que le sigue para limpiar su sección correspondiente, de esa forma reversible un mismo equipo trabaja más de una vez pues es un ciclo de limpieza.

2.2.5 Persistencia.

En esta propiedad hay que verificar cuando se modela para ver si hay paralelismos y sincronismos, y tener en cuenta que el disparo de una transición no puede deshabilitar la otra transición.
Podemos verlo mejor en la selección alternativa con arcos inhibidores y habilitadores, que están presentes en casi todos los modelos. Buscando lograr tolerancia a fallo cuando ocurren fallos humanos por ejemplo el apretar 2 botones al mismo tiempo. Ver anexo 11.

2.3 Aplicación de métodos de tolerancia a fallos.

En este aspecto en nuestro trabajo hemos tenido en cuenta las características especiales de nuestro proceso, en las partes que presenta mayores problemas frente a valores de presión que pueden o no disminuir y que el funcionamiento

del equipo suceda cuando la medición tenga un adecuado valor. Específicamente en el área de las bombas de lubricación de collar y en la bomba de aceite para reductor (BAR) y el ventilador de la caja de aceite para reductor (VCAR) existe un valor de presión que se necesita que esté por encima de 1 bar. Dentro del proceso se puede presentar una caída de presión lo que representa el paro de la bomba o motor. Ante este suceso nos vemos en la necesidad de desarrollar un método en nuestro modelado para lograr cumplir con las exigencias del proceso y restablecer lo más pronto posible el funcionamiento de cualquiera de estos equipos.

Como se observa en la figura luego de haber terminado de encenderse las electroválvulas de limpieza, se enciende la primera bomba de lubricación de collar (P43) y se esperan 20 segundos (T38) para dar tiempo a que la presión suba por arriba de 1 bar., si al término de este tiempo no ha subido el valor (P74) se arranca la otra bomba (P46) y se ejecuta el mismo procedimiento con la segunda bomba. Cuando se termina el problema (P49, 51), o sea que la presión asciende a su valor normal nuevamente la bomba enciende en caso de que esto no ocurra se continua con la secuencia del proceso. Para el caso del BAR (bomba de aceite para el reductor) y VCAR (ventilador de la caja de aceite del reductor) es similar la técnica explicada para la tolerancia a fallo.

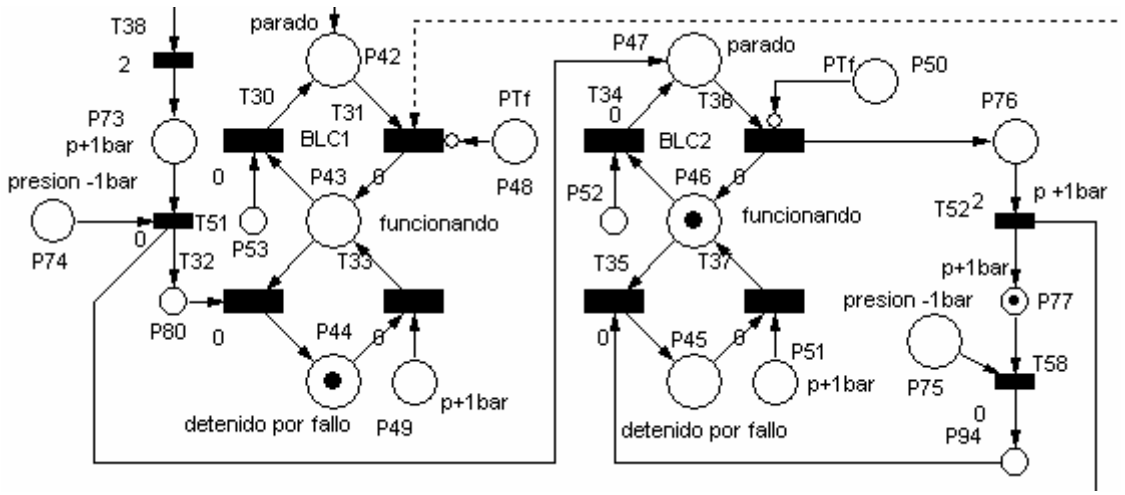


Figura 15. Tolerancia fallos en las bombas de lubricación de collar.

Otro caso que podemos considerar aplicar una técnica de tolerancia a fallo es en todos los motores con su protección térmica y estado de funcionamiento. Cada vez que en la secuencia un motor se va a incorporar al trabajo se tiene en cuenta que no estén disparadas las protecciones térmicas. Un caso especial tiene lugar en el motor de la canal transportadora, donde la ampolleta de canal llena tiene que estar desactivada para que el motor comience a trabajar. Esto constituye al igual que en el caso de las protecciones térmicas una señal binaria que habilita o deshabilita la continuidad del proceso. En la figura 16 podemos observar que si se dispara su protección térmica (P4) entonces no comienza el funcionamiento y se queda parado (P1).

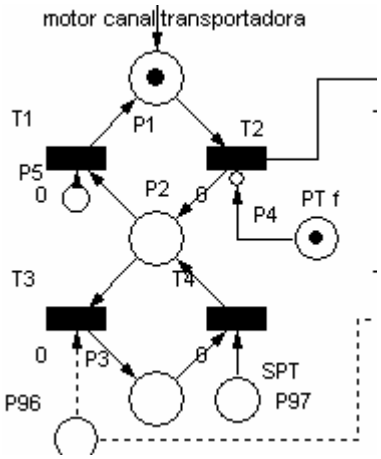


Figura 16. Motor de la canal transportadora.

De la misma manera cuando la ampolleta llena de la canal transportadora está desactivada el motor puede funcionar pero si está activada (P41), el motor no puede funcionar.

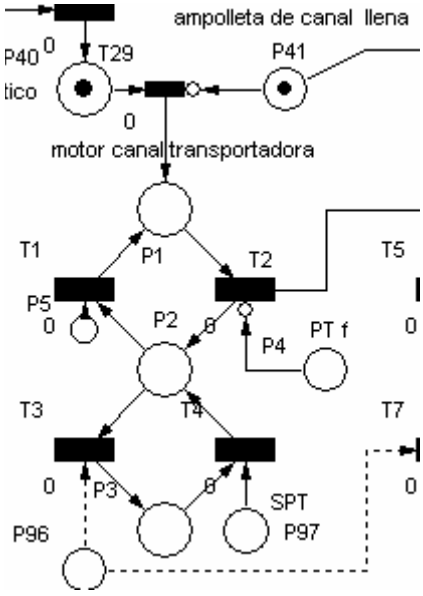


Figura 17. Ampolleta de canal activada que impide el funcionamiento del motor.

2.4 Traducción de los modelos en Redes de Petri a lenguajes de autómatas para programa IEC 1131 compatible con STEP7.

Para la traducción serán explicadas las reglas generales de analogías entre los elementos de la red jerárquica extendida de GHENeSys y los lenguajes de programación IEC 1131 compatibles. Esto permite construir el cuadro de equivalencias entre las estructuras básicas de los modelos y las secciones de programas IEC1131 compatibles que quedan como herramientas de la traducción. Las analogías se presentan a continuación:

Para los Boxes se mantiene la equivalencia a un bit interno (marca de bit o bandera) del PLC. Es decir, el estado 0 o 1 corresponderá con el estado de una variable binaria interna del PLC.
Los Pseudoboxes corresponderán con tipos de señales diferentes de acuerdo con su uso:

- Si representan mediciones de sensores del proceso, ellos corresponderán con entradas del PLC (que de acuerdo con la IEC1131 pueden usar un identificador simple o su direccionamiento directo en el PLC).
- Si representan informaciones que vienen de otras sub-redes u otras partes de la propia red, ellos corresponderán con variables binarias internas (bits internos o banderas) del PLC (que también pueden usar un identificador simple de acuerdo con la IEC1131 o su direccionamiento directo).
- Si representan un bit de salida de un temporizador o contador, ellos corresponderán con variables representadas por el identificador del temporizador o contador seguido por " .Q " como lo indica la norma IEC1131.
- Si representan la salida binaria de algún bloque funcional, ellos tendrán el nombre del bloque funcional seguido por ".nombre" de la salida del bloque como establece la IEC1131-3.

Los Boxes y Pseudoboxes dan las condiciones de disparo de las transiciones del modelo en GHENeSys, entonces ellos corresponden con la parte condicional de las secciones de programas resultantes (p.e. la parte condicional (instrucciones AND) de cualquier sección de un programa de PLCs). Las operaciones lógicas entre estas señales estarán en dependencia de la estructura que las entrelazan con las transiciones que luego se dispararán. Es decir, si todas las señales entran a una única transición, entonces ellas conforman una operación lógica AND. Si ellas llegan a varias transiciones que después se unen en un único Lugar, entonces son traducidos en una función lógica OR. Combinaciones de estas estructuras también darán combinaciones de esas operaciones lógicas en el programa resultante.
La traducción de esta parte condicional para lenguajes LD e IL está prácticamente implícita en la definición de los lenguajes IEC 1131 compatibles. En LD ellos son contactos en serie o paralelo (o AND u OR respectivamente). Teniendo en cuenta estas condiciones para efectuar la traducción correspondiente entonces procedemos a realizarla.
Comenzaremos por el programa de la secuencia de trabajo del molino, si hemos empezado y seleccionamos el modo automático y no esta la ampolleta de canal llena activada entonces el motor de la canal transportadora se incorporará al trabajo. Si el sistema está encendido (P38-star;) y no se ha presionado neutro (modelo de la selección P3-stop) además de que no halla fallo (modelo secuencia automático P4-fallo) en ese momento entonces se enciende el motor (modelo secuencia automático P2-motor).
De esta misma forma se encienden todos los motores que forman parte del proceso lo único que varía es los tipos de fallos según el motor que sea. Además de que no se seleccione modo manual (P1) y se presione el arranque manual del motor de la canal transportadora (modelo manual P33- M-ArrManMCanal) de tal forma que nada de esto incida en detener el motor

entonces puede efectuarse su funcionamiento (modelo automático P2- A-MotorCanal).
Luego si continua la selección automática (modelo de la selección P2-E-Sel_Auto) y no están activados los motores del filtro (sinfín, ventilador principal, opérculo, ventilador de limpieza; P96-M-Parada Mot. Filtro) y todas las mediciones (presión filtro de mangas P37, temperatura filtro de mangas P95) para que funcionen los motores del filtro están listas, en caso de la presión señal de entrada con un presostato (P37-E-Psl_FiltroManga) y la temperatura existente (modelo de las mediciones analógicas P27) en ese momento se compara con el valor requerido (P26-DB-Analogicas.TEntAireFiltro), si la comparación es positiva (P25-comparador CMP) y no existiendo fallo en los motores del filtro entonces se encuentran listas (P98-M-ArrAutMFilt) las condiciones para que puedan arrancar todos los motores del filtro. Una vez ocurrido esto se enciende el primer motor del filtro que es el motor sinfín, está listo el arranque de los motores del filtro (P98-M-ArrAutMFilt) y no hay fallo por protección térmica (P9-E-FalloMotorSinfinFiltro) se incorpora al trabajo el motor sinfín que funciona de la misma forma como antes se explicaba en la canal transportadora; para detener el motor se logra de la siguiente forma en parada de los motores del filtro (P96-M-Parada Mot. Filtro). De ahí en adelante todos los motores del filtro se van energizando uno tras otro con las mismas condiciones para cada uno solo en el caso del motor opérculo que se enciende (P55, T39) 10 segundos (A-MotorVentPpalFiltro, T.ArranqueVentPrincip (temporizador)) después de haberse encendido el motor del ventilador principal pues este ultimo es un motor de arranque pesado. Cada motor va habilitando la secuencia al siguiente. Cuando el motor del ventilador principal ha arrancado se detiene si el motor que le antecede a el deja de funcionar (T7, P6-A-MotorSinfinFiltro). De la misma forma sucede con los restantes motores del filtro. Se conoce además que han encendido los motores (P102-E-Func. Mot.Filtro).
La sección siguiente en la secuencia son las electroválvulas de limpieza figura 11, que trabajan una a continuación de la otra en intervalo de 30 segundos hasta que las siete han encendido. Si estamos trabajando en modo automático (modelo de la selección P4-E-Sel_Auto) y encendió el motor ventilador de limpieza (T20, P25-A-MotorVentLimpieza) y están funcionando los motores del filtro (P102, T20-E-Func. Mot.Filtro) se activa el arranque de las electroválvulas (P30, T21-#Arr).
Es entonces que comienza a iniciarse el trabajo de la primera electroválvula (T20, P30-#Arr, A-Elctv1, temporizador, A-Elctv2) durante 30 segundos y así sucesivamente una tras otra hasta la séptima.
Estos siete equipos se mantienen funcionando limpiando cada cámara correspondiente uno independiente de otro. Siempre entra una electroválvula a trabajar (P32, P33-set, reset) y se detiene la otra rotándose así se mantienen durante la secuencia.
Posteriormente si están listas las condiciones para el trabajo de las bombas de lubricación de collar (BLC1, 2), protecciones térmicas no disparadas (P48-fallo), mediciones de temperatura en los cuatro puntos, chumacera entrada, salida, punto apoyo 1, punto 2 (modelo de las mediciones analógicas P15, 34, 18, 23;modelo del funcionamiento automático P93,-comparador). Las cuatro mediciones se realizan de la misma forma al igual que la explicada en la temperatura de entrada de aire del filtro de mangas. Cumpliéndose estos requisitos se arranca el magnético de la bomba de lubricación de collar.

Estando este arrancado (T31, P43-M-ArrAutBAcCollar), ver anexo (14) y la otra bomba de collar que es de repuesto no esta encendida (T51, P47-A-BombAcCollar2) solo en caso de que la primera falle. Teniendo lo anterior además de que la presión suba a más de 1 bar (P73-PresionCollar<1bar) esto para la primera bomba para la segunda (P77-PresionCollar>5.8bar) el valor es 5.8 bar ajuste de disparo con un presostato.
En esos casos, cuando ocurre el fallo por baja presión (T51, P74, T58, P75-MotorCollar1Arrancado, MotorCollar2Arrancado) las bombas dejan de funcionar. Pero si no ocurre lo anterior ellas pueden incorporarse al sistema. Luego si arrancó el motor de de la BLC1 (P50-A-BombAcCollar1), (es el mismo procedimiento para ambas bombas) y se realizaron correctamente mediciones de presión a más de 1bar y 5.8 bar se arranca el magnético del ventilador de la caja de aceite del reductor (VCAR), (T42, P59-M-ArrAutVCajaAc) y pasó el tiempo (T49, P68-temporizador T20) para que suba la presión y no ocurra fallo, se enciende el motor del VCAR. Lo mismo ocurre para la bomba de aceite del reductor (BAR), únicamente que ya haya arrancado el VCAR y los interruptores de nivel de aceite (P78-E-NivelAcReduct), presión diferencial presostato (P79-E-Psl_FiltroCajaReduc), temperatura aceite reductor (P103-E-T_AcLubReduc). En caso de que funcionando el BAR la presión baje se deshabilita su funcionamiento (P67, T50-PresionReductor<1bar). Para el arranque del motor principal o motor del molino 9, si se cumple que estén listas las mediciones de temperatura del electrolito arrancador, presión de aceite de lubricación del reductor, y las 8 pt100 (6 en puntos en devanado del motor principal y 2 rodamiento delantero y trasero); (P83, 84, 85, 86;-B-Analogicas.PacReduct-DB-Analogicas.TElectArranc). Entonces se procede por medio del operador en la botonera principal a encender el motor del molino. Existe una bomba de recirculación de electrolito ver anexo (14) la cual se enciende cuando comienza la secuencia automática (modelo del funcionamiento automático P4, P7- E-Sel_Auto) y se para cuando el motor principal del molino 9 empieza a trabajar (P6, T6- E-MolinoArrancado). Si la temperatura del electrolito llega a 70 grados (P12- TempElectr70C, T2) se arranca la bomba por una hora, durante ese tiempo la bomba funciona y si transcurrido ese lapso la temperatura del electrolito sube a 80 grados se debe detener el motor principal (P6).

2.4.1 Modulo de Entradas Digitales 24 V DC utilizado. Características.

El módulo de entradas digitales es el SM 321, 32DI x 24VDC, que en nuestro proyecto solamente se necesita de 28 entradas. Para conocer acerca de las características principales ver anexo (3).

2.4.2 Modulo de Salidas Digitales 24 V DC utilizado. Características.

En el módulo de salidas digitales encontramos el SM 322 con 16 DO, 24 VDC/0.5A. Para mayor exactitud ver anexo (3.1). En el proyecto se necesitan

19 salidas digitales, en este número hay una parte que corresponden a salida por relee que se verá en el próximo epígrafe.

2.4.3 Modulo de Salidas Digitales por relee utilizado. Características.

Aquí tenemos también el módulo SM 322 con 16 DO por Relee AC 120/230 V; son de utilidad para los magnéticos del arranque de todos los motores de la secuencia. Siendo usado conforma la cantidad de salidas digitales que se necesitan. Para más información ver anexo (3.2).

2.4.4 Modulo de entradas analógicas RTD utilizado. Características.

Módulo de entradas analógicas SM 331; AI 8 x RTD; (6ES7331-7PF01-0AB0). Conexión: conexión a 2, 3 y 4 hilos para medir la resistencia y la termo resistencia. Conexión posible en ambos extremos a los canales 0 a 7. Son un total de 16 mediciones analógicas en todo el proceso.
Ver anexo (3.3).

2.4.5 Modulo de entradas analógicas 4-20 mA utilizado. Características.

Módulo de entradas analógicas SM 331; AI 2 x 12 BIT; (6ES7331-7KB02-0AB0).
Propiedades.
● 2 entradas en un grupo de canales
● Tipo de medición ajustable por grupo de canales:
– Tensión
– Intensidad
– Resistencia
– Temperatura
Ver anexo (3.4).

2.4.6 Modulo de entradas analógicas para temperaturas motor principal Molino 9 utilizado. Características.

Módulo de entradas analógicas SM 331; AI 8 x 13 BIT; (6ES7331-1KF01-0AB0).
Propiedades.
● 8 entradas formando 8 grupos de canales
● Resolución ajustable por grupo de canales (12 bits + signo)
● Tipo de medición ajustable por grupo de canales:
– Tensión
– Intensidad
– Resistencia
– Temperatura
Para conocer más ver anexo (3.5).

2.4.7 CPU usada 315-2DP.

Sinopsis
CPU 315-2 DP

- La CPU con memoria de programa media a grande e interface maestro/esclavo PROFIBUS DP
- Para extensas posibilidades de ampliación de periferia
- Para configurar estructuras periféricas descentralizadas

Figura 18. CPU utilizada.

Diagnóstico con los LED de señalización CPU/MÓDULOS
El hardware SIMATIC S7 permite emitir diagnósticos con LEDs.
Los LED pueden tener los siguientes colores:
• Los LED verdes señalizan el funcionamiento normal (p. ej. que existe tensión de alimentación).
• Los LED amarillos muestran estados operativos fuera del funcionamiento normal (p. ej. "Forzado permanente". Activo).
• Los LED rojos señalizan fallos (p. e. un fallo de bus)
Además, si un LED parpadea indica un evento especial (p. e. borrado total).
Para mayor conocimiento ver anexo (4).

2.4.8 Esquema General de una instalación con PLC Siemens.

Para nuestro trabajo finalmente el esquema de instalación con el autómata se puede conocer en el anexo (5). También para conocer las características del software utilizado STEP 7 5.4 ver anexo (6). Luego en el anexo (7) se pueden conocer detalles de la Ventana Editor KOP/AWL/FUP. Finalmente podemos observar como queda el plano eléctrico del molino 9, ver anexo (8).

2.5. Descripción del Panel de Operador de Autómata SIEMENS Molino 9 de Cemento.

El panel de operador OP 170B es representantes de la serie de equipos Low End. Este equipo esta basado en el innovador sistema operativo estándar Microsoft Windows CE. Este redondea hacia abajo la paleta de productos de SIMATIC HMI. El OP 170B es el equipo de inicio con el precio más cómodo

para todas las CPUs de SIMATIC S7. El OP 170 B está equipado de manera estándar con una interfase para MPI y PROFIBUS-DP.
La solución propuesta para el funcionamiento automático de los equipos auxiliares del Molino de Cemento 9 incluye un display ó panel de operador donde se muestran las variables medidas en tiempo real:

1. Temperatura chumacera de entrada.
2. Temperatura chumacera de salida.
3. Temperatura punto de apoyo 1.
4. Temperatura punto de apoyo 2.
5. Temperatura del electrolito del arrancador.
6. Temperatura entrada filtro de mangas.
7. Presión de aceite collar.
8. Presión de aceite reductor.
9. Temperatura de los rodamientos delantero y trasero y 6 puntos en el devanado del motor.

Toda la adquisición de datos se centraliza en éste panel de operador. Aquí es donde se realiza la supervisión de las mediciones, ajuste de motores etc.
La primera pantalla que aparece es la siguiente:

Figura 19 (a). Panel Operador OP170B.

Es la pantalla inicial donde se muestra el nombre de la Empresa, la fecha y la hora, el logotipo y el recuadro F1-Siguiente. Al presionar el botón F1- Siguiente se ofrece la pantalla:

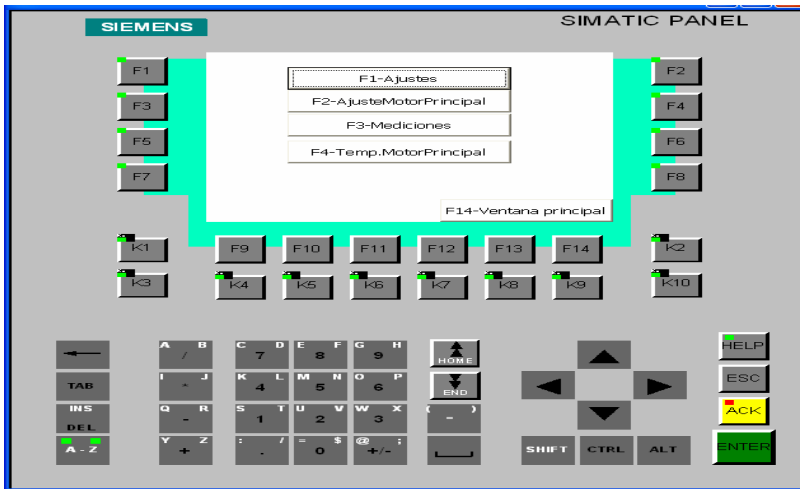


Figura 19 (b). Ajustes.

El recuadro **Ajustes** es para el personal autorizado pues al presionar la tecla F1 se solicita poner una clave ó password (***, 100), como se observa a continuación:

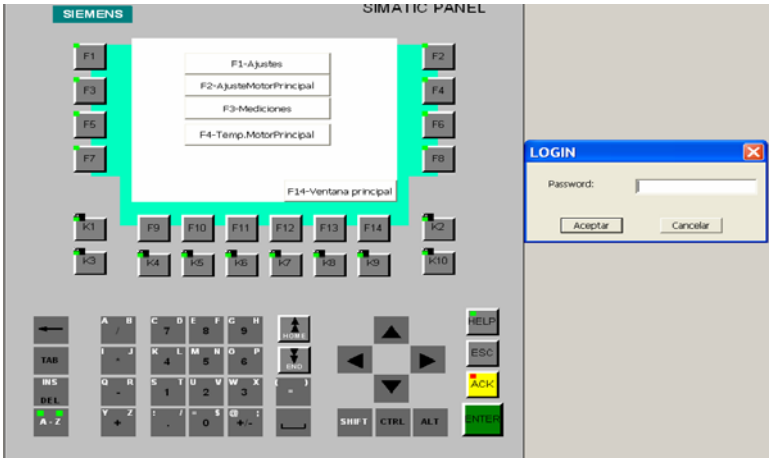


Figura 19 (c). Password.

Una vez que se introduce la clave, el personal autorizado puede acceder a cambiar ajuste de los parámetros del sistema mostrando la siguiente pantalla:

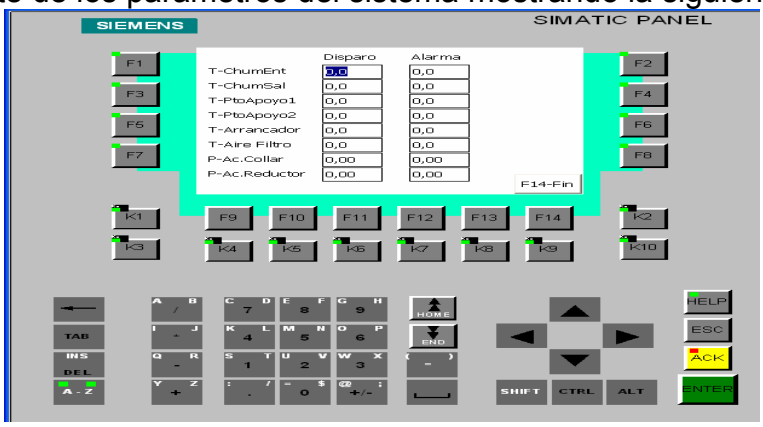


Figura 19 (d). Cambiar ajustes.

El recuadro **AjusteMotorPrincipal** es también para el personal autorizado. Al presionar la tecla F2 se solicita poner una clave ó password, como se observa a continuación:

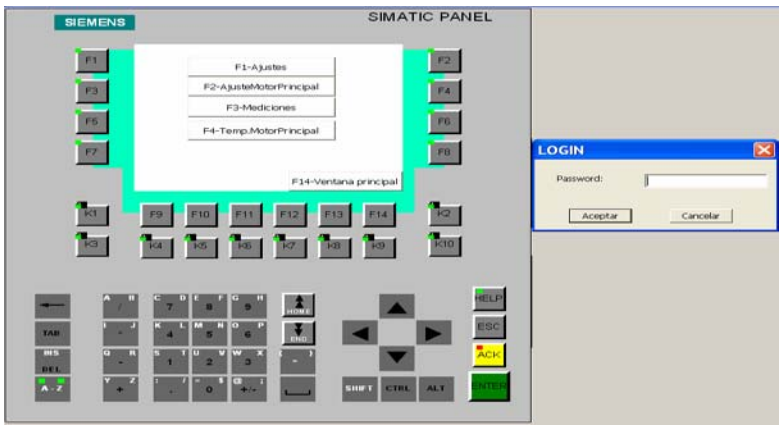


Figura 19 (e). Ajuste motor principal

Una vez que se introduce la clave, el personal autorizado puede acceder a cambiar ajuste de los parámetros de temperatura del Motor Principal mostrando la siguiente pantalla:

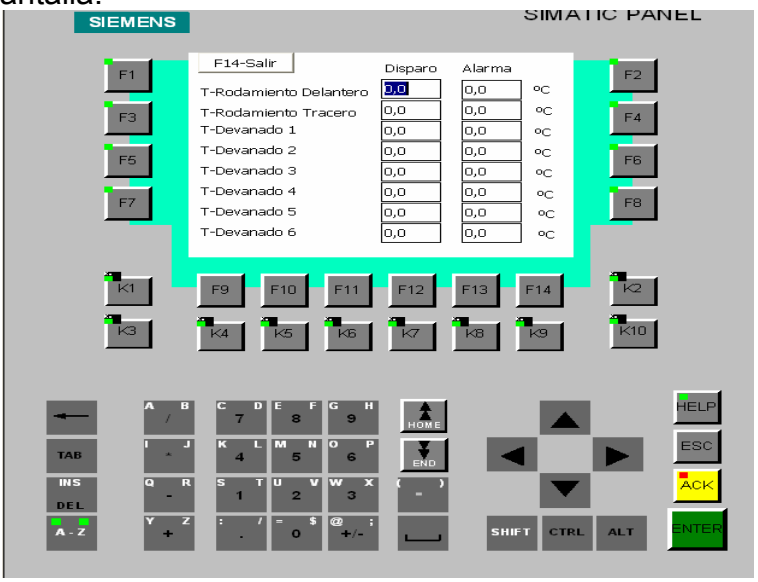


Figura 19 (f). Parámetros de Temperatura del Motor principal.

En todas las pantallas si se desea retornar a la pantalla del menú, se presiona F14 como se indica en el display.

Manipulación de los Avisos y Alarmas.

El sistema visualiza los avisos preventivos sobre el estado crítico de las variables, así como, el disparo ó alarma ocurrida en una determinada variable analógica, temperatura ó presión y en las variables digitales: protecciones térmicas de los motores, presostatos, termostatos, etc.

Ejemplo de la ventana que se muestra en pantalla con averías hipotéticas:

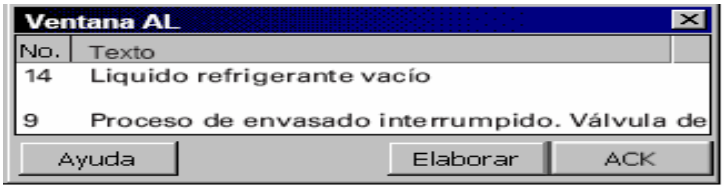


Figura 20. Ventana de averías hipotéticas.

En la pantalla se muestra el indicador de avisos que es el símbolo que se visualiza cuando en el equipo de operación hay por lo menos una alarma pendiente o que se debe confirmar. El indicador parpadeará mientras aún existan avisos que no hayan sido confirmados.

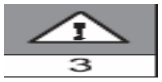


Figura 20 (a).

El número (aquí 3) representa la cantidad de avisos de alarma que aún existe.

Debido a su importancia, las alarmas tienen que ser acusadas. Para acusar manualmente los avisos de alarma pulsar la tecla.

Figura 20 (b).

El diodo intermitente integrado en la tecla luce mientras haya avisos de alarma que deben ser confirmados.

2.6 Valoración Ambiental.

En el proceso productivo de la fabricación de cemento se producen emisiones de gases y partículas sólidas a la atmósfera que no son tratadas. El agua es empleada en las actividades de molienda de pasta y enfriamiento de las bases del horno, las áreas de operaciones se limpian con una frecuencia de 7 días y emplean un consumo total de 1160 metros cúbicos diarios.

Las aguas industriales que se emplean en el horno van a parar a unas trampas de grasa y de ahí son recolectadas en una piscina y rehusadas en el proceso industrial.

Aunque en la Empresa no se cuenta con la caracterización de gases y polvo se percibe que la calidad del aire es pésima, existe alto grado de contaminación por polvos de la extracción de las materias primas, de la trituración primaria, de las chimeneas del horno, los molinos de Cemento y del taller de entrega.

Todos estos polvos afectan a focos receptores sensibles que rodean a la Empresa [3].

Dentro de los principales impactos que produce la industria al medio encontramos:

1. Al relieve.
    - Modificación del relieve terrestre por la apertura de canteras y frentes de minado.
    - Modificación del relieve terrestre por los movimientos de tierra para la extracción de materias primas.
    - Incremento de los procesos erosivos por explotación y cambios en el uso de suelo.
2. A los suelos.
    - Eliminación de la cubierta vegetal, protectora del suelo.
    - Incremento de la erosión.
    - Desplazamiento y eliminación de la capa de suelo.
    - Pérdida de la fertilidad de los suelos removidos.
    - Contaminación del suelo por derrame de aceites o hidrocarburos.
3. A la calidad del aire (emisiones atmosféricas). Contaminación del aire por emisiones de:
    - Polvos y gases de los hornos rotatorios y molinos de cementos.
    - Polvo de cementos proveniente de los silos, ensacador y despacho a granel.
    - Gases emitidos por las calderas de vapor.
    - Partículas lanzadas a la atmósfera producto a la explotación, trasiego, almacenamiento y manipulación de las materias primas.
    - Aumento del nivel de ruido por actividades industriales
4. Vertimiento de residuales líquidos.
    - Deficiente drenaje fluvial superficial.
    - Deficiente sistema de residuales albañales.
    - Residuales proveniente de salideros del sistema productivo.
5. Gestión de residuos.

- Micro vertederos.
- Chatarras y limallas del taller de maquinado.
- Baterías de plomo.
- Neumáticos.
- Ladrillos refractarios (aluminosos y de cromo magnesia)

6. A la calidad del agua marina.
   - Contaminación de los acuatorios por arrastres de hidrocarburos y sustancias químicas vertidas en los residuales de la planta.
   - Deposición de polvos procedente de la chimenea sobre la superficie del agua.
7. Al paisaje.
   - Aparición de vertederos industriales.
   - Deterioro de la calidad estética del paisaje con la aparición de áreas deforestadas, escombreras, etc.
8. Impacto sobre la población y trabajadores.
   - Aparición de nuevas causas de enfermedades.
   - Afectaciones a la salud por la concentración de polvos en el ambiente.
   - Aparición de nuevos riesgos de accidentes.
   - Proximidad de zonas pobladas a la Empresa y a los yacimientos.
9. A los recursos naturales, energéticos y turísticos.
   - Sobre consumo de agua por salideros en varios puntos de la fábrica.
   - Aumento del consumo de recursos energéticos.

Las emisiones de dióxido de carbono debidas a la decarbonatación no se pueden evitar, es una etapa esencial dentro de la fabricación del cemento, sin embargo, las emisiones se pueden reducir al utilizar materiales con propiedades cementantes como sustitutos parciales para el cemento.

Existen recomendaciones de índole general que influyen decisivamente en el ahorro y uso racional de la energía y que contribuyen a disminuir la contaminación ambiental. Las que se consideran más concernientes a nuestra investigación son:

- Priorizar los estudios necesarios para la introducción en la producción de cementos mezclados, a partir de desechos o subproductos nacionales, como pudieran ser las cenizas de la combustión del bagazo de la industria azucarera.
- Uso de desechos industriales y orgánicos como sustitutos parciales de combustibles primarios, uso de desechos de cal u otros desperdicios como sustitutos parciales para la caliza, así como la utilización de la escoria de los hornos de fundición, que darían lugar a la disminución de los índices de consumo y de la emisión de CO_2 a la atmósfera.
- Solucionar la baja existencia de medios de medición en toda el área, así como elevar el nivel de automatización y control del proceso, tanto en el área de los hornos como en la de molinos.

Estos tipos de controles han demostrado en fábricas de cemento en el mundo un promedio de disminución del consumo calorífugo del 4.7 %, un aumento en la producción del 10.9 %. En el área de molinos se han obtenido un aumento en la producción del 13.5 % y una disminución del consumo energético del 15.6 %. A parte de todas estas mejoras van aparejadas a ellas otras series de beneficios que no son para despreciar. La propuesta de nuestro proyecto está encaminada a mejorar la adquisición y puesta en funcionamiento de los

motores de filtro de manga para disminuir el nivel de pérdidas de polvo a la atmósfera así como el índice de consumo.

2.7 Valoración Técnico Económica.

A medida que se realiza una investigación, frecuentemente los ingenieros se enfrentan a determinadas situaciones que requieren de ciertos conocimientos económicos y de financiación empresarial.
Esta investigación se llevo a cabo con el objetivo de proponer una metodología que posibilite mejorar el funcionamiento del molino 9 de clínker en la Fábrica de Cemento José Mercerón Allen.
Optimizar el rendimiento total de una unidad de fabricación de cemento exige disponer de una estrategia de automatización para toda la planta. No sólo es necesario reducir la demanda de energía en todas las áreas, además hay que buscar el punto óptimo de operación, que ha de ser coherente con los objetivos de productividad y calidad, y acorde con los límites exigidos de emisiones al medio ambiente.
En el proceso de fabricación del clínker están relacionados ventiladores de gran tamaño y motores que forman parte del filtro de mangas. Además de bombas de lubricación de collar y otros equipos incluyendo el motor principal del molino.
En el molino 9 se realizó una automatización con vista a reducir el consumo de energía por frecuentes paros y lograr que el proceso pierda lo menos posible su continuidad para que pueda cumplir con todas las exigencias que garantizan un mejor funcionamiento, y hacen que se aprovechen más las materias primas para la producción. Se hizo una inversión para poder desarrollar eficientemente el trabajo completo, a continuación se ofrecen algunos detalles.

Descripción.	**Código.**	**Cantidad.**	**Precio.**	**Importe total. (Euros).**
Fuente de Alimentación PS 307-1K; 10 A, AC 120-230, DC 24 V.	6ES7307-1KA00-0AA0	2	218.74	437.48
Módulo Central CPU 315-2DP	6ES7315-2AG10-0AB0.	2	2090.05	4180.10
Entrada Digital 16 DE, DC 24V; at prot.	6ES7321-1BH02-0AA0.	4	226.74	
Salida Digital 16 SD, DC 24V, 0.5A, sep galv.	6ES7322-1BH01-0AA0.	2	315.52	631.04
Salida Digital 16 RA UC 24-230V, relee.	6ES7322-1HH01-0AA0.	2	469.30	938.60
Entrada Analógica 2 EA; sep galv.	6ES7331-7KB02-0AB0.	2	272.70	545.40
SOFTWARE DE CONFIGURACIÓN PROTOOL/LITE, 5 IDIOMAS PARA	6AV6580-0BX06-ODX0.	1	472.50	472.50

WIN 98, XP.				
SIMATIC S7, STEP V5.3 EJECUTABLE BAJO WIN2000PROF/XP; S7300/400, C7.	6ES7810-4CC07-0YA5	1	2323.00	2329.00
SIMATIC PANEL OP 170B BLUE MODE DISPLAYSTN INTERFAZ MPI/PROFIBUS.	6AV6542-0BB15-2AX0.	1	1400.70	2801.40
TOTAL				25 847.08
IMPORTE TOTAL				25 587.17

Tabla del costo de los materiales utilizados.

Ha sido de atención fundamental lograr los mayores rendimientos:

- Elevar la productividad del trabajo (con la disminución de los costos de producción).
- Elevar el estado técnico de los equipos en la industria, mejorando las condiciones y calidad de mantenimiento de los mismos, para obtener de ellos el máximo de eficiencia.

Con el desarrollo de la metodología propuesta se logra un aumentar en gran medida la eficiencia, al implementar los modelos en Redes de Petri y su traducción a lenguajes de autómatas haciendo que la fiabilidad del programa resultante sea un 99.9 % más seguro para lograr que el funcionamiento de la planta de forma más óptima. Siendo esto un aporte de las buenas relaciones de colaboración entre la Universidad de Oriente Sede Julio Antonio Mella FIE, Departamento de Automática con la Empresa de Automatización Integral (CEDAI).

De esta forma se cumple con los requisitos de hacer una producción más eficiente y económica que proporcione aportes al desarrollo del país, al mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos de la sociedad contando con una producción que pueda proveer gradualmente los materiales para llevar a cabo grandes construcciones.

2.8 Valoración por criterio de expertos.

Ha sido de gran importancia la investigación realizada y cuenta con el buen criterio de especialistas en la profesión. Según la valoración que se ha emitido, la metodología que se expone en el trabajo queda con vista a poder implementarse en otros tipos de sistemas automatizados. Ver anexo (15).

Conclusiones.

Esta investigación ha permitido mostrar como la propuesta de la metodología desarrollada para enfrentar los fallos que se producen en el molino 9 de la fabrica de cemento José Mercerón Allen pueden contribuir a la solución de los problemas que presenta en la actualidad, debido a los paros que interrumpían la continuidad del proceso. Se pudo comprobar que con los modelos desarrollados en Redes de Petri y su traducción a lenguaje de autómata, implementado en el PLC S7 300 de Siemens se logró un funcionamiento eficiente en el proceso que hizo posible que se puedan disminuir los bajos niveles de producción, eficiencia y alto consumo de los portadores energéticos en el molino de cemento. De esta manera se mejora la eficiencia del proceso de producción en el molino 9 y así de la planta de molinos de clínker.

Recomendaciones.

Por los resultados obtenidos es bueno considerar la efectividad que ofrece la investigación para aplicarla a otros procesos industriales. Además de que puede servir de método para el trabajo futuro en otros proyectos por ingenieros del Cedai.

Bibliografía.

1. Aspectos generales del Cemento. http://www.actualidaddermatol.com/art3695.pdf visitada en marzo 11 de 2009.
2. BALCELLS, Josep y ROMERAL, José Luís. Autómatas Programables. McGraw – Hill (1991).
3. Batista Celene Milanés. Análisis de fuentes contaminantes en la Bahía de Santiago de Cuba.
4. Conf. 2. Modelado y diseño de sistemas de automatización integrada. Metodologías y herramientas de modelado, simulación y programación de estos sistemas. Uso de las Redes de Petri como método formal de diseño de automatización industrial integrada. Metodología GHENeSys. Plataforma moodle 10.30.3.16/moodle.
5. Conf. 3. Tolerancia a fallos en sistemas integrados de automatización. Plataforma moodle 10.30.3.16/moodle.
6. Conferencias 9, 10, 11, 12 Plataforma moodle. 10.30.3.16/moodle.
7. Enfoque cinético sobre la molienda del clínker. http://revistas.mes.edu.cu:9900/eduniv/03-Revistas-Cientificas/Rev.Cubana-de-Química/2001/1/14401108.pdf visitada en marzo 11 2009.
8. Ferreira (Capítulo 2). Fundamentos de las Redes de Petri. http://antares.itmorelia.edu.mx/~fmorales/SisDisII/aRedesPetri01.pdf. visitada en marzo 11 de 2009.
9. Catchal Heavey John Ryan, Process modelling for simulation www.sciencedirect.com (2006).
10. Peña Cañas Luís Alejandro. Estudio para la reducción de los costos de producción mediante la automatización de los finales de línea de la planta dressing en la Empresa Unilever Andina Colombia LTDA. Universidad del Valle Facultad de Ciencias de la Administración Maestría en Administración de Empresas MBA Santiago de Cali, septiembre de 2007.
11. PIEDRAHITA, Ramón .Ingeniería de la Automatización Industrial. Practice – Hall (1991).
12. Revista Control Engineering ¨Understanding Programmable Automation Controllers (PACs) in Industrial Automation¨ (2006).
13. W.L. Wang Technology for Automatic Ceramic Powder Storing and Continuous Proportional Weighing. School of Mechanical and Electrical Engineering Nanchang (330031), China. E-mail: pianowwlg163.com. (2006).
14. Siemens, Manual del PLC s7 300/400 Siemens KT 10.2, (2006).

Anexos.

Anexo 1.

Agresiones del ambiente industrial. (Fuentes de fallos).

Las “agresiones” a las que se ven sometidos los sistemas automatizados en el entorno industrial se clasifican en tres tipos:

1.- Perturbaciones de carácter físico-mecánicas:

•**Vibraciones**: Proximidad a aparatos generadores de vibraciones someten a aceleraciones peligrosas a los contactos

•**Choques**: Afectaciones por golpes o acciones mecánicas continuadas pueden modificar las características fisco-mecánicas del objeto y afectar su funcionamiento

•**Humedad**: Una tasa de humedad superior al 80% provoca condensaciones y acelera la corrosión, e inferior al 35% favorece la creación de potenciales electroestáticos

•**Temperatura**: Proximidad de hornos, reactores, altos hornos o de condiciones climáticas difíciles provocan limitaciones en las tolerancias admitidas por los componentes

2.- Polución de carácter químico.

•**Gases corrosivos** (Cl_2, H_2S, SO_2): Las corrosiones estropean los contactos y los microcircuitos

•**Vapores de hidrocarburos**: Pueden crear costras e incrustaciones que afectan el funcionamiento del equipo

•Polvos metálicos y minerales en Acerías, fundiciones, cementos, depuradoras

En ocasiones son necesarios aparatos con una hermeticidad total.

3.- Perturbaciones eléctricas:

• La Fem termoeléctrica (efecto Peltier) de algunos milivoltios;

•Los potenciales voltaicos de unión, creados en el contacto de metales químicamente diferentes.

•Los parásitos de origen electrostático.

•Las interferencias electromagnéticas resultantes de acoplamientos inductivos o capacitivos, proximidad de transformadores, de estaciones de soldadura, de contactores de arranque), efecto del rayo.

Anexo 2.
Descripción general de la secuencia de trabajo del Molino 9.

Se pone el selector Manual-Automático en Automático. Si la canal transportadora está en condiciones de ponerse en marcha (ampolleta de canal llena no activada a través de un rele auxiliar y protección térmica motora de la canal no disparada) entra en funcionamiento el motor de la canal transportadora. Luego si existe presión de aire comprimido <2 bar (presostato filtro) y la temperatura de la entrada del filtro de mangas está por debajo de 120°C, además de no estar disparadas las protecciones térmicas del sinfín, ventilador principal, opérculo y ventilador de limpieza (todos motores del filtro) se procede a arrancar en ese mismo orden los 4 motores. En el caso del motor del ventilador principal al arrancarse se esperarán 10 segundos antes de arrancar el opérculo por ser el primero un motor de arranque pesado. Posterior a esto se comienza la secuencia de limpieza de las 7 cámaras del filtro, o sea cada 30 segundos se energiza una electroválvula para limpiar la cámara correspondiente. Esta secuencia de limpieza se mantendrá mientras este trabajando el filtro. Es importante destacar que si existe alguna avería ó disparo en cualquiera de las condiciones desde la arrancada del primer motor del filtro deben detenerse todos los equipos del filtro y por supuesto lo que sigue en la secuencia posterior, pues en el filtro deben trabajar todos los equipos en conjunto. Luego si las protecciones térmicas de los motores de las dos bombas de lubricación de collar no están disparadas y las temperaturas de los 4 puntos donde lubrica esta bomba (chumaceras entrada y salida y puntos de apoyo 1 y 2) están por debajo de 70 °C se arranca una bomba de aceite de collar, se espera 12 segundos para dar tiempo a que suba la presión de aceite por arriba de 1 bar, señal proveniente del transmisor de presión y no mayor de 5,8 bar. (Protección transmisor de presión). En caso que transcurrido el tiempo de 12 segundos no suba la presión, se procederá a arrancar la bomba de reserva con el mismo procedimiento. Si aun así no sube la presión se detiene el motor de la bomba collar y se queda la secuencia trabajando hasta el filtro de mangas, existiendo la posibilidad de una vez solucionado el problema por el botón de arranque manual de la bomba continuar la secuencia, ó reiniciar la misma desde el principio. Si trabajando el molino con todos sus equipos se cae la presión de collar debe realizarse el mismo procedimiento de arrancar la otra bomba sin parar los equipos hasta transcurrir 12 segundos en cuyo momento si no ha subido la presión deberán detenerse todos los equipos de la secuencia a partir de la bomba de collar para adelante. Si ya ha arrancado satisfactoriamente la bomba de collar y subido la presión y no está disparada la protección térmica del ventilador de la caja de aceite del reductor, se pone en funcionamiento el mismo. Luego con la condición de la protección térmica de la bomba del reductor cerrada, además de estar la temperatura del aceite para reductor en condiciones (termostato), el nivel de aceite en la caja sea el adecuado (interruptor), la presión diferencial en los filtros de la caja en condiciones (presostato diferencial) se arranca motor de la bomba del reductor y se espera 12 segundos para dar tiempo a que suba la presión por arriba de 1 bar(señal suministrada por el transmisor de presión) y un presostato(en el caso del transmisor debe protegerse por alta < 5,8 bar.). Si al transcurrir el tiempo no ha subido la presión se procederá a detener el funcionamiento del motor de la bomba, existiendo la posibilidad de una vez solucionado el problema por el botón de arranque manual de la bomba continuar la secuencia, ó reiniciar la

misma desde el principio. Si la presión de aceite para reductor tiene el valor adecuado y todas las condiciones anteriores están correctas, además de que la temperatura del electrolito del arrancador para el motor principal este por debajo de 80°C y las 8 temperaturas del motor principal presenten un valor aceptable para el trabajo del mismo, se dará un contacto(por el que circulara 220 V AC para botonera motor principal y de esta forma luego del operador revisar las lubricaciones principales del molino, proceda a arrancar el motor del molino por su botonera. En cada paso explicado anteriormente, si una de las protecciones falla se detiene la secuencia desde ese equipo hasta la señal para arranque del motor principal.
Si el Selector Manual-Automático se pone en Manual se activa cada botón cuando sea oprimido, arrancando el motor correspondiente, sin secuencia pero sí teniendo en cuenta las protecciones correspondientes al equipo en cuestión para evitar daños.
Si el Selector Manual-Automático se pone en Neutro (posición central) se detienen todos los motores.
La bomba de recirculación de electrolito se arranca al comenzar la secuencia automática y se detiene cuando el operador ejecute la arrancada del molino. Si la temperatura del electrolito llega a 70°C se arranca la bomba 1 hora. Si la temperatura aún así sigue subiendo y llega a 80°C debe pararse el molino.
Para las mediciones analógicas de presión y temperatura existirá una alarma preventiva sonora cuando llegue al valor prefijado, mostrándose además en el panel de operador.

Señales para PLC Molino de Cemento 9.
Entradas Analógicas.

- 1 presión de aceite de lubricación para collar (4-20 mA) Disparo en 1 y 5,8 bar Preventivo en 1,1 bar
- 1 presión de aceite de lubricación para reductor (4-20 mA) Disparo en 1 y 5,8 bar Preventivo en 1,1 bar
- 1 Pt 100 temperatura electrolito arrancador motor principal. Disparo 80 ºC Preventivo en 70°C
- 1 Pt 100 temperatura aceite chumacera de entrada al molino. Disparo 70°C Preventivo 65°C
- 1 Pt 100 temperatura aceite chumacera de salida del molino. Disparo 70°C Preventivo 65°C
- 1 Pt 100 temperatura aceite punto de apoyo 1. Disparo 70°C Preventivo 65°C
- 1 Pt 100 temperatura aceite punto de apoyo 2. Disparo 70°C Preventivo 65°C
- 1 Pt 100 temperatura aire entrada del filtro de mangas. Disparo 120°C Preventivo 110°C.
- 2 Pt 100 temperaturas rodamientos delantero y trasero motor principal. Disparo 100°C Preventivo 90°C.
- 6 Pt 100 temperaturas en puntos del devanado del motor principal. Disparo 150°C Preventivo 145°C.

Salidas Digitales a relee.

- Magnético motor canal.
- Magnético motor sinfín filtro.
- Magnético motor ventilador principal filtro.
- Magnético motor opérculo.
- Magnético motor ventilador de limpieza filtro.
- Magnético motor bomba de aceite para collar 1.
- Magnético motor bomba de aceite para collar 2.
- Magnético motor bomba de aceite para reductor.
- Magnético motor ventilador caja de aceite para reductor.
- Magnético motor bomba de recirculación de electrolito.
- Señal para arranque del Molino.

Salidas Digitales 24 V DC.

- 7 electroválvulas del sistema de limpieza de las cámaras del filtro de mangas (de la 1 a 7).
- Alarma Sonora.

Entrada Digitales 24 V DC.

- Selector Manual- Automático en Manual.
- Selector Manual- Automático en Automático.
- 10 botoneras simples para cada motor descrito antes para arranque en Manual.
- 9 estados de funcionamiento y protecciones térmicas de los motores.
- 1 presostato aire comprimido para sistema de limpieza filtro de mangas.(> 2 bar)
- 1 presostato presión de aceite de lubricación para reductor.(> 1 bar)
- 1 termostato temperatura de aceite de lubricación para reductor (80 ºC)
- 1 presostato diferencial filtros caja de aceite reductor(Disparo 1,2 bar)
- 1 contacto relee auxiliar ampolleta canal transportadora.
- 1 botón desactivar alarma.
- 1 contacto confirmación de funcionamiento de los motores del filtro.

Anexo 3.
Módulo de entradas digitales SM 321 32DI x 24VDC.
Datos Técnicos.
Tensiones, intensidades, potenciales.
Montaje horizontal hasta 40 grados Celsius 32 entradas.
Diferencia potencial admisible entre circuitos diferentes 75 V cc, 60 V ca.
Aislamiento ensayado con 500 V cc.
Consumo del bus posterior, máximo 15 mA.
Disipación del modulo, típico 6.5 W.
Datos para un sensor.
Valor Normal 24 V cc.
En señal "1" 13 a 30 V.
En señal "0" -30 a +30 V.
Intensidad en la entrada en la señal "1", típico 7 mA.

Anexo 3.1.
Módulo de salidas digitales SM 322 con 16 DO, 24 VDC/0.5A.
Datos Técnicos.
Tensiones, intensidades, potenciales.
Montaje horizontal hasta 40 grados máximo 40 A.
Diferencia potencial admisible entre circuitos diferentes 75 V cc, 60 V ca.
Consumo del bus posterior máximo 80 mA.
Indicación del estado un led verde por canal.
Datos para seleccionar un actuador.
Tensión de salida en señal "1" Mínimo (-0.8 V)
Intensidad de salida en señal "1" valor nominal 0.5 A.

Anexo 3.2.
Módulo de salidas digitales por relee utilizado SM 322 con 16 DO por Rele AC 120/230 V.
Datos Técnicos.
Tensiones, intensidades, potenciales.
Tensión nominal de los relees L+ 24 V.
Intensidad total de las salidas por grupo máximo 8 A.
Consumo del bus posterior máximo 100 mA.
Indicación del estado led verde.
Datos para seleccionar un actuador.
Corriente térmica permanente máxima 2 A.
Tensión/Intensidad de carga mínima 10 V/10 mA.

Anexo 3.3.
Módulo de entradas analógicas SM 331; AI 8 x RTD; (6ES7331-7PF01-0AB0).
Datos Técnicos.
Tensiones, intensidades, potenciales.
Tensión nominal de alimentación para la electrónica L+24 V cc.
Consumo del bus posterior máximo 100 mA.
Disipación del modulo típico 6.4 W.
Limite de error práctico.
Termorresistencia Pt100 +-1 °C.

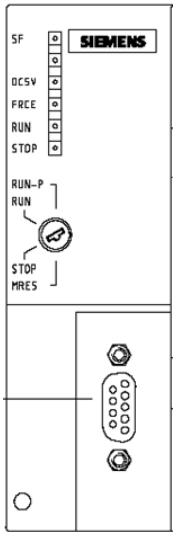
Limite de error básico.
Termorresistencia Pt100 +-0.5 °C.
Datos para seleccionar un sensor.
Rango de entrada (valores nominales resistencia de entrada).
Termorresistencia Pt100 rango climático.

Anexo 3.4.
Módulo de entradas analógicas SM 331; AI 2 x 12 Bit; (6ES7331-7KB02-0AB0).
Datos Técnicos.
Tensiones, intensidades, potenciales.
Tensión nominal de alimentación L+ 24 Vcc.
Rango de medición de 4 a 20 mA.
Consumo del bus posterior máximo 50 mA.
Limite de error básico (limite practico a 25 °C).
Entrada de Tensión 80 mV, +-0.6 %.
Entrada de intensidad de 3.2 a 20 mA, +- 0.4 %
Termorresistencia Pt100, +-0.7 %.

Anexo 3.5.
Módulo de entradas analógicas SM 331; AI 8 x 13 Bit; (6ES7331-1KF01-0AB0).
Datos Técnicos.
Tensiones, intensidades, potenciales.
Corriente constante para sensor tipo resistencia.
Termorresistencia y medición de resistencia 0....60Ω.
Consumo del bus posterior máximo 90 mA.
Limite de error práctico (en todo rango de temperaturas, en referencia al rango de entrada).
Entrada de Tensión +-5 V, 0.6 %.
Entrada de Intensidad +-20 mA, 0.5 %.
Resistencia 0 a 6 kΩ.
Termorresistencia Pt100.
Limite de error básico.
Entrada de Tensión +-5 V.
Entrada de Intensidad +-20 mA.
Resistencia 0 a 6 kΩ.
Termorresistencia Pt100.

Anexo 4.
CPU 315-2DP. Características.

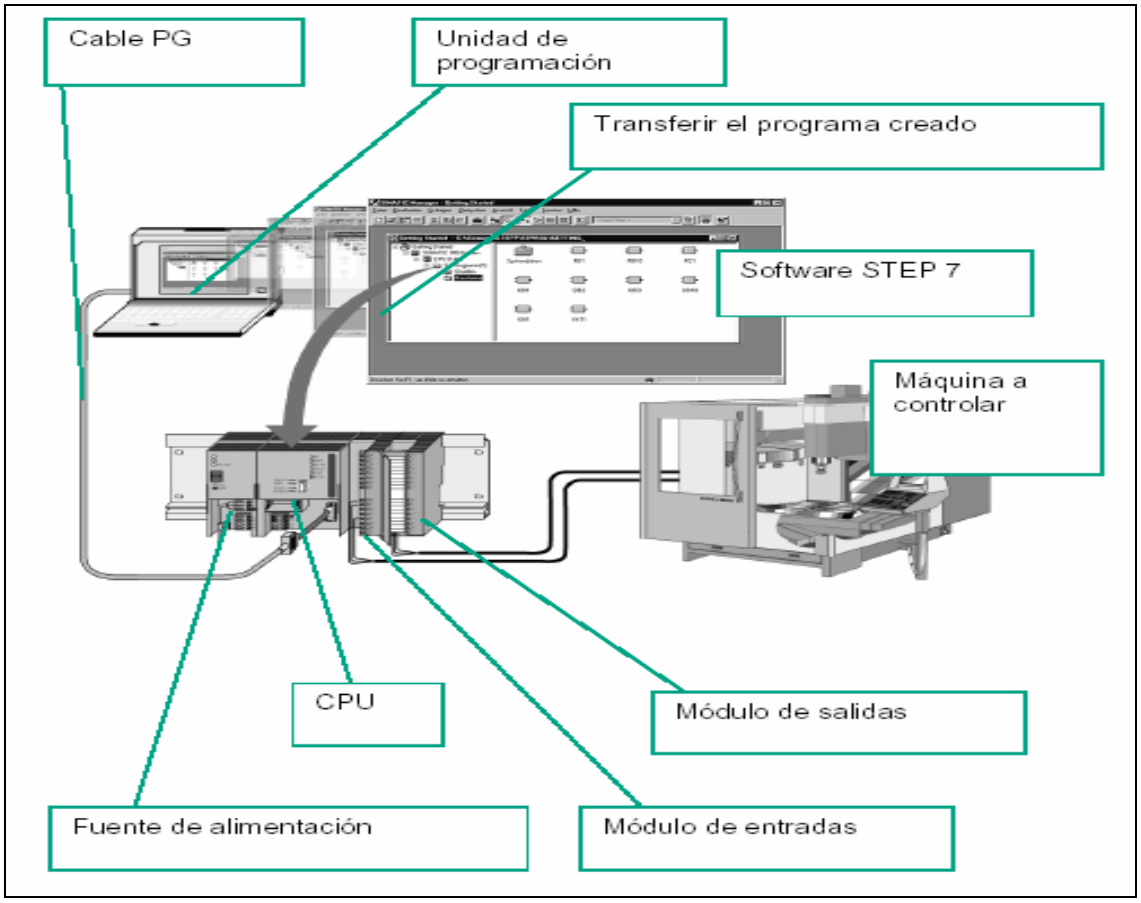
LED'S DE CPU



SF ... (red) .. ERROR HARDWARE/SOFTWARE
BATF ... (red) ERROR BATERIA
DC5V ... (green) ERROR BATERIA
FRCE ... (yellow) FORZADO ACTIVO
RUN ... (green) .. CPU MODO RUN
STOP ... (yellow) CPU MODO STOP
BUS1F ... (red) FALLO INTERFACE 1
BUS2F ... (red) FALLO INTERFACE 2

Anexo 5.

Esquema general de instalación con PLC S7-300 de Siemens.

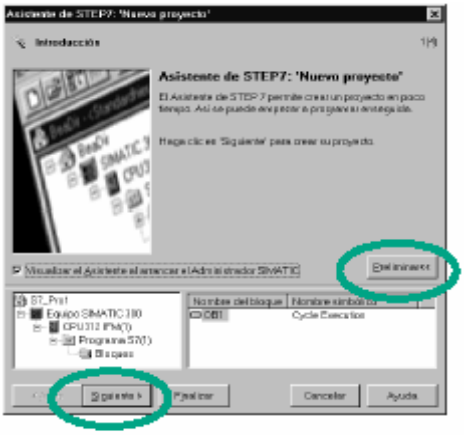


Anexo 6.

Características del software utilizado STEP 7 5.4.

Comenzar una aplicación con STEP 7

Haga doble clic en el icono Administrador SIMATIC. Se activará el Asistente de STEP 7.



Con el botón **Preliminar** se muestra y oculta la estructura del proyecto que se está creando. Para que se abra el segundo cuadro de diálogo pulse el botón **Siguiente**.

Estructura del proyecto en el Administrador SIMATIC

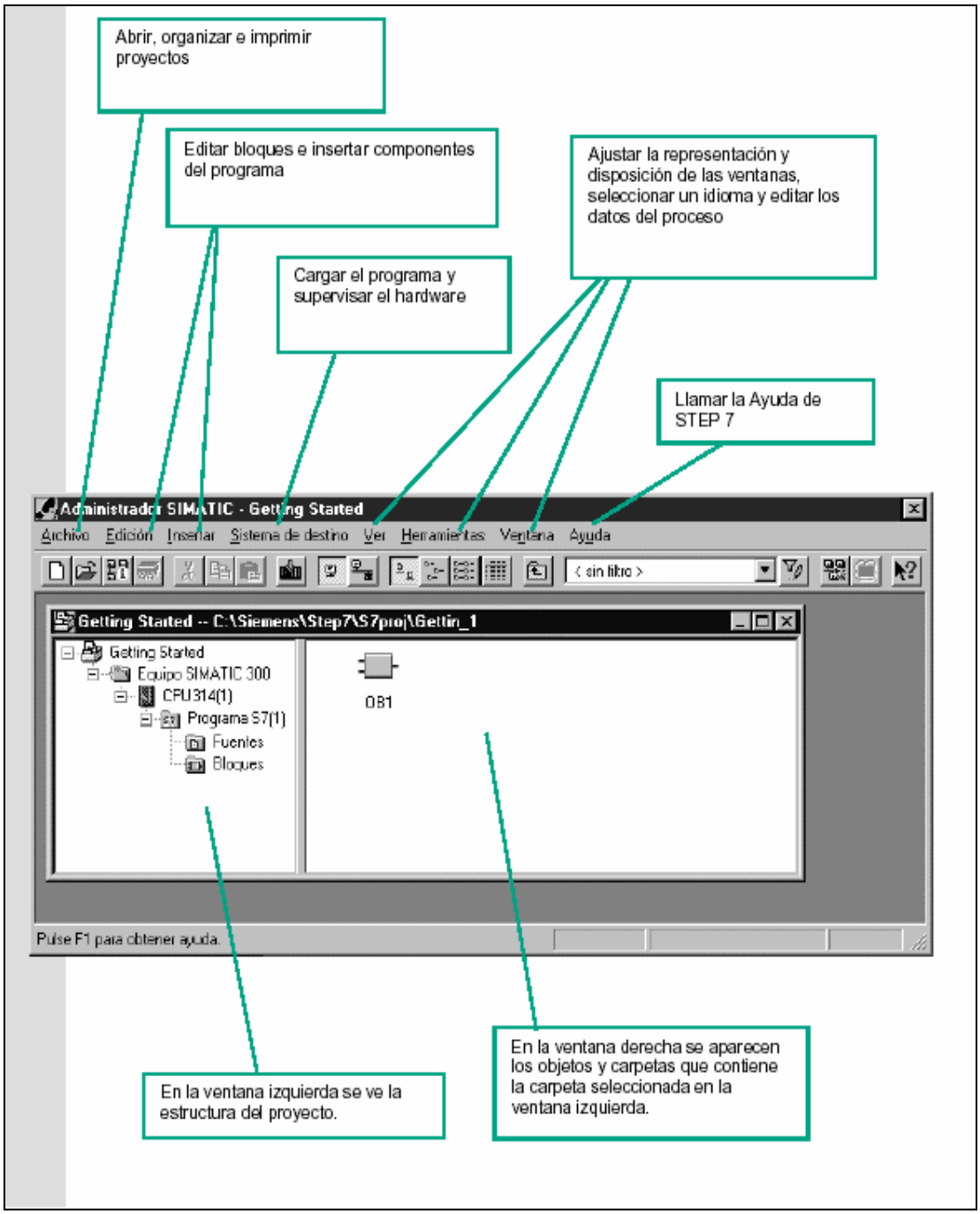
Desde esta ventana se accede a todas las funciones y ventanas de STEP 7.

La ventana KOP/AWL/FUP

En la ventana KOP/AWL/FUP se programan todos los bloques. Como ejemplo para los tres lenguajes le mostramos aquí la ventana KOP. Ver anexo (12). Esquema de contactos (KOP), Lista de instrucciones (AWL) y Diagrama de funciones (FUP). Con algunas restricciones, los programas creados con uno de estos editores se pueden visualizar y editar con los demás.

Editor de programas. El editor AWL visualiza el programa textualmente. Permite crear programas de control introduciendo la nemotécnica de las operaciones.

Ventana Administrador Simatic.

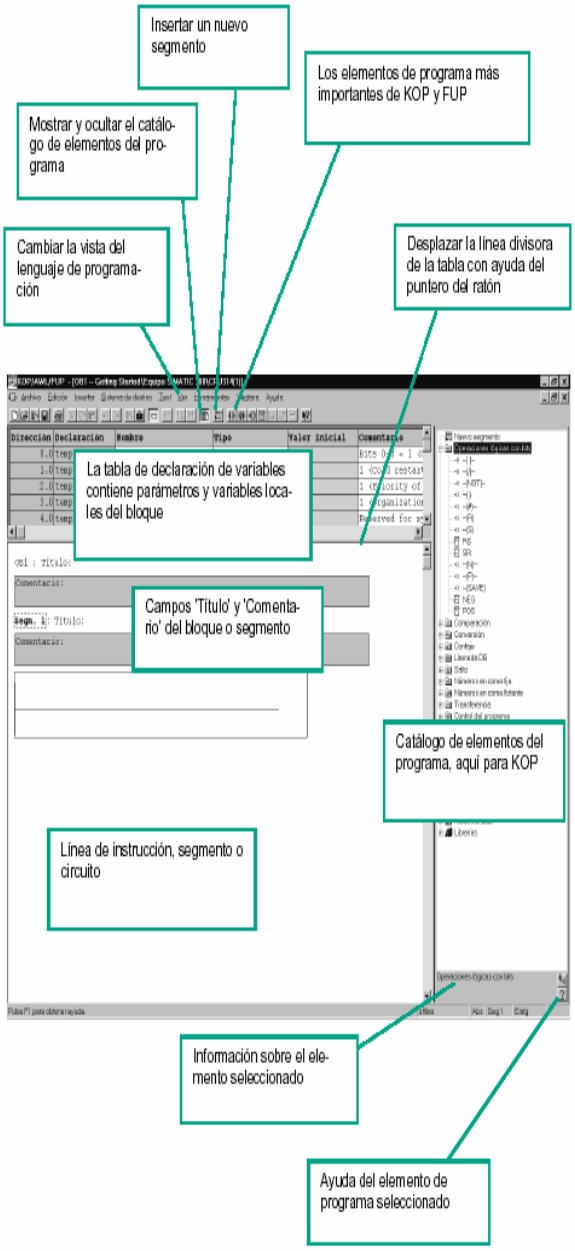


Anexo 7.

Ventana Editor KOP/AWL/FUP.

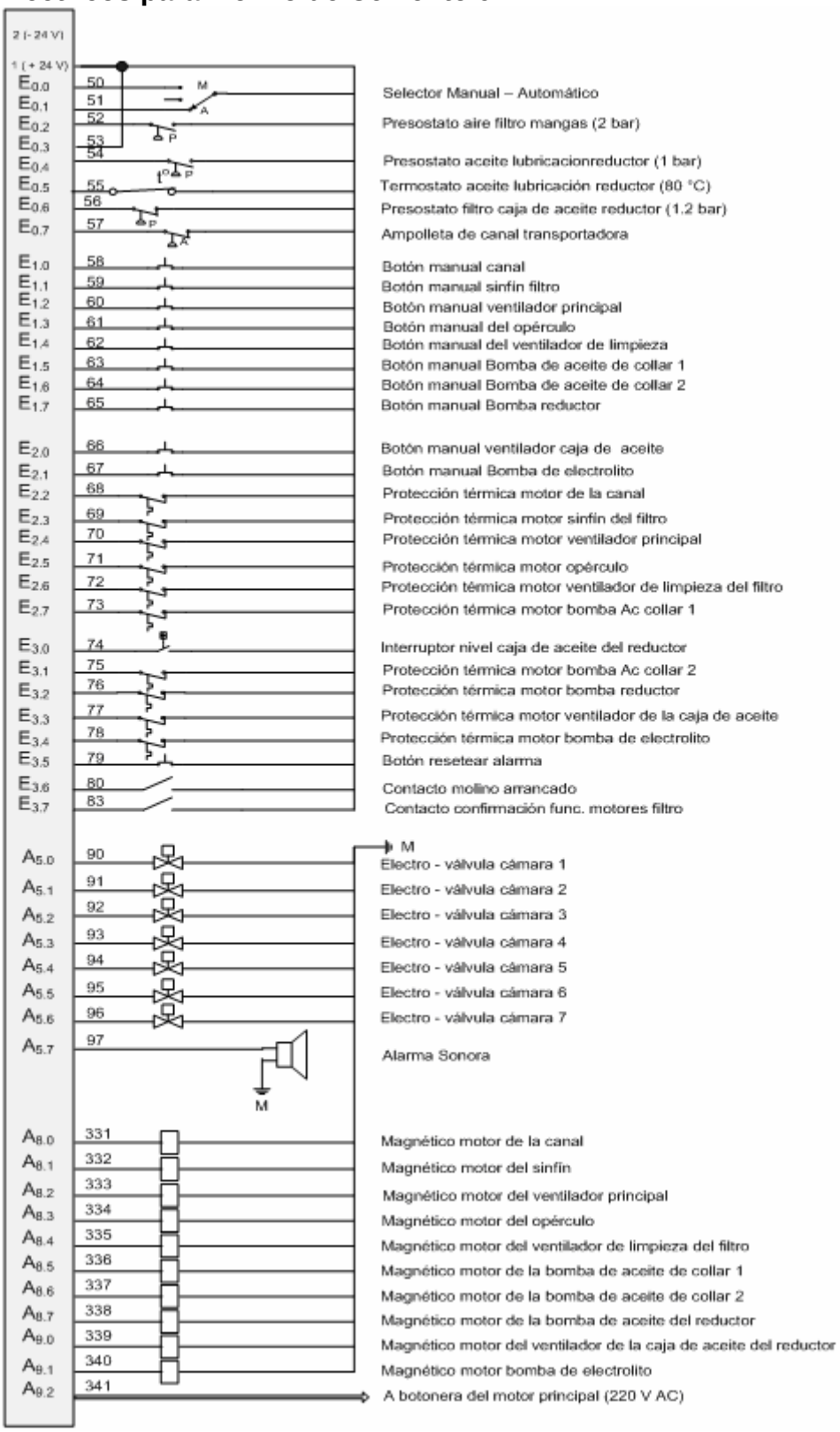
La ventana KOP/AWL/FUP

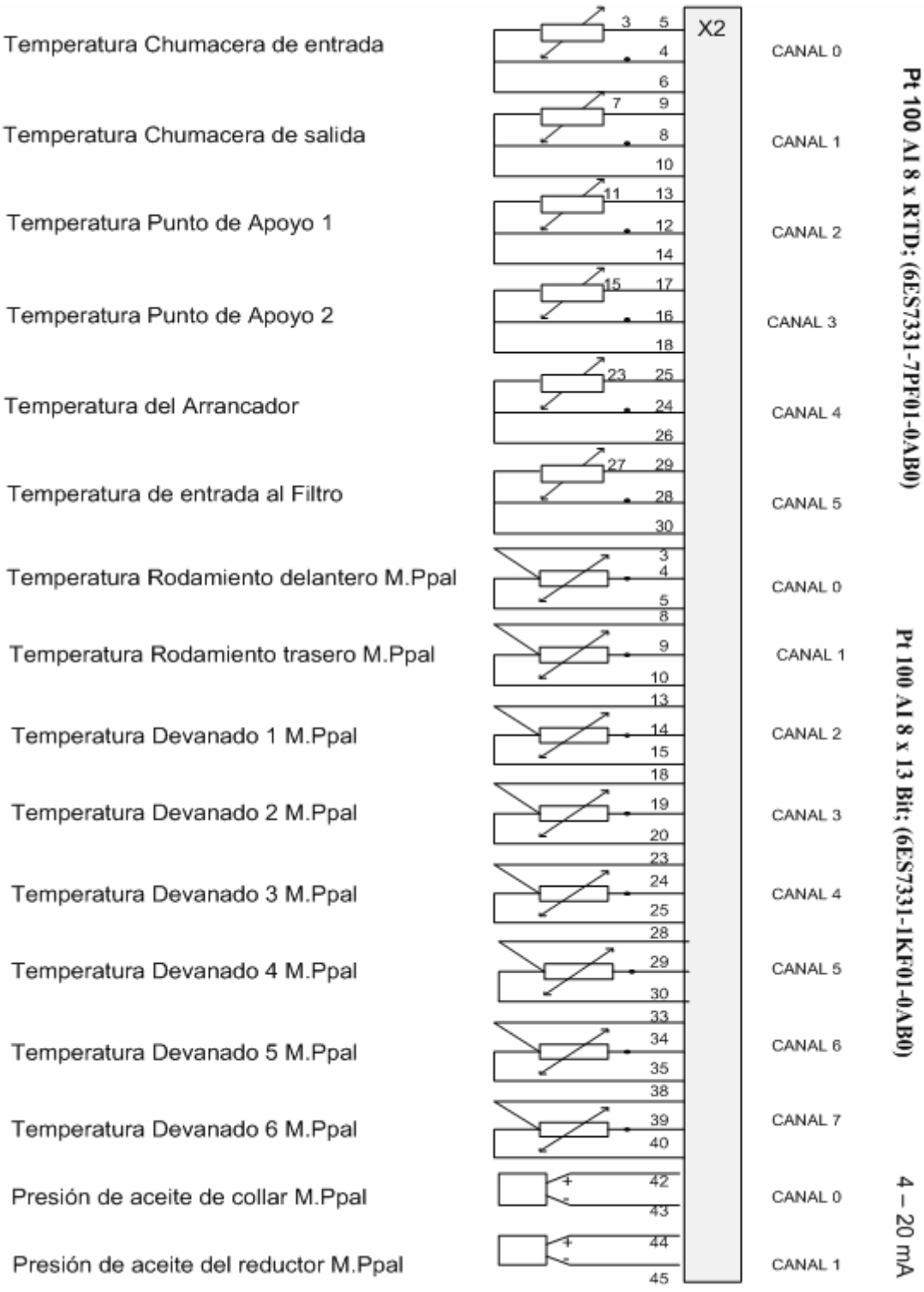
En la ventana KOP/AWL/FUP se programan todos los bloques. Como ejemplo
Para los tres lenguajes le mostramos aquí la ventana KOP.



Anexo 8.

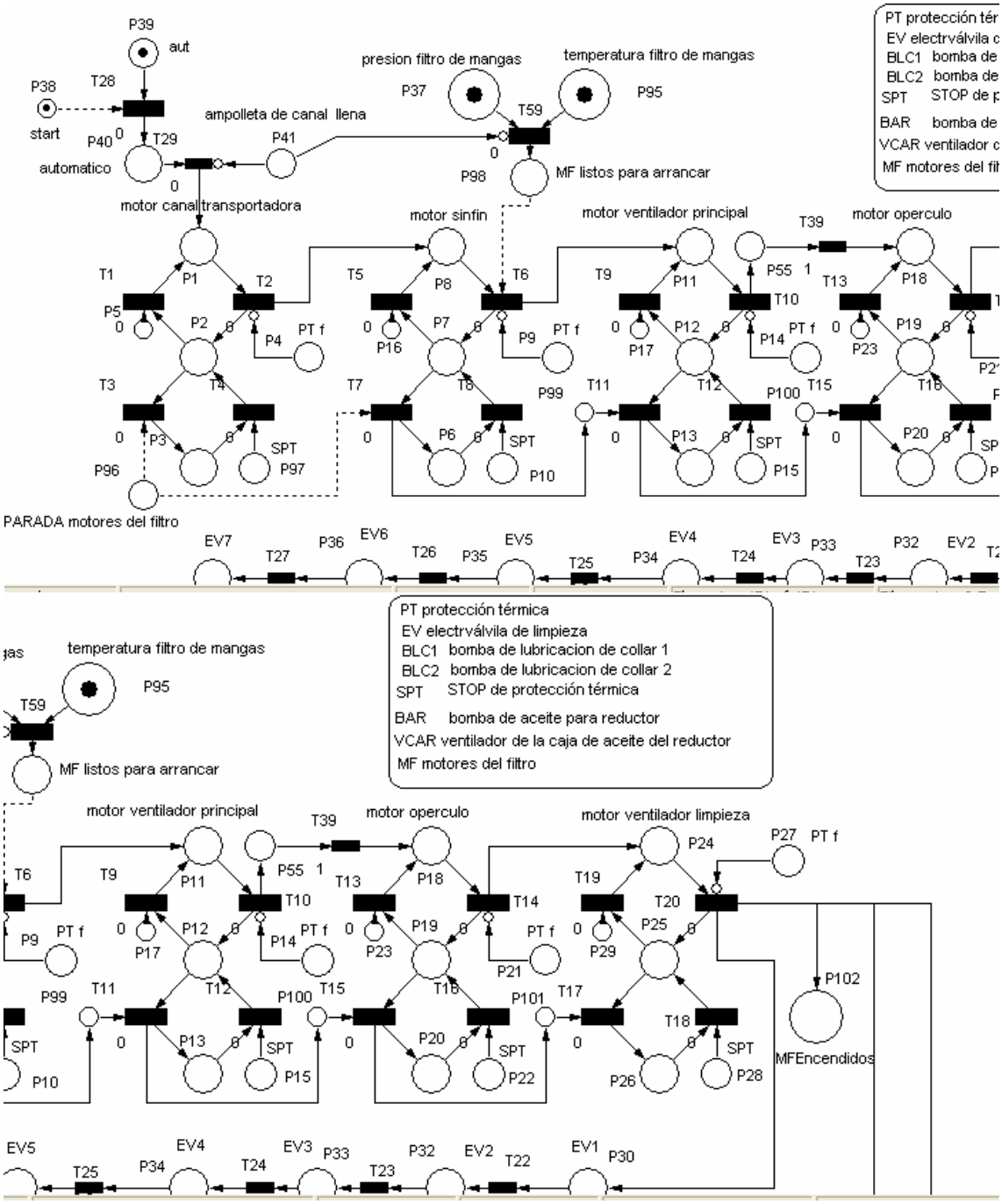
Planos Eléctricos para Molino de Cemento 9.

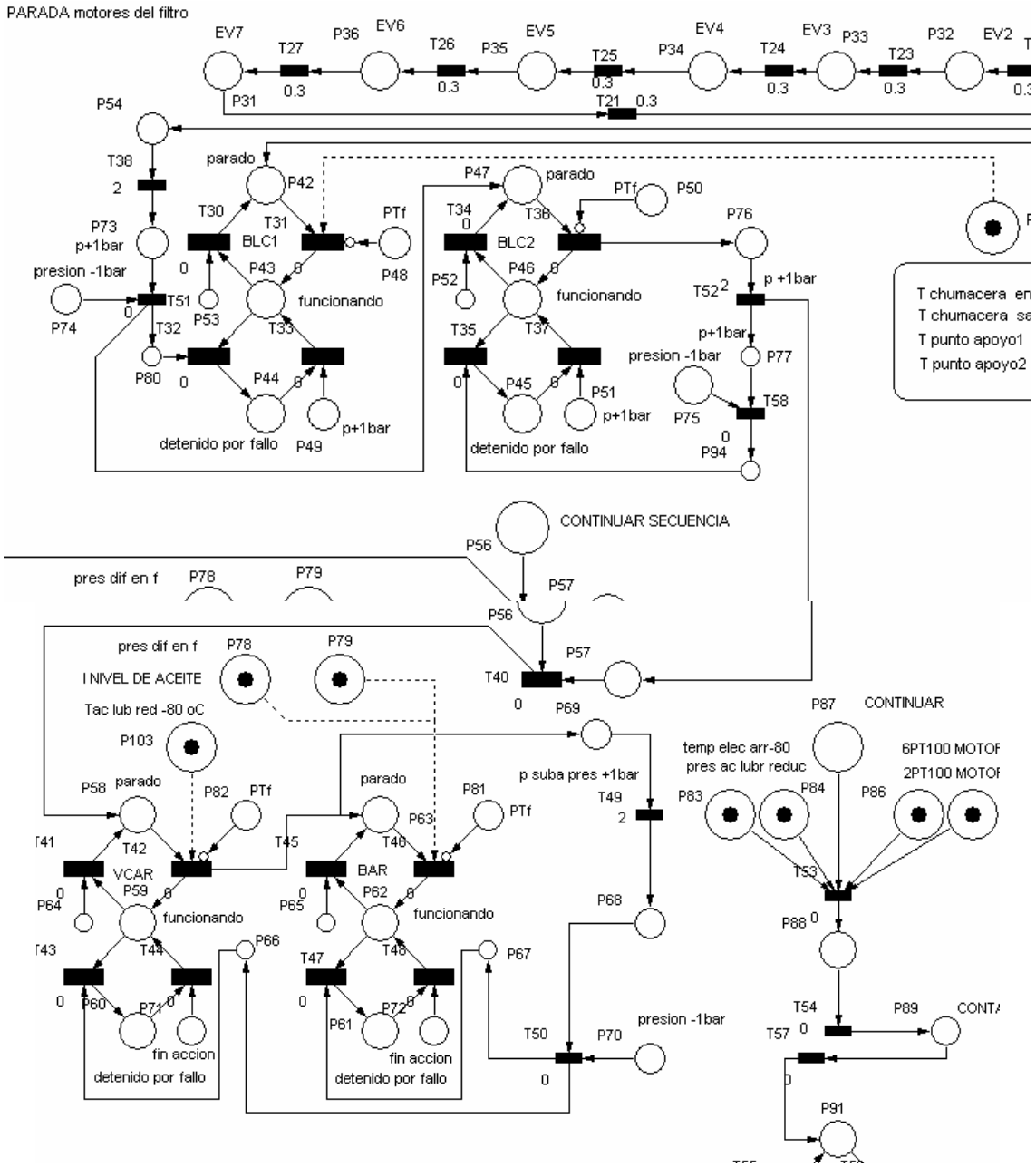


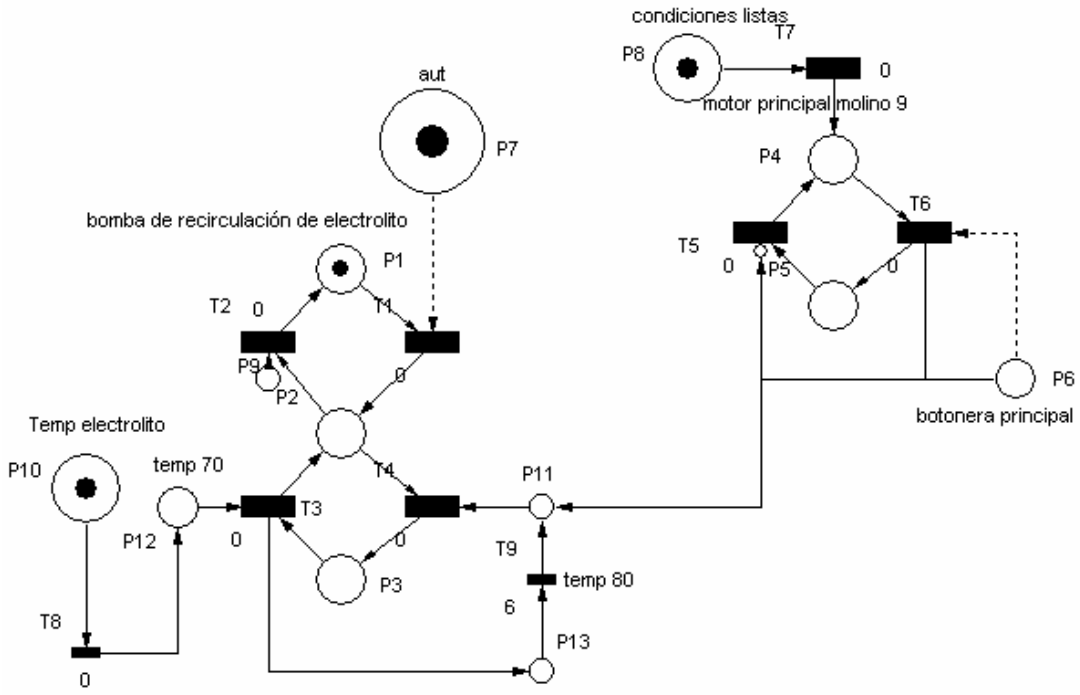

Temperatura Chumacera de entrada
Temperatura Chumacera de salida
Temperatura Punto de Apoyo 1
Temperatura Punto de Apoyo 2
Temperatura del Arrancador
Temperatura de entrada al Filtro
Temperatura Rodamiento delantero M.Ppal
Temperatura Rodamiento trasero M.Ppal
Temperatura Devanado 1 M.Ppal
Temperatura Devanado 2 M.Ppal
Temperatura Devanado 3 M.Ppal
Temperatura Devanado 4 M.Ppal
Temperatura Devanado 5 M.Ppal
Temperatura Devanado 6 M.Ppal
Presión de aceite de collar M.Ppal
Presión de aceite del reductor M.Ppal
X2
CANAL 0
CANAL 1
CANAL 2
CANAL 3
CANAL 4
CANAL 5
CANAL 0
CANAL 1
CANAL 2
CANAL 3
CANAL 4
CANAL 5
CANAL 6
CANAL 7
CANAL 0
CANAL 1
Pt 100 AI 8 x RTD; (6ES7331-7PF01-0AB0)
Pt 100 AI 8 x 13 Bit; (6ES7331-1KF01-0AB0)
4 – 20 mA

Anexo 9.

Modelo del funcionamiento automático.

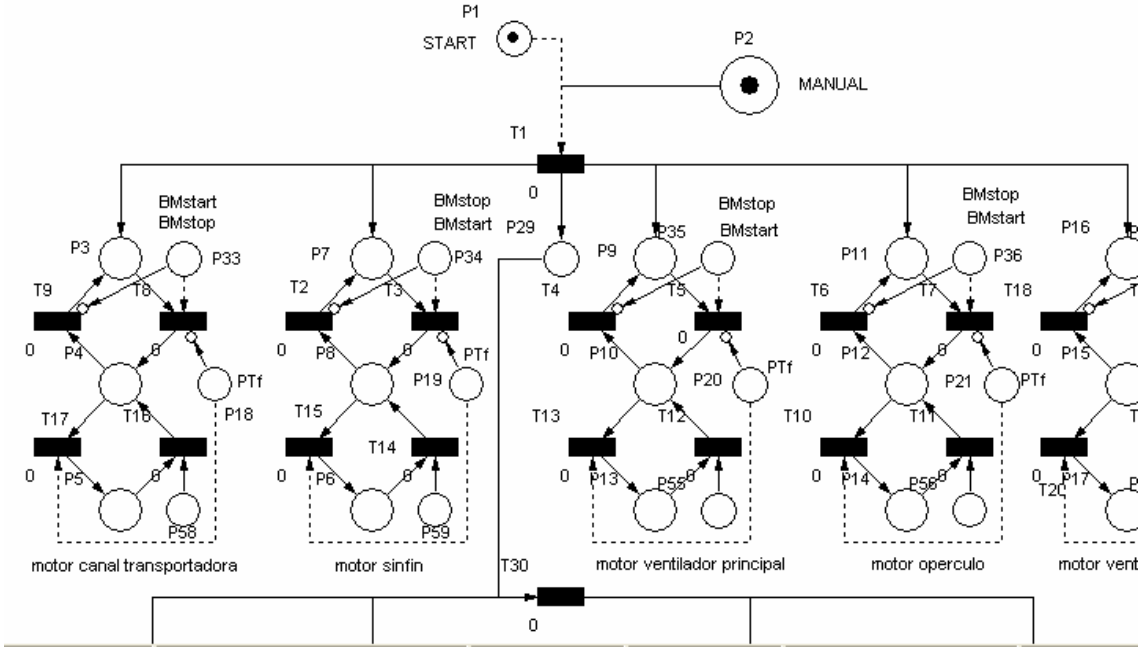


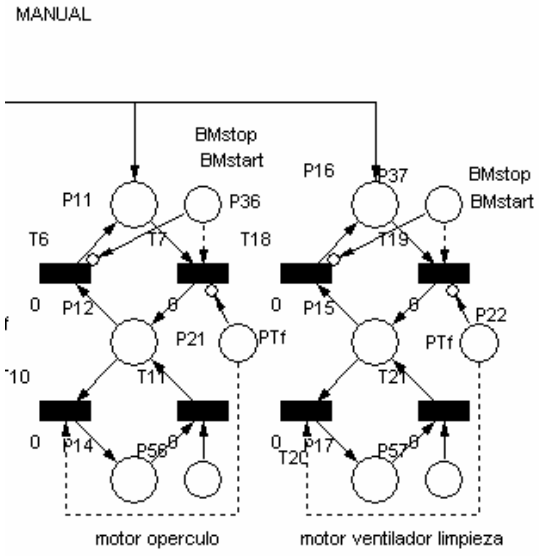

PARADA motores del filtro
EV7
T27
P36
EV6
T26
P35
EV5
T25
P34
EV4
T24
EV3
P33
T23
P32
EV2
0.3
P31
T21
P54
T38
2
P73
p+1bar
presion -1bar
P74
T51
P53
T32
P80
parado
P42
T30
T31
BLC1
PTf
P48
P43
funcionando
T33
P44
p+1bar
P49
detenido por fallo
P47
parado
PTf
P50
T34
T36
BLC2
P52
P46
funcionando
T35
T37
P45
P51
p+1bar
detenido por fallo
P76
T52
p +1bar
p+1bar
presion -1bar
P77
P75
T58
P94
T chumacera en
T chumacera se
T punto apoyo1
T punto apoyo2
CONTINUAR SECUENCIA
P56
P57
pres dif en f
P78
P79
I NIVEL DE ACEITE
Tac lub red -80 oC
P103
T40
P69
p suba pres +1bar
T49
P68
P58
parado
P82
PTf
T41
T42
VCAR
P59
funcionando
P64
T43
T44
P60
P71
fin accion
detenido por fallo
P66
T45
parado
P63
P81
PTf
T46
BAR
P62
funcionando
P65
T47
T48
P61
P72
fin accion
detenido por fallo
P67
T50
P70
presion -1bar
P87
CONTINUAR
temp elec arr-80
pres ac lubr reduc
6PT100 MOTOF
2PT100 MOTOF
P83
P84
P86
T53
P88
T54
P89
CONTA
T57
P91

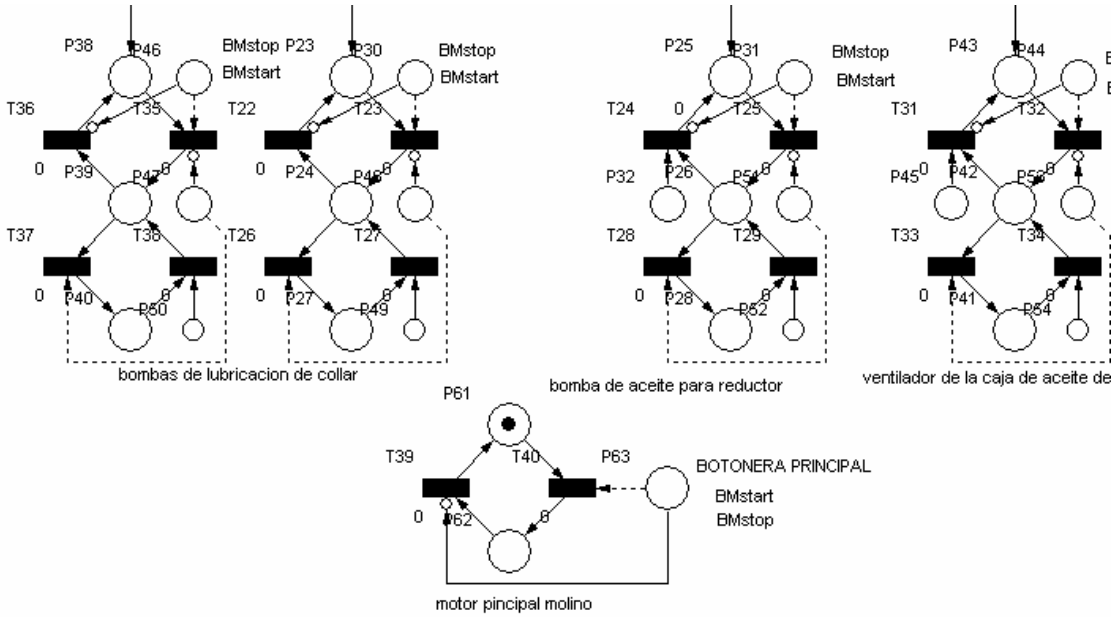

condiciones listas
P8
T7
0
motor principal molino 9
aut
P7
P4
T6
bomba de recirculación de electrolito
T5
P1
0
P5
0
T2
0
T1
P9
P2
0
P6
botonera principal
Temp electrolito
P10
temp 70
T4
P11
T3
P12
0
0
T9
P3
temp 80
T8
6
P13
0

Anexo 10.

Modelo del funcionamiento manual.

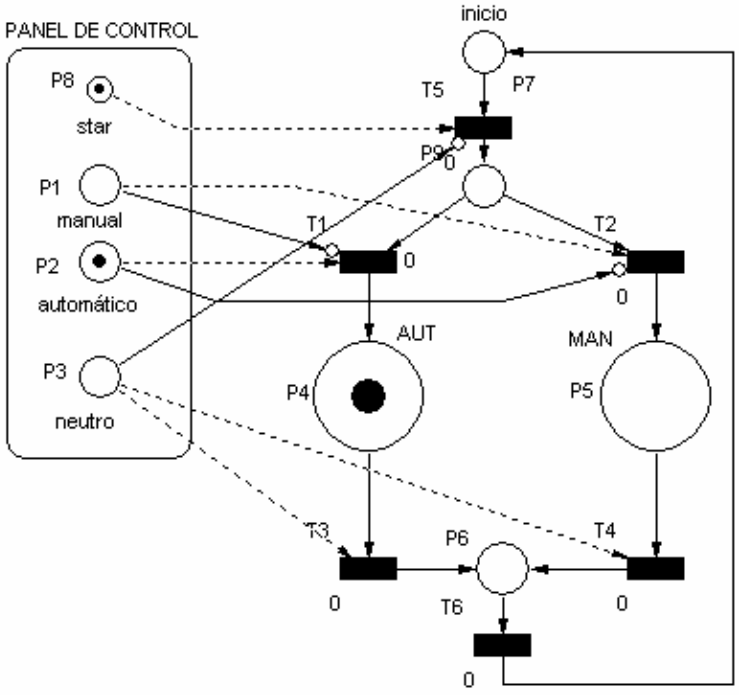





P38
P46
BMstop
BMstart
P23
P30
BMstop
BMstart
T36
T35
T22
T23
0
P39
P47
0
0
P24
P48
0
T37
T38
T26
T27
0
P40
P50
0
0
P27
P49
0
bombas de lubricacion de collar
P25
P31
BMstop
BMstart
T24
0
T25
P32
P26
P51
0
T28
T29
0
P28
P52
0
bomba de aceite para reductor
P43
P44
T31
T32
P45
0
P42
P53
0
T33
T34
0
P41
P54
0
ventilador de la caja de aceite de
P61
T39
T40
P63
BOTONERA PRINCIPAL
BMstart
BMstop
0
P62
0
motor pincipal molino

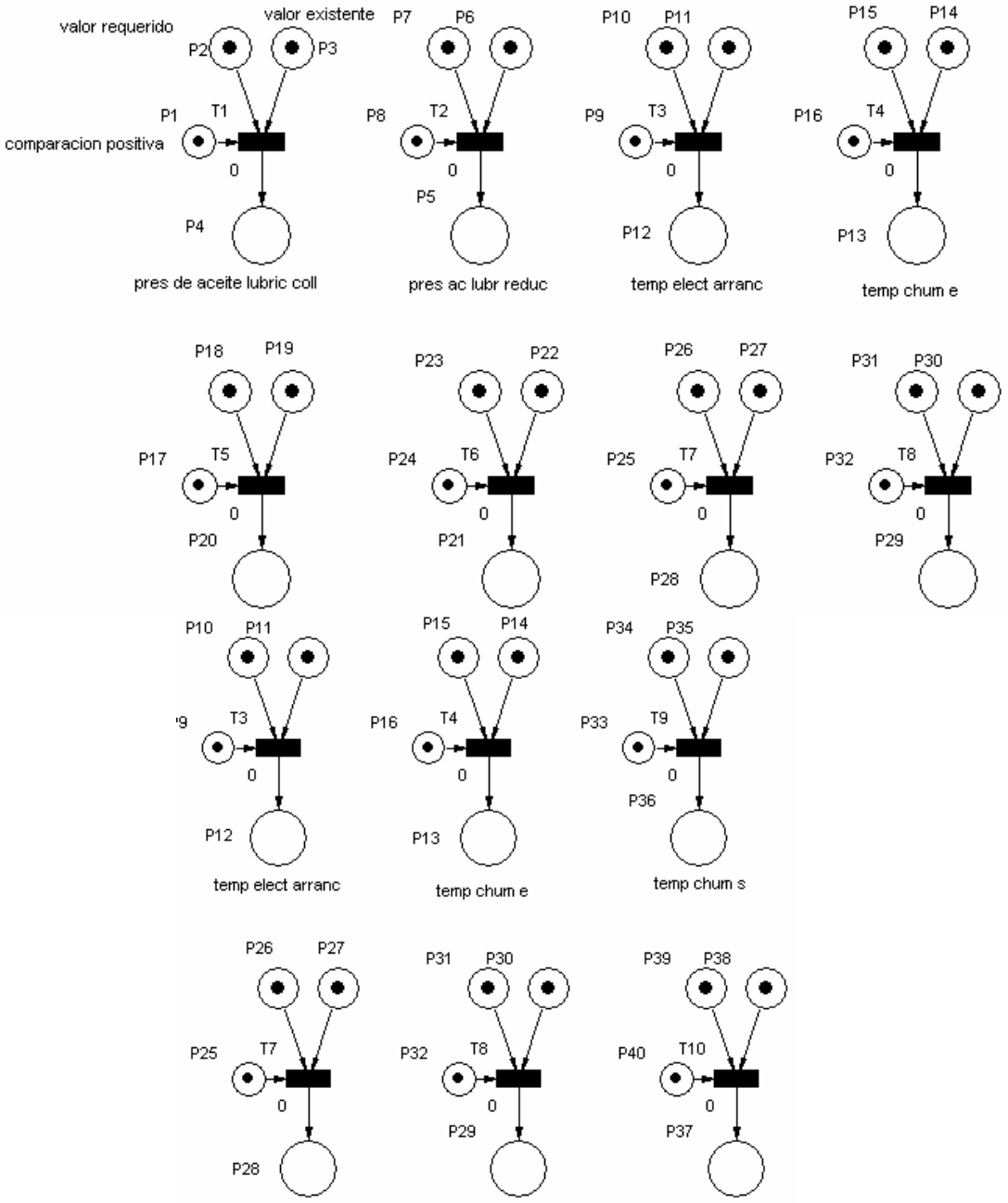
Anexo 11.

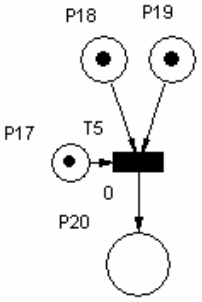
Modelo de la selección de los modos de funcionamiento.



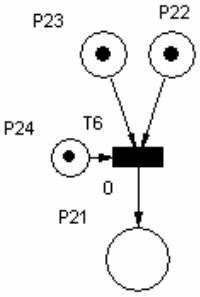
Anexo 12.

Modelo de las mediciones analógicas.

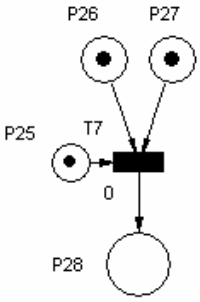




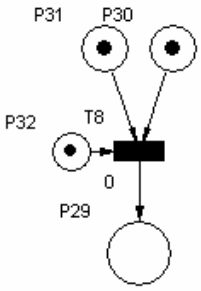
temp pa1



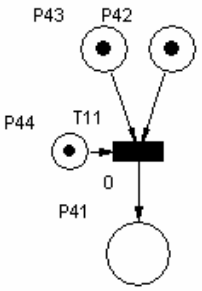
pa 2

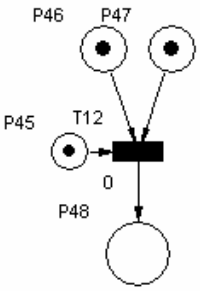


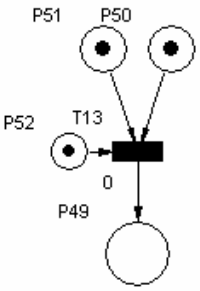
temp aire e filtro

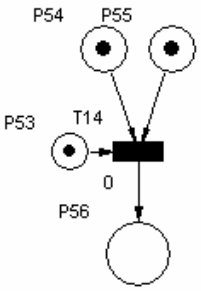


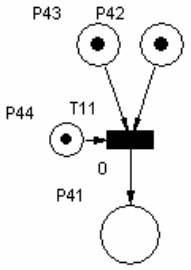
temp rod delantero mp



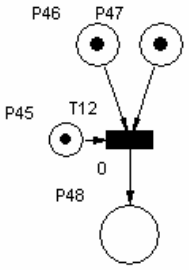




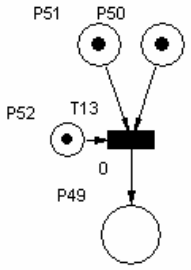




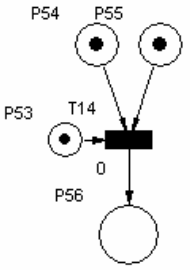
temp pto devanado



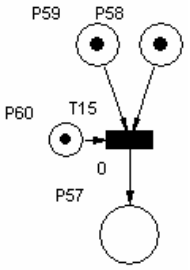
temp pto devanado



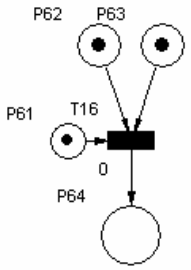
temp pto devanado



temp pto devanado



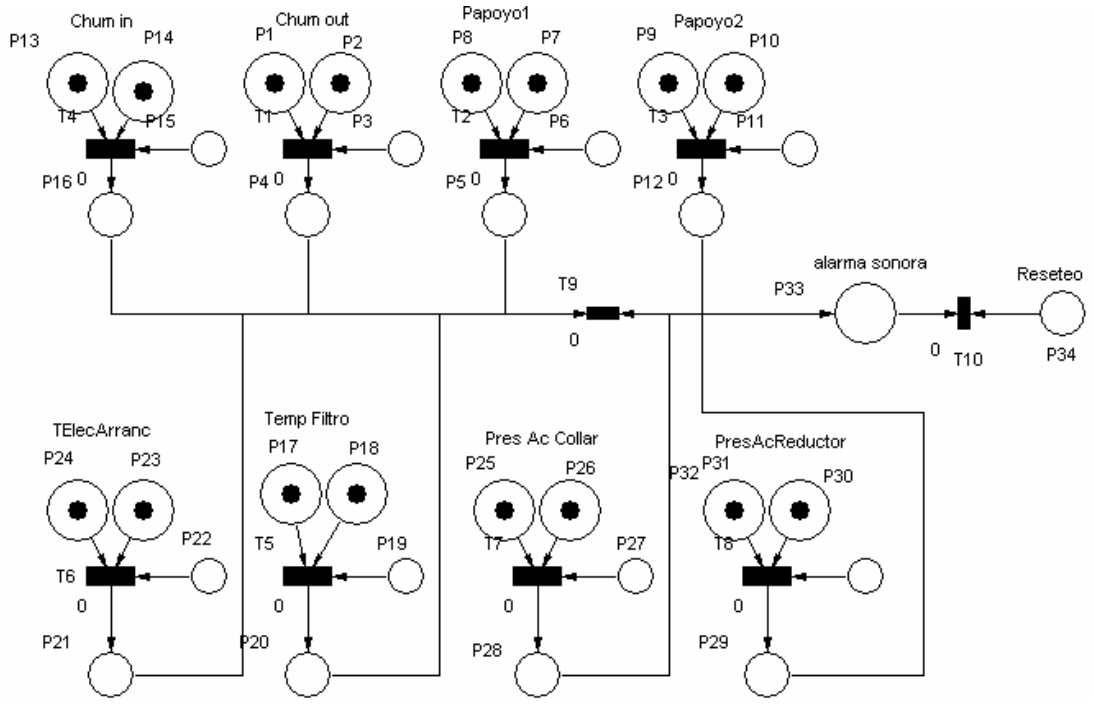
temp pto devanado



temp pto devanado

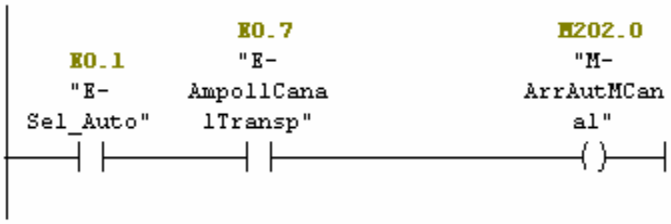
Anexo 13.

Modelo de la alarma sonora.

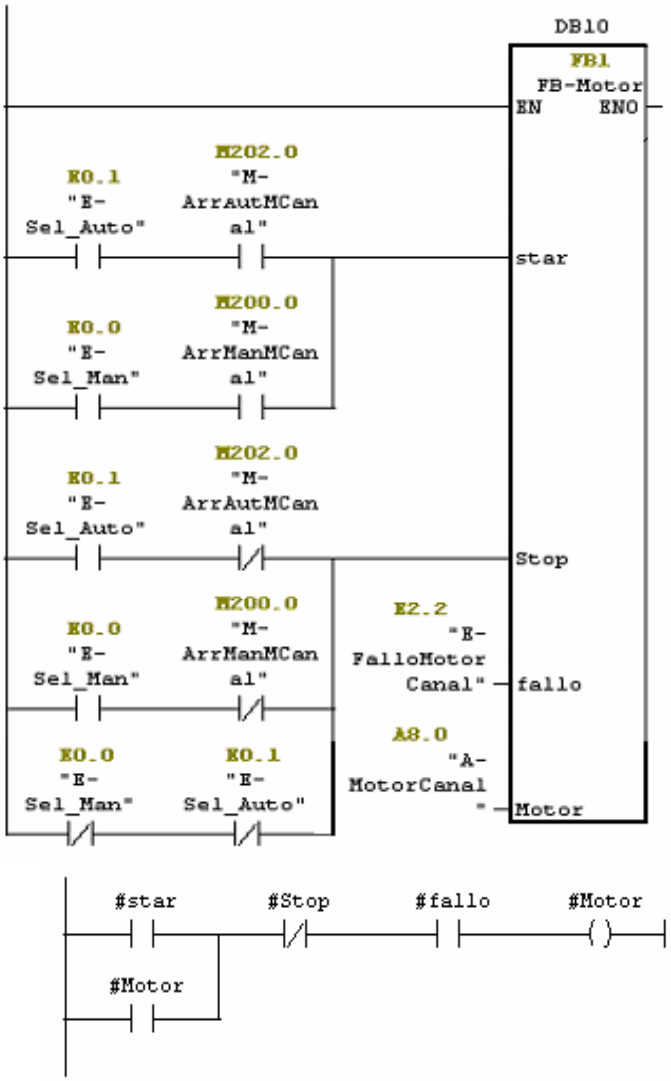


Anexo 14.

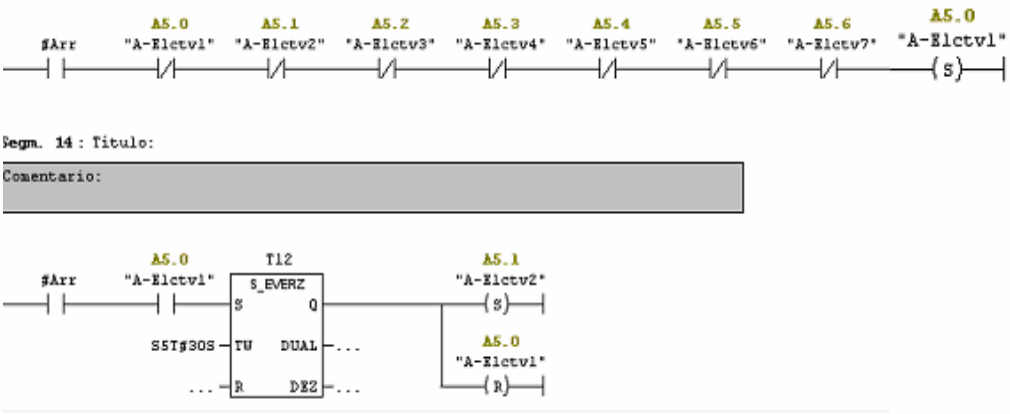
Segmentos del programa en lenguaje de autómatas.



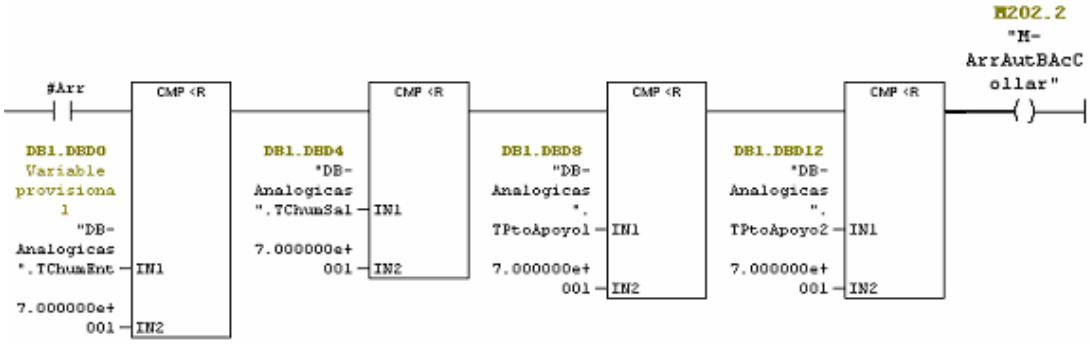
Seleccionado modo Automático para arranque del motor canal transportadora.



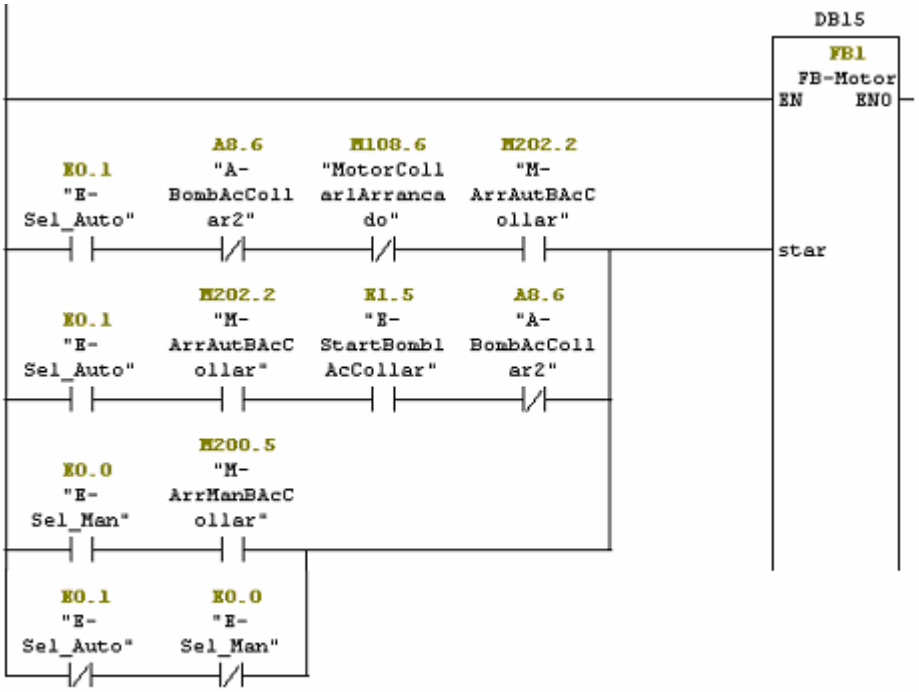
Bloque llamado FB1.

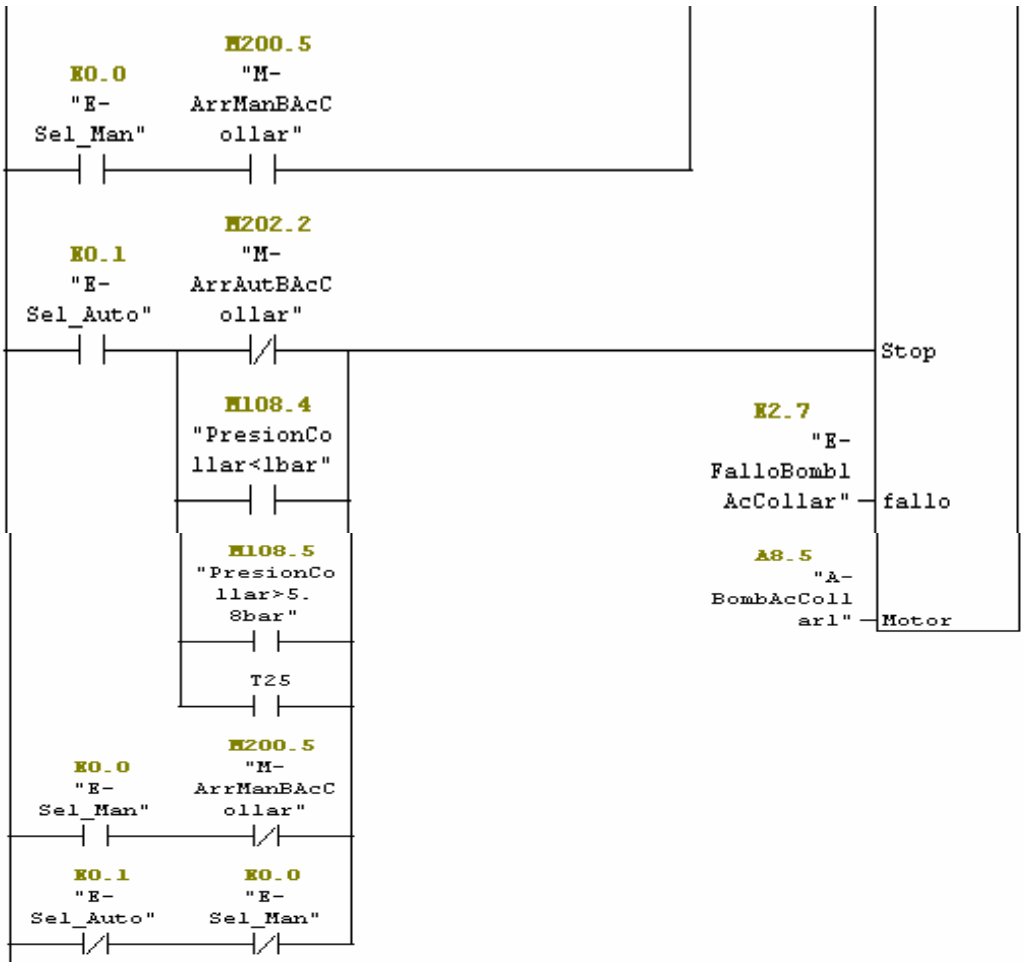


Electrovalvulas de limpieza.



Mediciones Analógicas.





Bomba de lubricación de collar.

Anexo 15.
Valoración por criterio de expertos.

CEDAI
Empresa de Automatización Integral

Criterio de Experto

Esta investigación tiene gran importancia para el CEDAI, ya que es un diseño novedoso que aporta nuevas herramientas de diseño en la utilización de las Redes de Petri y que puede ser generalizado en todas las plantas de Cemento del país, en las que se han instalado sistemas de control automático, el mismo facilita la programación de los PLC en los Sistemas de Control y puede ser adaptable a otro Sistema.

El informe cuenta con todos los aspectos necesarios para la implementación, instalación y puesta en marcha del sistema, además sirve como guía en la optimización de los programas de las futuras versiones de este proyecto y la metodología puede ser generalizable a otro tipo de sistemas que se deseen controlar utilizando la modelación en Redes de Petri.

Este sistema garantiza la eficiencia, la fiabilidad y la seguridad del proceso automatizado, es capaz de demostrar su robustez ante perturbaciones inherentes al propio sistema controlado debido a su modelado utilizando la metodología en Redes Petri GENESys.

Ing. Elioret Garcia Mengana
Especialista en Automática
CEDAI Sucursal Santiago-Guantánamo

Calle 9 s/n % Ay B. Rpto Fomento Santiago de Cuba.
Telfs.: 64-5573 ext. 1 E-mail: albert@cedai.com.cu
http://www.cedai.com.cu