

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIE
Facultad de
Ingeniería Eléctrica

Departamento de Control Automático

TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Propuesta del hardware del sistema de control para la automatización de una planta de hormigón.

Autor: Nibaldo López Betancourt

Tutores: MSc. Samy Brito Barroso

Ing. Javier Cutiño Ceballos

Santa Clara
Copyright©UCLV

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas
Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Control Automático



TRABAJO DE DIPLOMA

**Propuesta del hardware del sistema de control para la
automatización de una planta de hormigón**

Autor: Nibaldo López Betancourt

Tutores: MSc. Samy Brito Barroso

Ing. Javier Cutiño Ceballos

samyb@uclv.edu.cu

javier@cementonvtas.co.cu

Santa Clara

Año

"2021"

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

PENSAMIENTO

Lo importante es no dejar de hacerse preguntas.

Albert Einstein

DEDICATORIA

.

A mi mamá,
A mi familia
a mis amigos.

AGRADECIMIENTOS

A mi mamá por su apoyo incondicional. Por toda su dedicación, esfuerzo y preocupación. Por olvidar hace tiempo que debe vivir su vida y centrar todos sus esfuerzos en hacer mejor la mía. Por enseñarme el valor que tiene ser un profesional. Por no rendirse en medio de las adversidades de la vida. Por no poner pretextos para realizar diversos sacrificios, muchos de ellos con el único fin de beneficiar a sus niños. Por levantarme cuando me caía y felicitarme cuando lo hacía bien. Por tu fuerza y tu resistencia que no conocían límites cuando de cuidar a tus pequeños se trataba. Por su paciencia y enseñanzas. Por aconsejarme y alentarme en los malos momentos. Las lecciones más valiosas que he adquirido, me las diste tú. Todo lo que he conseguido en este mundo te lo debo a ti. No hay palabras para expresar toda mi gratitud. Gracias por apostar y creer en mí. Por tanto amor y cariño.

A mi papá por toda su ayuda en los buenos y malos momentos. Por saber que siempre está ahí para lo que haga falta y que puedo hablar claro del problema que sea. Gracias por todos tus consejos y ser mi mejor amigo.

A mis tutores Samy Brito Barroso y Javier Cutiño Ceballos por toda su ayuda en el desarrollo de esta investigación. Por su experiencia y conocimientos.

A mis sobrinos por existir, por regalarme tantas sonrisas y alegrías sin importar el momento. Por la felicidad que me da verlos, escucharlos reír y hacer sus travesuras; aunque a veces joden.

A mi hermana por toda su ayuda y sus locuras. Siempre me tiene perdido pensando que está en un lado y estas en otro muy diferente.

A todas mis amistades de Santa Clara por su ayuda. A Félix, a Fernández, a Islay, a Luis Ángel, Ángel Luis. Aprecio mucho la amistad que tenemos. Gracias por hacer que mis problemas se vuelvan más pequeños y mis alegrías más grandes. Juntos hemos compartido muchas alegrías y también algunas lágrimas. Su amistad me ha ayudado a crecer como persona.

A Heber, a David, a Ilix; por las locuras que hemos hecho y la ayuda en todo momento.

A Adriana y familia, por su amistad. Por su ayuda y preocupación.

A Laurita que me adopto en momentos complicados. A Paco con sus preguntas complejas. A Alejandro Rodríguez; juntos hacemos un buen equipo. A Jorge Luis, a Pedro Pablo (inflador), a Noslen, al Toro, a Lianet, a Osiel, a Charlees, a Karel, a Keyla, a Duran, a los Espirituanos y al grupo en general. Gracias por todo, son gran parte de mi fortuna.

A todos los profesores por su contribución a mi formación profesional.

RESUMEN

El diseño de un sistema de automatización para controlar el proceso de fabricación de hormigón resulta de suma importancia para obtener un producto de calidad. En este sistema el hardware utilizado es fundamental. El buen desempeño y funcionamiento de la planta depende en gran medida de la calidad y propiedades del hardware. En este trabajo se propone el hardware del sistema de control para la automatización de una planta de hormigón. Para ello se realiza un estudio del proceso productivo, así como soluciones de automatización de plantas de hormigón reportadas en la literatura y los componentes tecnológicos necesarios para la automatización de la planta HZS60. Se describen los requisitos necesarios para la automatización de la planta. Por último, se abordan las características del PLC propuesto, módulos de señales necesarios, fuente de alimentación y se describen las rutinas de control para el funcionamiento de la planta. La propuesta constituye una solución fiable, flexible, adaptable y con un buen desempeño. Garantiza una correcta automatización.

Palabras clave:

Planta dosificadora de hormigón
Hardware del sistema de control
Controlador Lógico Programable
Automatización
Control

ABSTRACT

The design of an automation system to control the concrete manufacturing process is of utmost importance to obtain a quality product. In this system the hardware used is essential. The good performance and operation of the plant depends to a great extent on the quality and properties of the hardware. In this work, the hardware of the control system for the automation of a concrete plant is proposed. For this, a study of the production process is carried out, as well as concrete plant automation solutions reported in the literature and the technological components necessary for the automation of the HZS60 plant. The requirements for plant automation are described. Finally, the characteristics of the proposed PLC, necessary signal modules, power supply and control routines for the operation of the plant are described. The proposal constitutes a reliable, flexible, adaptable and well-performing solution. It guarantees correct automation.

Key words:

Concrete batching plant

Control system hardware

Programmable Logic Controller

Automation

Control

GLOSARIO DE SIGLAS Y TÉRMINOS

TIC: Tecnologías de la Información y las Comunicaciones

PLC: *Programmable Logic Controller*

HMI: *Human Machine Interface*

SCADA: *Supervisory Control and Data Acquisition*

MOVICON: Monitorización, Visión y Control

PC: *Personal Computer*

PID: Control Proporcional Integral Derivativo

CPU: *Central Processing Unit*

TABLA DE CONTENIDOS

GLOSARIO DE SIGLAS Y TÉRMINOS.....	vi
CAPÍTULO 1. BOSQUEJO TEÓRICO ACERCA DE LA AUTOMATIZACIÓN DE PLANTAS DE HORMIGÓN EN EL MUNDO Y CUBA.....	6
1.1. Plantas de hormigón el mundo y en Cuba. Tendencias actuales	6
1.2. Soluciones de automatización de plantas de hormigón reportadas en la literatura7	
1.3. Funcionamiento de una planta de hormigón	12
1.4. Hormigones	13
1.4.1 Propiedades fundamentales de los hormigones	13
1.4.2 Importancia de una adecuada dosificación de los hormigones	14
1.5. La automatización	14
1.5.1 Objetivos de la automatización	15
1.5.2 Clasificación de la automatización.....	16
1.5.2.1 Sistemas lógicos.....	16
1.5.2.1 Sistemas diferenciales.....	16
1.6. Autómatas programables.....	16
1.6.1 Estructura de un autómata programable.....	17
1.6.2 Campos de aplicación.....	19
1.6.3 Programación.....	19
1.6.4 Aspectos a tener en cuenta para seleccionar un PLC	20
1.7. Computadoras industriales.....	21
1.8. Consideraciones finales del capítulo	22
CAPÍTULO 2. ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA DE HORMIGÓN HZS60, DE PROCEDENCIA CHINA	23
2.1. Características generales de la planta HZS60	23
2.2. Descripción general del proceso	24
2.2.1 Pesaje de los áridos.....	24
2.2.2 Dosificación del cemento.....	25
2.2.3 Pesaje del agua y aditivos.....	25
2.3. Modos de trabajo.....	25
2.3.1 Modo manual	25
2.3.2 Modo automático	27

2.4	Diagrama de flujo de la planta	27
2.5	Sistema de medición y control	29
2.5.1	Celdas de carga tipo S	29
2.5.2	PLC de la familia SIMATIC	30
2.5.3	Electroválvulas neumáticas	30
2.5.4	Actuadores neumáticos	31
2.5.4.1	Actuador neumático lineal	31
2.5.4.2	Actuador neumático giratorio	32
2.6	Requerimientos para el PLC	33
2.7	Consideraciones finales del capítulo	34
CAPÍTULO 3. PROPUESTA DE HARDWARE DEL SISTEMA DE CONTROL		35
3.1	Hardware del Sistema de control	35
3.1.1	EL PLC SIMATIC S7-1200.....	35
3.1.2	Módulos de E/S digitales	37
3.1.3	Módulo de entradas analógicas	38
3.1.4	Fuente de alimentación	39
3.2	Rutinas para el funcionamiento de la planta	41
3.3	Análisis económico.....	45
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		48
ANEXOS		50

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la humanidad ha planteado al hombre la creciente necesidad de realizar cada vez mayor número de construcciones y de mezclar grandes proporciones de cemento, agua y áridos, por lo que se ha impuesto el perfeccionamiento de la fabricación del hormigón. El desarrollo de las fuerzas productivas, unido al progreso de las tecnologías, impusieron un nivel en que se hizo necesario un cambio significativo en la producción. Con el surgimiento de las plantas de hormigón, se contó con una industria destinada a la dosificación y mezcla de las proporciones correctas de estos productos, obteniéndose una mezcla equivalente, maleable y plástica que se endurece adquiriendo consistencia pétreo denominada hormigón o concreto.

El hormigón es uno de los materiales más utilizados en la construcción y se obtiene a partir de la mezcla de uno o más conglomerantes (generalmente, se usa cemento) con áridos (grava, arena), agua y eventualmente, aditivos. Un gran reto lo constituye obtener manualmente las proporciones correctas, con una textura, resistencia y densidad adecuadas, según la necesidad de cada tipo de construcción. La calidad de esta mezcla depende de una adecuada dosificación de cada uno de sus componentes.

El desarrollo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), la alta competitividad en la industria de la fabricación de hormigón, dada por las exigencias técnicas cada vez más crecientes, motivaron a que empresas en el mundo se destacaran en el desarrollo de plantas automatizadas. Surgieron en el mercado nuevos distribuidores con tecnología avanzada, de altas prestaciones y beneficios, con plantas de diversas capacidades de producción y tipos de producciones específicos a precios muy altos. Los clientes que la adquieren se ven obligados a pagar por el equipamiento y a su vez por el adiestramiento y la asistencia técnica, constituyendo esto un freno para los países subdesarrollados.

Anteriormente el control de la planta se desarrollaba por medio de una computadora industrial, con tarjetas especializadas. La expansión del Autómata Programable o PLC (*Programmable Logic Controller* en sus siglas en inglés); conllevó a emplear una arquitectura en la que el PLC y la PC establecen un sistema íntegro, obteniendo una alta productividad y flexibilidad en el diseño. El surgimiento y desarrollo de nuevos modelos de pantallas Interfaz Hombre-Máquina (HMI) con altas prestaciones ha conllevado a que la PC haya sido sustituida en este tipo de aplicaciones. Constituye un avance tecnológico que una planta de hormigón utilice, para la realización de todas las acciones de control, una moderna pantalla HMI táctil con un sistema SCADA que se comunique con el PLC.

Estos avances facilitan que las modernas plantas trabajen de forma más eficiente, con una adecuada optimización del tiempo, minimiza los esfuerzos en la producción, racionaliza el empleo de energía y materiales, mejora la calidad y uniformidad del producto, reduce las tareas repetitivas por parte de los operarios, mejorando la seguridad del sistema.

La automatización de los procesos industriales, incluyendo la industria de la Construcción, es una práctica extendida a nivel mundial, pues es uno de los elementos principales que permiten a las empresas ampliar sus beneficios y la competitividad. La tecnología de automatización es costosa y algunas empresas no la pueden adquirir. En el caso de Cuba, el costo no es el único problema, pues la importación de estas tecnologías se dificulta por el alcance del embargo comercial, económico y financiero que impone el gobierno de Estados Unidos.

Situación problemática

El desarrollo económico y social trazado en Cuba imponen un reto a la producción de materiales de la construcción. Como parte del Programa de Desarrollo de la Industria del Cemento, fue aprobado el Proyecto de Modernización de la Empresa de Cemento “26 de Julio”, ubicada en el municipio de Nuevitas fundada en el año 1968, el cual devolverá una fábrica con tecnología de clase mundial, rescatando además la capacidad de producción de sus años iniciales, con parámetros de calidad y eficiencia acordes al medio ambiente y la economía del país. Por su ubicación geográfica tiene importancia estratégica para los planes de desarrollo de Camagüey y las provincias orientales, así como para las exportaciones en el área del Caribe.

Esta importante inversión, iniciada en el año 2018, presenta actualmente casi concluido el proceso de demolición y desmantelamiento de las instalaciones y equipos que no serán reutilizados. Se ejecutan varios objetos de obra. Durante el proceso de construcción civil se utiliza como cliente la entidad Gran Panel de Nuevitas, ubicada en el municipio, encargada de abastecer las necesidades de la inversión con una mezcla de hormigón con los estándares de calidad requeridos. La referida entidad presenta dificultades en el abastecimiento de las obras, y en ocasiones no garantiza las exigencias de la inversión debido a que una de sus plantas de hormigón, HZS60 de procedencia China, no está funcionando. Ante esta situación se realizó un estudio de los principales problemas con el que se llegó a la definición de las siguientes problemáticas:

- La planta no tiene sistema de control.
- No existe ninguna documentación técnica de la planta.

- Elevado costo de los servicios de asistencia técnica en el extranjero, requeridos para la puesta en marcha de la planta.
- No se cuenta con ninguna propuesta de solución para esta situación.
- En el país existen otras plantas de hormigón en similares circunstancias.

La situación problemática descrita permite fundamentar el siguiente **problema científico**:

¿Cuál hardware se puede utilizar para establecer el sistema de control en la automatización de la planta de hormigón HZS60, del municipio Nuevitas?

Objeto de estudio: Automatización de una planta de hormigón

Campo: Hardware del sistema de control para la automatización de una planta de hormigón

Objetivos

Se define como objetivo general:

- Proponer el hardware del sistema de control para la automatización de una planta de hormigón HZS60 del municipio Nuevitas.

Para cumplimentar el objetivo general se definieron los siguientes **objetivos específicos**:

- Analizar las tendencias actuales de las tecnologías de una planta de hormigón en el mundo y en Cuba.
- Describir el funcionamiento de la planta HZS60, de procedencia china.
- Caracterizar el funcionamiento de la planta en modo manual y automático.
- Obtener el diagrama de flujo de la planta.
- Proponer el hardware del sistema de control.
- Describir las principales rutinas para el funcionamiento de la planta.

Los objetivos específicos enunciados guían a la formulación de las siguientes **preguntas científicas**:

- ¿Cuáles son los avances más notables de las tecnologías de una planta de hormigón en el mundo y en Cuba?
- ¿Cómo funciona la planta de hormigón HZS60?
- ¿Cómo está previsto el funcionamiento de la planta en modo manual y en modo automático?
- ¿Cómo quedaría el diagrama de flujo de la planta?
- ¿Qué elementos caracterizan el hardware propuesto para el sistema de control?
- ¿Qué características tienen las principales rutinas de control para el funcionamiento de la planta?

Las tareas de investigación propuestas permitirán dar solución a las interrogantes y cumplir con los objetivos propuestos:

1. Estudio de la bibliografía existente acerca de los avances más notables de las tecnologías de una planta de hormigón en la actualidad.
2. Análisis del funcionamiento de la planta de hormigón HZS60.
3. Elaboración del diagrama de flujo de la planta.
4. Proposición del hardware del sistema de control.
5. Obtención de las rutinas de control para el funcionamiento de la planta.

Hipótesis

La propuesta del hardware del sistema de control permitirá contribuir a la automatización de la planta de hormigón HZS60 del municipio Nuevitas.

Impacto posible

La ejecución del proyecto contribuye a la solución de problemáticas modernas vinculadas con la adquisición de un hardware de gran complejidad y valor, ya que no es posible contratar servicios de asistencia técnica por los altos costos. El proyecto de automatización presentado puede tener un impacto directo en los resultados productivos de la empresa de la construcción, humaniza el trabajo, así como el cumplimiento en el abastecimiento de las mezclas con los estándares de calidad requeridos a los clientes. La puesta en práctica de esta planta de hormigón en modo automático, incorporará al sistema de la construcción una nueva posibilidad para cumplir con el encargo social de la entidad, así como elevar sus índices de producción.

Estructura del Trabajo:

El informe de la investigación se estructura en: introducción, capitulo, conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

En la **Introducción** se dejará definida la importancia que tiene la automatización de las plantas de hormigón, la actualidad del uso de estas tecnologías en el mundo, así como la necesidad del tema que se aborda y se dejarán explícitos los elementos del diseño teórico.

El **Capítulo 1**, se dedicará al estudio de la literatura especializada y caracterización de las tecnologías actuales que se comercializan en el tema de la automatización de plantas de hormigón. Se profundizará, además, en referentes de automatización de plantas de hormigón similares automatizadas en Cuba.

El **Capítulo 2:** Se utilizará para describir el estado actual de la planta de hormigón HZS60, al estudio del proceso productivo y la tecnología necesaria para la automatización de la planta.

El **Capítulo 3:** Se dedicará a presentar los resultados del estudio realizado, propuesta del hardware para el sistema de control y la obtención de las rutinas para el funcionamiento de la planta.

CAPÍTULO 1. BOSQUEJO TEÓRICO ACERCA DE LA AUTOMATIZACIÓN DE PLANTAS DE HORMIGÓN EN EL MUNDO Y CUBA

Desde los inicios de la civilización, el hombre tuvo la necesidad de construir viviendas y otras estructuras utilizando los materiales que tenía a su alcance. Se enfrentó a la necesidad de mantener unidas entre sí determinadas piezas, como piedras o ladrillos, mediante la utilización de un material que se lo permitiera (yeso, asfalto, etc.). Fueron utilizadas distintas alternativas para mejorar la adhesión de los materiales utilizados, hasta llegar al año 1824, momento en el que se inventa un conglomerante formado a partir de la mezcla de caliza arcillosa y carbón calcinados a alta temperatura, denominado cemento Portland [1].

La fabricación de hormigones constituye la principal aplicación del cemento, los cuales sirven como elementos estructurales en la construcción. La marcha del sector de la construcción está relacionada directamente con la situación económica general de un país, de allí la importancia de pensar en la automatización en la producción de hormigones.

Al respecto, se plantea. "Si una industria aspira a aumentar la calidad de sus productos, reducir el tiempo de producción, agilizar tareas complejas, reducir los márgenes de errores en la producción y especialmente aumentar la rentabilidad, necesita pensar en la automatización de los procesos. Ésta consiste en el uso de sistemas o elementos computarizados para controlar maquinarias y/o procesos industriales sustituyendo a operadores humanos [2].

En este capítulo se abordarán aspectos relacionados con la fabricación del hormigón, el nivel actual de desarrollo de esta industria en Cuba y en el mundo, así como las características de cada uno de los elementos tecnológicos que se utilizan para la automatización de las plantas de hormigón.

1.1. Plantas de hormigón el mundo y en Cuba. Tendencias actuales

El desarrollo alcanzado en los últimos años ha posibilitado que las plantas de hormigón actuales trabajen de manera eficiente en la ejecución de sus tareas. A nivel mundial existen varias empresas dedicadas a la fabricación de plantas de hormigón automatizadas con diferentes características en cuanto al tipo de planta, capacidades de producción, tipo de producción y tecnología empleada. Entre ellas pueden mencionarse: BHS-Sonthofen (Alemania), SANY (China), Putzmeister (Alemania), AMMANN (Suiza), LIEBHERR (Alemania), XCMG (China), SCHWING (Alemania), ZOOMLION (China), CIFA (Italia), MEKA (Turquía), entre otras [3].

En los países subdesarrollados la adquisición de plantas de hormigón con tecnologías de avanzada y de altas prestaciones constituye un obstáculo por las limitaciones económicas. Por tal motivo se ven obligados a adquirir plantas atrasadas y luego incorporarle la automática.

Para lograr avances en el desarrollo de la economía en Cuba la adquisición de plantas de hormigón ha sido una constante necesidad. La difícil situación económica del país ha obligado a adoptar estrategias diversas como lo son la adquisición de plantas para posteriormente incorporarle la automática. El trabajo del Ministerio de la Construcción con otros como AICROS, CEDAI y COPEXTEL facilitan este empeño, logrando obtener plantas con elevados niveles de automatización lo que permite obtener mayor eficiencia en la producción y una adecuada independencia tecnológica. Ejemplo de plantas automatizadas: la planta de hormigón HZS40 de fabricación China, de Cayo Santa María al norte de la provincia de Villa Clara [4], la cual cuenta con un sistema de control que le permite realizar todas las tareas de forma automática y manual. Otras plantas que cuentan con un sistema automático son la AJ50 con tecnología rusa y HZS35 con tecnología china, ubicadas en el municipio Nuevitas, al norte de Camagüey, en la entidad Gran Panel. Además, en Baracoa, Guantánamo, la planta HZS60 también funciona de manera automática.

1.2. Soluciones de automatización de plantas de hormigón reportadas en la literatura

Según la bibliografía consultada, varios autores en sus trabajos de culminación de estudios han descrito propuestas de automatización para plantas de hormigón similares a la referida en el presente trabajo.

- Matthijs Taris, estudiante de la Universidade da Coruña, en España, en su Trabajo de Grado, 2018 propone la automatización de una planta de producción de hormigón, para gobernar todos los elementos de actuación de la planta, supervisar su correcto funcionamiento y proporcionar el conocimiento en tiempo real de todas las variables que intervienen en el proceso [5]. Para ello propone la utilización del autómeta S7-1200 de la firma SIEMENS con una CPU 1215FC. Proyecta el uso de una pantalla HMI. Utiliza el software TIA PORTAL para el desarrollo del algoritmo de control y la interfaz HMI. Confecciona el algoritmo de control en lenguaje Grafset y emplea un cable ethernet para la comunicación del autómeta con la pantalla HMI.

La propuesta de automatización resulta conveniente, fiable y con un buen desempeño. Se emplea un PLC de la SIEMENS, compañía con gran prestigio internacional debido a los excelentes servicios que presta en el campo de la automatización industrial y con gran desarrollo en lo que respecta a la producción de autómetas programables y al equipamiento tecnológico. Provee además de cantidad de información y

ayuda, que se puede encontrar en la página web de dicho fabricante. Es un autómata de gama baja, con buen rendimiento. Presta excelentes servicios para procesos simples. Ideal para la automatización de una planta de fabricación de hormigón, proceso secuencial que necesita pocas entradas y salidas (E/S), y que no requiere realizar operaciones complejas.

Dentro de las características fundamentales de la CPU 1215FC se encuentran [6]:

Configuración Compacta. Tiempos de ejecución de la CPU: 0,08 a 2,3 μ s /Operación (en dependencia del tipo de operación). Entradas digitales: 14. Salidas digitales: 10. Entradas analógicas: 2. Memoria de trabajo: 150 Kbyte. Memoria de carga: 4 Mbyte. Tipo de interfaz PROFINET (Ethernet). Soporta los protocolos TCP/IP, MODBUS, PROFIBUS, PROFINET IO. Lenguaje de programación: Ladder, Diagrama de bloque de funciones y Grafcet.

La utilización de una pantalla HMI tiene aspectos favorables y desfavorables. La principal dificultad de estas radica en su flexibilidad. Dichos dispositivos de visualización normalmente solo son compatibles con el software de diseño de HMI específico del fabricante [7]. Para la confección del software de visualización solo puede emplearse WinCC. Esto constituye un problema a la hora de desarrollar un proyecto de automatización ya que bloquea a los usuarios en un solo fabricante. Otra desventaja es que no permite transferir un proyecto de visualización de una pantalla HMI a otra. Además, están diseñadas para funcionar sin problemas solo con determinados PLC y dispositivos del mismo proveedor. Se limitan también al uso de determinados protocolos de comunicación. El uso de una PC industrial para la automatización de una planta de hormigón constituye la mejor selección; aunque dependiendo de cuan popular sea una determinada tecnología en una región dada y cuanta información y ayuda exista sobre esta, pudiera tener singular importancia el uso de una pantalla HMI.

El uso del software TIA PORTAL permite desarrollar el programa de control, seleccionar el autómata, la comunicación con el mismo y confeccionar la HMI; en un entorno óptimo y eficiente compuesto por el STEP 7 y el WinCC. Posee un correcto funcionamiento en las tareas de control y visualización y permite la configuración eficaz en los procesos de producción.

El empleo del lenguaje GRAFCET para la elaboración del software de control constituye una buena opción. Este es un lenguaje gráfico que utiliza una metodología clara para la descripción y el diseño de automatismos de carácter secuencial. Constituye una herramienta sencilla y potente que facilita la modificación y comprensión del programa en cuestión, así como una visualización total de la aplicación.

El uso de un cable ethernet para establecer la comunicación del autómata con la pantalla HMI proporciona fiabilidad, seguridad y buena velocidad en la comunicación. Ethernet es la tecnología tradicional usada para conectar varios dispositivos en una red de área local (LAN), o una red de área amplia (WAN) por cable.

- Morales Rubio estudiante de la Universidad de las Fuerzas Armadas en Sangolquí, Ecuador, en su proyecto de grado para la obtención del título de Ingeniero en Electrónica, Automatización y Control, 2015, realiza el diseño del sistema de control para la planta dosificadora de hormigón de la empresa Asphalt Plants S.A [8]. En este, brinda una alternativa económica y moderna para la obtención de un hormigón de calidad. Propone también el uso del autómata S7-1200 de la firma SIEMENS y con la CPU 1214C. Plantea el uso de una PC industrial. Emplea el software TIA PORTAL para el desarrollo del algoritmo de control y la interfaz HMI, así como para la configuración del proyecto. Confecciona el algoritmo de control en lenguaje GRAFCET y emplea un cable ethernet para la comunicación del autómata con la PC.

La propuesta en cuestión constituye una buena selección. Es similar a la analizada anteriormente; coincide en varios aspectos. Dentro de las diferencias se encuentra la utilización de una PC industrial para almacenar y visualizar el HMI. Esto se traduce en mayor flexibilidad y capacidad a la hora de diseñar el sistema de automatización, aunque su costo es un poco mayor. Otra diferencia es el uso de la CPU 1214C. Dentro de sus características principales se encuentran [9]:

Diseño compacto; tiempo de ejecución de la CPU: 0.05 a 2.5 μ s/instrucción (en dependencia del tipo de operación). Entradas digitales: 14 (24V), Salidas digitales: 10 (24V). Entradas analógicas: 2 (0 – 10 V). Memoria de carga: 4 MB. Memoria de trabajo: 75 KB. Imagen del proceso: 1024 bytes para entradas y 1024 bytes para salida; (el S7 1200 no trabaja con señales, trabaja con imagen de proceso tanto de entradas como salidas). Soporta los lenguajes: Ladder, Diagrama de bloque de funciones y Grafcet. Posee un puerto de comunicación integrado Ethernet con protocolo Profinet. Se puede ampliar hasta 8 módulos de señales y 3 módulos de comunicación (RS232 y RS-485). De manera general es un autómata destinado a tareas productivas sencillas.

- Francou & González estudiantes de la Universidad Tecnológica Nacional, en Uruguay, en su proyecto de fin de carrera, en el año 2014, proponen la automatización de una planta de hormigón ubicada en la ciudad Urdinarrain, Entre Ríos. Su propósito es evitar las valiosas pérdidas de

tiempo y materiales debido al funcionamiento en modo manual de la planta; además de una clara variabilidad en la calidad del producto [1]. Para ello propone la utilización del autómata TWD-LMDA20-DTK de la línea Twido, perteneciente a la firma Schneider Electric. Plantea el uso de una PC industrial. Utiliza el software TwidoSuite para el desarrollo del algoritmo de control y Vijeo Citect para elaborar el HMI del sistema SCADA. Confecciona el algoritmo de control en lenguaje Ladder. Para la comunicación del autómata con la PC, emplea un cable con conector mini DIN de 8 pines (RS-485) para la conexión al PLC y conector SUB-D de 9 pines (RS-232) para conexión de la PC.

Existen varias compañías a nivel mundial con gran desarrollo en el mundo de la automatización e instrumentación industrial, dentro de las más representativas se encuentran Siemens y Schneider Electric. Ambas son firmas que prestan excelentes servicios en dicho campo, ofreciendo productos variados de buena calidad y durabilidad, acordes a las necesidades de cada aplicación. Optar por la tecnología de un fabricante u otro para su implementación en la automatización del proceso de fabricación de hormigón es viable en cualquiera de los dos casos. Ambas tienen gran prestigio internacional.

La línea Twido es empleada en aplicaciones pequeñas, en procesos donde se manejen entre 10 y 100 entradas/salidas. Dentro de las características del autómata TWD-LMDA20-DTK se encuentran [10]:

Controlador de base modular; Entradas digitales: 12; Salidas digitales: 8; Entradas analógicas: 1; N° E/S dig. Máximo: 148; N° módulos expansión: 4; comunicación Modbus de maestro-esclavo (modo RTU o ASCII), tipo RS485. Las características antes expuestas evidencian que dicho autómata no es adecuado para procesos de mediana o alta complejidad, pero en procesos simples puede tener un buen desempeño. Además, al no tener altas prestaciones resulta más económico y se necesitan menos recursos para su fabricación. Dicho autómata ya no se comercializa, fue sustituido por el PLC Modicom 221, controlador de gama baja de Schneider Electric.

El empleo del lenguaje Ladder para desarrollar el algoritmo de control constituye una buena selección. Este es un lenguaje gráfico muy popular entre los programadores; está basado en esquemas eléctricos y de control clásicos. Su comprensión y elaboración es bastante sencilla, no se requieren grandes conocimientos en programación para el diseño del algoritmo de control. Este se encuentra disponible en la mayoría de los autómatas programables. Presenta la desventaja de que para una modificación o

ampliación se debe tener conocimiento de todo el programa. El lenguaje Grafcet en comparación al ladder es más potente y con una metodología clara, de fácil comprensión.

El cable que ofrece el fabricante para efectuar la comunicación posee un conector mini DIN de 8 pines (RS-485) para la conexión al PLC y conector SUB-D de 9 pines (RS-232) para conexión de la PC). Este, en comparación con el cable ethernet está por debajo en cuanto a calidad, rendimiento y seguridad. Actualmente el cable empleado por la mayoría de los autómatas para la comunicación con otros dispositivos es el cable ethernet.

El protocolo Modbus es un protocolo de comunicación popular que se ha utilizado ampliamente en el campo de control industrial. Utiliza una tecnología de comunicación maestro-esclavo. Entre las ventajas que ofrece se encuentran: es de código abierto, no se requiere pagar por licencia, ampliamente soportado por HMIs o softwares SCADA y es conocido ampliamente en la industria [11]. La interfaz física de comunicación Modbus puede elegir el puerto serie (incluidos RS232 y RS485) o el puerto Ethernet.

- Mateo de la Cruz estudiante de la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, en Cuba, en su trabajo de culminación de estudio en el año 2011 realiza la ingeniería inversa al sistema automatizado de una planta de hormigón ubicada en Cayo Santa María. En este se determina la secuencia de pasos que se ejecutan durante el funcionamiento de la planta en modo automático y se realiza un análisis del proceso en cuestión [4]. En el proceso, se emplea el autómata CQM1H de OMRON. Utiliza una PC industrial para visualizar la interfaz del proceso. Usa el software de programación CX-Programmer para realizar el algoritmo de control y el MOVICON para el diseño del interfaz del SCADA. El lenguaje abordado fue lista de instrucciones. La comunicación del autómata con la PC se efectúa mediante un cable con 2 conectores DB-9, a través del puerto RS-232 del autómata y de la PC.

Omron es una empresa japonesa que se dedica a la fabricación y venta de componentes, equipos y sistemas de automatización industrial. Es también una firma reconocida por la calidad de sus productos y prestaciones. Dentro de las características principales del autómata CQM1H se encuentran [12]: PLC modular; Número máximo de puntos de E/S: 512 puntos. Velocidad de proceso: 0.375 a 17.7 μ s. Capacidad de programación: 15,2K palabras. Soporta los lenguajes ladder y lista de instrucciones. De manera general es un PLC para aplicaciones sencillas, con propiedades modestas.

El CX-Programmer es el software de programación para todas las series de PLC de OMRON. Este software ofrece toda la potencia de programación necesaria para construir complejos sistemas con múltiples dispositivos aplicando lenguajes en diagrama de relees y/o de listas de instrucciones ([4]).

MOVICON es una aplicación para el desarrollo de sistemas SCADA, ampliamente difundida en Cuba, distribuido por Copextel. Es una tecnología innovadora y flexible para el diseño de software SCADA, con altas prestaciones y beneficios. Posee un ambiente amigable para el programador y constituye una excelente herramienta para la supervisión y el control de procesos. Fue una de las primeras aplicaciones que incorporó el uso de OPC integrado.

Lista de Instrucciones es el lenguaje más antiguo. Este utiliza un estilo muy similar al empleado por los lenguajes de ensamblador. Generalmente se usa en aplicaciones pequeñas y para optimizar partes de una aplicación. Es difícil entender un programa rápidamente cuando hay muchas instrucciones. Su diseño es un poco más complicado que otros como el Ladder o Grafset ya que se producen saltos que dificultan su elaboración y comprensión; aunque queda a disposición del programador emplear uno u otro lenguaje. .

La comunicación del autómatas con la PC se realiza mediante un cable con dos conectores DB-9 (RS-232). Este es una interfaz física serial estándar desarrollada por la EIA (*Electronic Industry Association*); efectúa una comunicación punto a punto. Su velocidad de transmisión es baja con respecto a la que puede proporcionar otros interfaces como RS485 y está más propensa a la introducción de ruido en el medio de transmisión. Emplea un formato asincrónico y la distancia de transmisión máxima es de 15 m [13]. De manera general, en la transmisión RS-232, las cadenas de datos son caracteres ASCII. Es un estándar orientado a la transmisión de texto.

1.3. Funcionamiento de una planta de hormigón

Las plantas de hormigón son estructuras mecánicas dedicadas a la fabricación del concreto, a partir de recetas previamente elaboradas. Para ello, se utilizan diferentes materias primas como: árido, cemento, agua y aditivos.

Una planta de hormigón se dedica a la dosificación de las proporciones correctas de cada materia prima o elemento, los cuales se almacenan en la instalación. Durante este proceso se pesan cada uno de los componentes según la mezcla que se desea elaborar y la cantidad de metros cúbicos a producir. Posteriormente, se suministra el volumen adecuado de agua y otros componentes, que pueden ser medidos por el flujo o por el peso de los mismos, hasta lograr una mezcla homogénea. El logro de este

objetivo avala la necesidad de introducir la automatización de dichas instalaciones. La planta debe ser capaz de efectuar todas las tareas de pesaje y dosificación de los componentes de manera automática. Para ello se debe contar con un sistema de supervisión y control que le permita al operador monitorear el proceso productivo.

1.4. Hormigones

Desde su invención en el siglo XIX se ha convertido en el material estructural más utilizado. Su evolución desde las primeras construcciones empíricas con grandes errores de diseño hasta los actuales tipos especializados para cada aplicación ha transcurrido un siglo largo que lo ha consolidado como un material de altas prestaciones. Esta evolución es el resultado de las investigaciones llevadas a cabo en los planos químicos, físicos, mecánicos y estéticos.

El hormigón o concreto es una mezcla homogénea formada por una pasta adhesiva de cemento con agua que mantiene adheridas a un conjunto de materiales inertes, denominados áridos o agregados. Estos últimos se clasifican según su granulometría en gruesos (como son el canto rodado y la piedra partida) y finos (distintos tipos de arena). A su vez, la mezcla puede contener los denominados aditivos, los cuales se encargan de conferirle propiedades particulares al hormigón [1].

Se conoce como proporcionamiento o dosificación de mezcla al proceso de definir las proporciones de los distintos ingredientes que conforman al hormigón. Su objeto es el de lograr una adecuada combinación de los componentes que tenga la correcta consistencia y trabajabilidad en el estado fresco, y apropiada resistencia mecánica y química en el estado endurecido. Además, debe tenerse en mente que cada proyecto en particular tiene sus requerimientos, de los cuales se estipulan en los planos normalmente la resistencia a la compresión y el asentamiento [1].

1.4.1 Propiedades fundamentales de los hormigones

El hormigón presenta dos estados fundamentales desde el punto de vista práctico.

El estado fresco o plástico es el que admite ser manipulado para su adaptación a los encofrados previstos. Sus características fundamentales son: la consistencia, docilidad del hormigón fresco. La homogeneidad, cualidad de distribución por toda la masa de todos los componentes del hormigón en las mismas proporciones y el tiempo abierto. Esta última es una propiedad muy importante pues es la que permite manipular el hormigón sin merma de sus características.

El hormigón en el estado endurecido es en el que ha adquirido una rigidez tal que impide su manipulación, carácter que adquiere a partir del final del fraguado. Las propiedades más relevantes del hormigón en dicho estado son: la resistencia a las acciones de compresión, propiedad que lo convierte en el importante material que es; la durabilidad, la cual se define como su capacidad de soportar durante la vida útil para la que ha sido proyectada, las condiciones físico mecánicas y químicas a las que va a estar expuesta sin producir rasgos de degradación en su estructura; la densidad; permeabilidad y dureza; una propiedad que se modifica con el paso del tiempo.

1.4.2 Importancia de una adecuada dosificación de los hormigones

La dosificación del hormigón tiene por objeto determinar las proporciones en que hay que mezclar los distintos componentes del mismo para obtener hormigones que reúnan las características y propiedades exigidas en el proyecto [14].

En el complejo problema de la dosificación, los datos de partida pueden ser o bien la resistencia mecánica final o bien la dosificación del cemento por metro cúbico de hormigón compactado. Debe tener en cuenta los siguientes factores: las propiedades exigidas al hormigón, las características de los materiales disponibles y los medios de fabricación, transporte y colocación.

Resulta importante destacar como uno de los factores que más incide en la resistencia del hormigón es la relación agua/cemento de la masa, para favorecer la consistencia de la mezcla fresca y la resistencia entre otras. Los aditivos ayudan a mejorar algunas propiedades del hormigón, por ejemplo, docilidad, fraguado o endurecimiento.

Para dosificar un hormigón se deben tener en cuenta varios factores con el objetivo de que resulte lo más económico posible y a la vez cumpla con los requisitos de proporcionarle consistencia, resistencia y durabilidad a la mezcla a usarse en una determinada estructura [15].

1.5. La automatización

A partir de la Revolución Industrial, a fines del siglo XVIII, los procesos de fabricación fueron aumentando paulatinamente en cantidad y complejidad. Fue durante este período cuando se inventaron las primeras máquinas automáticas que reemplazaban, al menos en parte, a los operarios en tareas físicas y mentales previamente programadas. Con el fuerte desarrollo de los dispositivos electromecánicos y electrónicos surgidos durante el siglo XX, aplicados a la medición y control de los procesos, nace el concepto de automatización industrial. Esta ha permitido liberar al personal de campo de su función de

actuación física directa, asignándole una labor de supervisión y vigilancia desde centros de control ubicados incluso en salas aisladas [1].

La automatización, desde los inicios de la industrialización hasta la actualidad, fue considerada una herramienta de trabajo inicialmente, para convertirse en indispensable en el momento actual y competir en el mercado globalizado [2]. Esta consiste en el empleo de sistemas digitales como pueden ser autómatas programables, computadoras industriales, pantallas HMI y otros elementos computacionales que en conjunto con herramientas de software posibilitan la automatización de una instalación o proceso.

En la concepción actual, un proceso industrial automatizado cuenta con dispositivos de campo destinados a interactuar con el producto (sensores y actuadores), vinculados a controladores automáticos mediante el envío continuo de señales, tanto analógicas como digitales. Dichos controladores son usualmente autómatas programables y tienen hoy la capacidad de procesar información y realizar cálculos y funciones de cada vez mayor complejidad. Además, los autómatas pueden conectarse a un dispositivo con una interfaz gráfica (PC, HMI, etc.) permitiendo mediante ésta la supervisión y control del proceso [1].

1.5.1 Objetivos de la automatización

Diversos autores se refieren a los objetivos de la automatización, dentro de los que pueden citarse [16].

- 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 pesados e incrementando la seguridad.
- Realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente.
- Mejorar la disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso.
- Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.
- Integrar la manufactura y producción.

Puede apreciarse que constituye una necesidad considerar la automatización de una planta de concreto como vía para elevar la eficiencia y eficacia del proceso de producción.

1.5.2 Clasificación de la automatización

En el análisis y diseño de sistemas automatizados existen dos grandes líneas bien definidas: la automatización de los sistemas lógicos y la automatización de los sistemas diferenciales.

1.5.2.1 Sistemas lógicos

La automatización de los sistemas lógicos abarca aquellos sistemas que se caracterizan por la ocurrencia o sucesión de eventos que responden a una secuencia dada; esta sucesión puede ser en el tiempo o debido a la ocurrencia de determinadas condiciones o eventos externos. Como ejemplos de este tipo de sistemas se pueden citar: el control secuencial del tráfico ferroviario, control de elevadores de un edificio, sistema de llenado de botellas, etc. La característica fundamental de este tipo de sistemas es respetar la secuencia de operaciones para lograr así el correcto funcionamiento del sistema [17].

1.5.2.1 Sistemas diferenciales

Cuando se habla de los sistemas diferenciales, se refiere a los sistemas cuyo objetivo fundamental es la regulación de variables continuas en el tiempo, como pueden ser temperatura, nivel o presión. En este caso se emplean para la regulación los clásicos PID en diferentes estructuras, así como otras técnicas más avanzadas dentro de la teoría del control moderno como pueden ser el control difuso, control robusto, control adaptable u otras técnicas de control inteligente (redes neuronales, algoritmos genéticos, etc.) [17].

En sentido general no es muy cotidiano ver en la práctica algún sistema automatizado que pertenezca enteramente al grupo de los sistemas secuenciales o al de los sistemas continuos, lo que comúnmente ocurre es que suelen encontrarse combinaciones de ambos, aun en aplicaciones relativamente sencillas, ello no quiere decir que puede predominar uno en particular, en dependencia de las características del proceso a controlar [18].

1.6. Autómatas programables

Un autómatas programable o PLC, es un sistema electrónico programable con un hardware estándar, empleado en ambientes industriales para controlar máquinas y procesos. Este, utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones, con las cuales se efectúan determinadas funciones como: conteo, secuenciación, operaciones aritméticas lógicas, regulación PID, entre otras; actuando sobre los accionadores de la instalación, en base a la información recibida por los captadores, posibilitando controlar disímiles procesos industriales.

De forma general podemos decir que se trata de un sistema con un hardware estándar, con capacidad de conexión directa a las señales de campo (niveles de tensión y corriente de transductores y otros periféricos electrónicos) y programable por el usuario, diseñada para controlar, en tiempo real y en medio industrial, procesos secuenciales [2].

Si se quiere representar el autómatas programable en forma de diagrama de bloques quedaría de la siguiente forma:

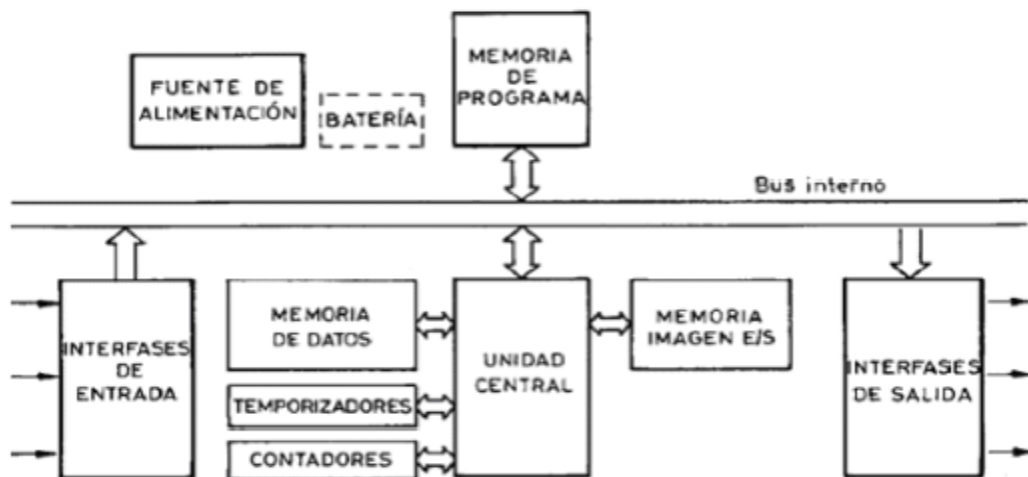


Figura 1.1 Diagrama de bloques de un PLC [19].

Los PLC se han convertido en parte integral de la automatización de sistemas de control. Se desarrollaron inicialmente para la industria automotriz, pero rápidamente fueron aceptados por virtualmente todo el sector industrial. Conforme creció su aceptación también se incrementó la demanda de nuevas funciones, más memoria y mayor cantidad de entradas/salidas. Esto dio lugar a que más fabricantes produjeran continuamente nuevos modelos con mejores características y se agregaran otras opciones [20].

1.6.1 Estructura de un autómatas programable

Estructura externa:

Los autómatas programables en cuanto a su estructura se pueden clasificar en [2]:

Compactos: en un solo bloque están todos los elementos, es decir, la alimentación, entradas, salidas y/o la CPU. Se expanden conectándose a otros bloques con parecidas características.

Modulares: separan por unidades las distintas partes operativas, o sea, por módulos o tarjetas adosadas en racks con funciones definidas: CPU, fuente de alimentación, módulos de entrada / salida (E/S), etc. La conexión se realiza mediante conexión entre racks.

Estructura americana: separa las E/S del resto del autómata.

Estructura europea: cada módulo es una función (fuente de alimentación, CPU, E/S, etc.).

Estructura Interna:

Los elementos esenciales, que todo autómata programable posee como mínimo, son [2]:

Sección de entradas: se trata de líneas de entrada, las cuales pueden ser de tipo digital o analógico. En ambos casos tenemos unos rangos de tensión característicos, los cuales se encuentran en las hojas de características del fabricante. A estas líneas conectaremos los sensores.

Sección de salidas: son una serie de líneas de salida, que también pueden ser de carácter digital o analógico. A estas líneas se conectan los actuadores.

Unidad central de proceso (CPU): se encarga de procesar el programa de usuario que le introduciremos. Para ello disponemos de diversas zonas de memoria, registros, e instrucciones de programa. Adicionalmente, en determinados modelos más avanzados, podemos disponer de funciones ya integradas en la CPU, como reguladores PID, control de posición, etc.

Memoria: Es la encargada de contener el programa de usuario y de trabajo. En los autómatas está separada en diversas áreas según su función o datos que debe contener. Las imágenes de salidas y entradas se hacen en memoria.

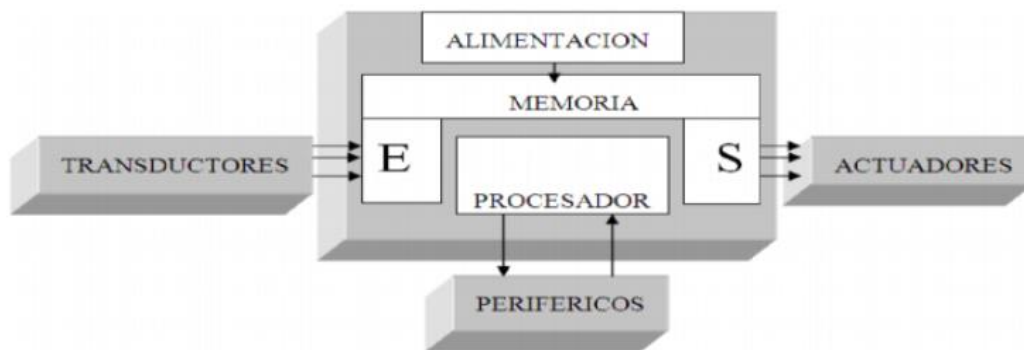


Figura 1.2 Estructura básica de un autómata programable [21]

1.6.2 Campos de aplicación

El PLC por sus especiales características de diseño posee un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía constantemente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales. Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, hacen que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como [22]:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiantes.
- Procesos secuenciales.
- Maquinaria de procesos variables.
- Instalaciones de procesos complejos y amplios.
- Elementos y Equipos Eléctricos.
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso.
- Maniobra de máquinas.
- Maniobra de instalaciones.
- Señalización y control.
- Chequeo de Programas.
- Señalización del estado de procesos.

1.6.3 Programación

Los primeros PLC, en la primera mitad de los 80, eran programados usando sistemas de programación propietarios o terminales de programación especializados, que a menudo tenían teclas de funciones dedicadas que representaban los elementos lógicos de los programas de los PLC. En la actualidad, los programas de los autómatas son escritos en aplicaciones especiales en un ordenador y luego son descargados directamente mediante un cable o una red. Los PLC modernos pueden ser programados de muchas formas, desde la lógica de escalera hasta lenguajes de programación tradicionales como el BASIC o C. Otro método es usar la Lógica de Estados (*State Logic*), un lenguaje de programación de alto nivel basado en los diagramas de transición de estados [19].

Gracias a la existencia de varios lenguajes para la programación de PLC, como pueden ser lista de instrucciones, ladder, diagrama de bloque de funciones, texto estructurado, Grafcet, entre otros, es posible desarrollar algoritmos de gran envergadura para controlar un proceso productivo sin que sea muy complicado el desarrollo de los mismos.

1.6.4 Aspectos a tener en cuenta para seleccionar un PLC

Para seleccionar un PLC, inicialmente debe precisarse donde se implementará, así como las necesidades del proceso. También, deben de tenerse en cuenta varios criterios, los cuales se pueden agrupar en dos categorías: los cualitativos y los cuantitativos. Según Paul Gálvez (2014), jefe de instrumentación y mediciones geofísicas en el laboratorio LEMCO, de la Universidad Técnica Federico Santa María; existen ciertos aspectos que se deben considerar a la hora de optar por un determinado autómatas; se puntualizan a continuación [23]:

Aspectos cualitativos

- **Fiabilidad del producto:** Es una característica muy importante que hace referencia directamente al funcionamiento del PLC. Por lo general la marca o nombre del fabricante del equipo es un aval suficiente para conocer el grado de fiabilidad del mismo.
- **Ayuda al desarrollo de programas:** Hace referencia a la cantidad de información y ayuda que presta la empresa distribuidora del equipo a nivel local o estatal. Hoy en día con el desarrollo de Internet gran parte de esta información estará recogida en páginas web del fabricante. Será pues importante evaluar el idioma en que están escritas, la facilidad para encontrar la información buscada en las mismas y la capacidad de esta información para resolver problemas reales.
- **Servicios del suministrador (proveedor):** Es muy importante evaluar qué servicios extra aporta el distribuidor del equipo a nivel local o nacional, tales como: cursos de formación, su precio, el lugar de impartición y el número de fechas disponibles, capacidad para aportar recursos humanos, capacidad para aportar recursos técnicos, etc.
- **Normalización en planta:** Esta característica hace referencia a la capacidad del equipo para ser conectado e intercambiar información de manera correcta y efectiva con el resto de dispositivos y equipos que ya estén instalados en una planta dada.

Aspectos cuantitativos

- Ciclo de ejecución: Mide el tiempo que el autómatas tarda en ejecutar una instrucción o un Kbyte de instrucciones. Depende directamente de la velocidad de la CPU del equipo e influirá directamente en el ciclo de escaneo.
- Capacidad de entradas y salidas: Define el número de E/S se pueden conectar a un equipo. Determina por lo tanto la capacidad del equipo para conectarse con el proceso.
- Módulos funcionales: Algunos tipos de acciones que se pueden llevar a cabo sobre el proceso como por ejemplo el posicionamiento de ejes, el control de procesos continuos, la noción del tiempo, etc., requieren de módulos especiales que pueden ser añadidos al autómatas para complementarlo pero que en su configuración básica quizá no tenga.
- Conjunto de Instrucciones: No todos los autómatas son capaces de ejecutar los mismos tipos de instrucciones. Por ejemplo, no todos los autómatas son capaces de realizar operaciones en coma flotante. Esta característica determinará la potencia (capacidad) del equipo para afrontar el control de ciertos tipos de procesos.
- Comunicaciones: Otra de las características más importantes a la hora de poder establecer comparaciones entre PLC's es la capacidad que tengan para intercambiar información con otros PLC's u otros módulos de E/S.
- Periferia y programadores: Los PLC's pueden ser complementados con dispositivos auxiliares que sin ser esenciales para llevar a cabo su principal función (controlar un proceso), si facilitan ciertas tareas secundarias.

1.7. Computadoras industriales

Las computadoras industriales son máquinas empleadas para controlar, monitorear y supervisar un proceso productivo. Su diseño le permite trabajar en entornos industriales de manera segura y confiable ante condiciones hostiles como pueden ser polvo, ruidos, vibraciones, entre otras. En los últimos años, ha aumentado el uso de este tipo de computadoras [24]. Con el avance de las tecnologías se ha implementado un sistema donde se combina el PLC y la PC industrial para el desarrollar las tareas de control, manipulación y tratamiento de datos con alta fiabilidad y seguridad.

1.8. Consideraciones finales del capítulo

- El hormigón es el material más usado en el sector de la construcción y debe cumplir con requisitos de calidad para su uso.
- Constituye una necesidad la automatización del proceso de fabricación del hormigón.
- El PLC es una herramienta indispensable para la automatización de un proceso.
- El desarrollo de algoritmos de control para el PLC se puede llevar a cabo en varios lenguajes, según las especificaciones del fabricante.
- El hardware del sistema de control debe tener determinadas características para su implementación en una aplicación determinada.
- Que tan bien sea la ejecución del software de control va a depender de las propiedades del hardware.

CAPÍTULO 2. ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA DE HORMIGÓN HZS60, DE PROCEDENCIA CHINA

En este capítulo se abordarán los principales contenidos del trabajo y se expondrán los métodos y materiales necesarios para la realización del mismo. Inicialmente, se precisan las características generales de la planta y se realiza una descripción detallada el proceso productivo. Luego se presenta el diagrama de flujo de planta y se puntualizan aspectos de la tecnología necesarios para la automatización del proceso.

2.1. Características generales de la planta HZS60

La planta de hormigón HZS60 ubicada en el municipio Nuevitas de procedencia china posee las siguientes características [25]:



Figura 2.1 Planta HZS60 de procedencia china

- Proveedor: Construction Machine Co., Ltd.
- Marca: XCMG
- Cuenta con tres tolvas para el almacenamiento de los áridos.
- Tiene dos silos de 30 toneladas cada uno para el almacenamiento del cemento.
- Posee una capacidad de producción de $60 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Potencia de consumo 120 kW.
- Capacidad de la mezcladora 1m^3 .
- Modelo de mezcladora JS1000.

2.2. Descripción general del proceso

La planta de hormigón referida se dedica a dosificar adecuadamente cada componente de la mezcla según el tipo de hormigón que se desee elaborar. El proceso es llevado a cabo mediante celdas de carga, las cuales efectúan las operaciones de pesaje. Estas, son conectadas a indicadores de pesaje; dispositivos que proporcionan visualización local de cada elemento de la mezcla. Se cuenta con cuatro indicadores en total y cada uno de ellos posee una salida analógica que proporciona un voltaje de 0 a 10V equivalente al peso correspondiente. Dicha señal es llevada a un módulo de entradas analógicas del PLC para su procesamiento. Esto posibilita el conocimiento del valor de peso por parte del programa y su visualización en la PC. Para una mejor comprensión del proceso se presentará a continuación dividido en varias partes o etapas.

2.2.1 Pesaje de los áridos

Inicialmente los áridos (arena y grava) son depositados en tolvas de almacenamiento mediante un cargador motorizado. La descarga de los estos se realiza a través de dos compuertas accionadas por cilindros neumáticos lineales de doble efecto, con los que se consigue abrir y cerrar dichas compuertas. Para obtener el peso deseado se va manipulando el estado de las compuertas. Ambas se cierran cuando se alcanza el valor de peso requerido para la receta. Para conocer el valor del peso se emplean cuatro celdas de carga tipo S que sostienen la cinta transportadora, las cuales se conectan a una caja sumadora y de ahí a un indicador de pesaje para su visualización local. Cuando se obtiene el peso deseado se activa la cinta transportadora, descargando los áridos en un carro tolva. Después de esto se transportan hacia la mezcladora mediante una rampa. Al llegar al límite superior de la rampa son descargados directamente en la mezcladora gracias a un indicador de fin de carrera mediante un mecanismo de tope. Anexos 1 y 2.

2.2.2 Dosificación del cemento

Al terminar el proceso de pesaje de los áridos se efectúa la dosificación del cemento. Este se encuentra almacenado en dos silos. Se emplea un mecanismo sinfín para el transporte de este material hasta la tolva de pesaje, la cual se encuentra suspendida sobre tres celdas de carga tipo S. El valor de peso se conoce mediante la señal de salida de las celdas de carga, que pasa a un indicador de pesaje y luego a una entrada analógica del PLC. Cuando el peso alcanza el valor deseado se descarga el cemento en la mezcladora. Luego se comienza con el pesaje del agua y los aditivos.

2.2.3 Pesaje del agua y aditivos

El agua es un componente que debe ser dosificado adecuadamente para no alterar las características del hormigón obtenido. Es bombeada primeramente desde una cisterna ubicada en las cercanías de la instalación hasta un recipiente destinado a su pesaje, el cual se encuentra suspendido sobre dos celdas de carga tipo S. Las señales de dichas celdas de carga pasan a un indicador de pesaje y de ahí a una entrada analógica del PLC, permitiendo conocer el valor del peso. Para la dosificación de los aditivos se realiza de igual manera que con el agua. Con este fin existe una tolva dedicada a su pesaje.

2.3. Modos de trabajo

La planta de hormigón se diseña para trabajar de modo manual o automático. Para ello se selecciona mediante un interruptor de maneta ubicado en el pupitre de mando como se operará. A continuación, se describen ambos modos de trabajo.

2.3.1 Modo manual

En este modo de trabajo todas las tareas son realizadas por el operador mediante un pupitre de mando. Este va accionando interruptores y pulsadores para efectuar las acciones de control (abrir y cerrar compuertas), apoyándose en la información que les brindan los indicadores de pesaje.

Inicialmente, el operador debe seleccionar el modo de operación manual mediante un interruptor de maneta para comenzar a trabajar. Con esto se deshabilitarán las operaciones del PLC y se habilitan los pulsadores del pupitre de mando. El operador debe contar con un documento impreso que contenga los datos de la receta que se prepara o de lo contrario apoyarse en la PC si cuenta con esta. Esto le permite comparar el valor de peso actual mostrado en el indicador de pesaje con el que se desea según la receta. La primera tarea del operador al comenzar el proceso es encender el motor de la mezcladora. A continuación, empezará a abrir y cerrar las compuertas de los áridos una a una hasta obtener el valor

deseado de arena y grava. Seguidamente se verifica que el carro tolva esté en el límite inferior de la rampa para activar la cinta transportadora, evitando que se derramen los áridos. Se activará el vibrador de cinta para garantizar la descarga total de estos. Cuando el peso indicado llegue a cero se parará la cinta transportadora.

El siguiente paso es chequear que la mezcladora esté cerrada para transportar los áridos hasta esta. Luego se activará el motor elevador, el cual descarga los áridos al llegar al final mediante un mecanismo de tope, proceso que dura unos pocos segundos. Al finalizar la descarga el carro tolva se regresa al límite inferior de la rampa quedando listo para el próximo ciclo.

Se procede después con el proceso de pesaje y dosificación del cemento. La primera tarea es verificar que la tolva de pesaje está cerrada para evitar descargar directamente el cemento en la mezcladora. Se selecciona si se va a trabajar con uno o con ambos silos y se activa el mecanismo sinfín para la descarga en la tolva de pesaje. El valor de peso se visualiza en el indicador del pupitre de mando. Al llegar al valor deseado se desactiva el mecanismo transportador sinfín y se abre la compuerta de la tolva de pesaje para descargar el cemento en la mezcladora. Si el valor indicado no llega a cero se activará un vibrador para garantizar su descarga total.

La última tarea consiste en la dosificación del agua y los aditivos. El operador primeramente debe asegurarse que el recipiente de pesaje del agua está cerrado para activar la bomba de agua. El valor de peso al igual que en las etapas anteriores es mostrado en el indicador de pesaje correspondiente. Cuando se obtiene el valor requerido para la receta se desactivará la bomba de agua. Luego se procede con el pesaje de los dos aditivos para los cuales existe un recipiente también. Estos son bombeados uno a uno para su pesaje. Al alcanzar el peso requerido se descargan en la mezcladora. Cuando todos los materiales han sido descargados en la mezcladora, se le da un tiempo de mezclado de cinco minutos para garantizar la homogeneidad de la mezcla.

En este modo de trabajo la obtención de un hormigón que cumpla con las características requeridas depende en gran medida de la experiencia del operador. Por tal motivo la operación en modo manual se realiza si existen dificultades para el funcionamiento automático de la planta. En la siguiente figura se muestra el pupitre de mando, lugar donde el operador efectúa las operaciones de forma manual.

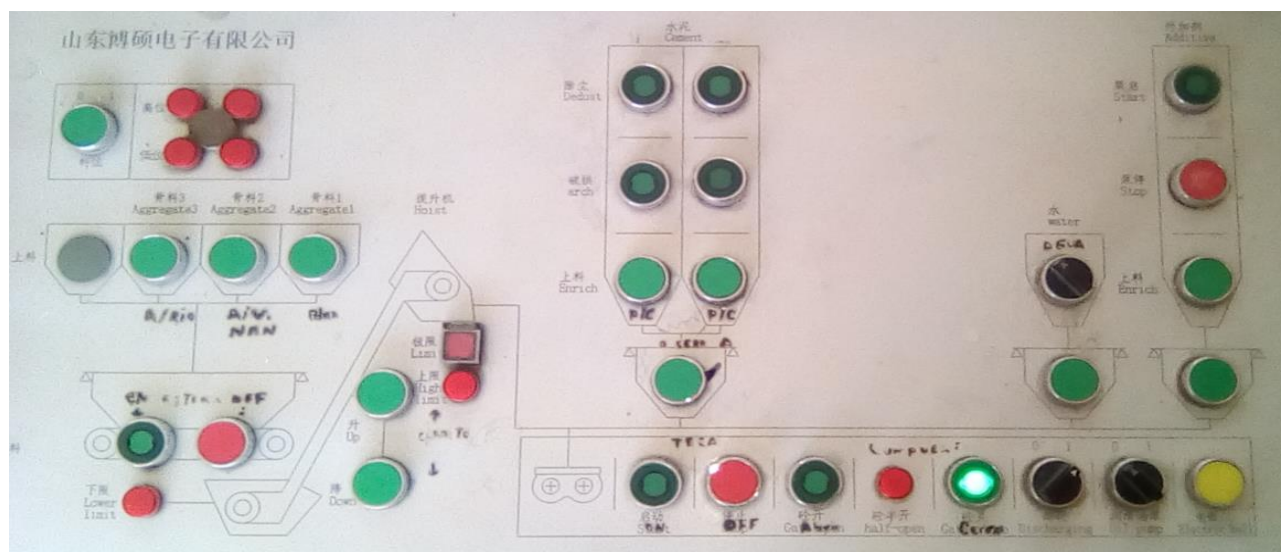


Figura 2.2 Imagen del pupitre de mando

2.3.2 Modo automático

Cuando la planta se encuentra trabajando en modo automático las tareas del operador se reducen a la supervisión del proceso mediante una aplicación SCADA. Todas las acciones de control son realizadas por el PLC. Al seleccionar este modo de trabajo el operador debe seguir una secuencia de pasos, los cuales se detallan a continuación:

Primeramente, se debe escoger la receta que se desea confeccionar contando con una visualización de la ventana del proceso en la PC. Después se ingresará la cantidad de metros cúbicos que se quieren producir. Con esa información el sistema realiza los cálculos pertinentes y determina la cantidad de ciclos que deben ejecutarse para producir la cantidad de hormigón que se solicita. La aplicación debe contar con una tabla donde se encuentren almacenados todos los valores en kilogramos de cada receta. Además, debe existir una opción que permita al operador ingresar una nueva receta.

Después que el operador ha insertado todos los parámetros necesarios para la confección de la receta e inicia el proceso, se empiezan a ejecutar todas las instrucciones programadas en el PLC. Si por algún motivo algo va mal durante el proceso, el operador puede detenerlo a través de un pulsador de parada de emergencia, tomando el control de manera manual.

2.4 Diagrama de flujo de la planta

El diagrama de flujo de la planta es un esquema que describe el proceso productivo. Este representa de forma gráfica un algoritmo que permite alcanzar la solución de un problema. Su obtención es sumamente importante. A continuación, se muestra el diagrama de flujo de la planta de hormigón HZS60.

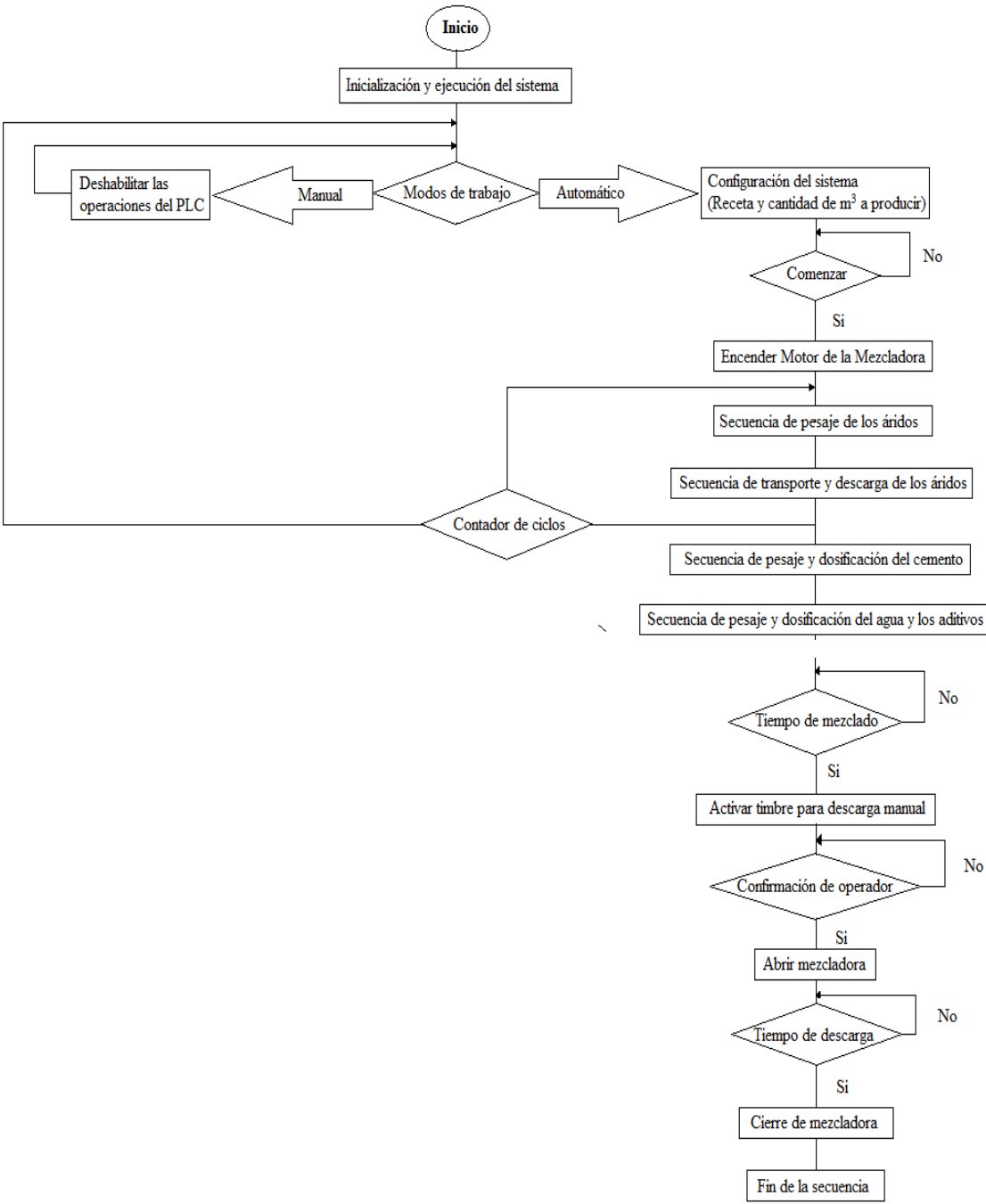


Figura 2.3 Diagrama de flujo de la planta

2.5 Sistema de medición y control

El auge que ha tenido la tecnología en los últimos tiempos ha permitido desarrollar sistemas automatizados capaces de procesar cantidad de información con gran destreza y seguridad. Dichos sistemas están compuestos por un grupo de elementos que buscan ejercer control sobre otros, de manera que sea posible manipular el valor de las variables que intervienen en el proceso, para mantenerlas en un valor o un rango de actuación deseado. El establecimiento de un sistema de medición y control es fundamental para llevar a cabo el monitoreo y la supervisión de un proceso. El sistema de control es el que rige, regula, controla y contiene la lógica del automatismo, mientras que el sistema de medición es el encargado de efectuar la medición y acondicionar la señal para que pueda ser interpretada por otro dispositivo, por ejemplo, un PLC [26]. La medición debe ser segura, eficiente y fiable para la obtención de un producto de calidad. En el proceso de elaboración del hormigón, para llevar a cabo el pesaje y la correcta dosificación de cada componente de la mezcla a preparar se utilizan celdas de carga tipo S, descritas a continuación.

2.5.1 Celdas de carga tipo S

Las celdas de carga tipo S son transductores que convierten la carga que actúa sobre ellas en señales eléctricas. Están unidas a una viga o elemento estructural que se deforma cuando se aplica un peso, por lo que ella también sufre una deformación. Realizan la medición a través de variaciones de resistencia gracias a las galgas extensiométricas. Operan por compresión o tracción. Al ser parte de un brazo de un puente de Wheastone, hay una variación en el voltaje de salida como se puede apreciar en la figura 2.4 donde se aprecia además la ecuación que lo describe. Dicha tensión se lleva a un dispositivo electrónico para traducirlo en un valor de peso. Existen varios tipos de estos transductores que varían en cuanto a sus características estáticas y dinámicas. De manera general el funcionamiento de estas se ilustra a continuación, en la Figura 2.3.



Figura 2.4 Esquema de funcionamiento de la celda de carga tipo S

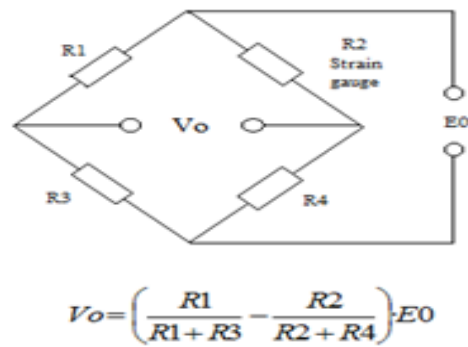


Figura 2.5 Esquema de conexiones

2.5.2 PLC de la familia SIMATIC

La compañía Siemens dentro de la familia de controladores SIMATIC ofrece varias opciones a la hora de optar por un autómata programable. Estos varían en cuanto a sus características, prestaciones y desempeño, de manera que se puede encontrar el autómata que más se adecua a las necesidades de una aplicación determinada. Dentro de las opciones que ofrece se encuentran: el S7-1200, autómata de gama baja, con excelentes servicios para procesos simples (sustituto del S7-200 que se encuentra obsoleto). El S7-300, autómata de gama media, uno de los más vendidos; el S7-400 de la gama media-alta y el S7-1500. Este último, empleado en procesos industriales de gran tamaño, donde se controlan un número de variables muy altas, se emplean varios lazos de regulación PID, una arquitectura de comunicación compleja y la realización de cálculos de gran complejidad.

En la industria de la construcción, el proceso de fabricación del hormigón es un proceso relativamente sencillo. Se necesitan pocas E/S y no se realizan operaciones complejas, es un proceso secuencial simple. Por tanto, con el autómata S7-1200 se puede obtener un buen funcionamiento de la planta, sin malgastar recursos.

2.5.3 Electroválvulas neumáticas

El aire comprimido es una de las formas de energía más antiguas utilizadas por la humanidad, para reforzar sus recursos físicos. En la actualidad su uso es muy común en la industria. Un circuito neumático es un sistema en red por el cual se distribuye un flujo de aire a presión. Está compuesto por todos los elementos necesarios para generar, transmitir y transformar fuerzas y movimientos por medio del aire comprimido [27].

Una electroválvula es una válvula electromecánica, diseñada para controlar el paso de un fluido por un conducto o tubería. La válvula se mueve mediante una bobina solenoide, la cual transforma la energía

eléctrica a través un magnetismo en energía mecánica. Existen distintos tipos de electroválvulas. Dentro de las neumáticas se encuentran se pueden mencionar las de 3/2 vías, 5/2 vías, 5/3 vías. Las empleadas en la industria de la construcción para controlar el posicionamiento de los actuadores neumáticos con cilindros de doble efecto son las electroválvulas 5/2 vías. A continuación, se muestra un esquema del funcionamiento de estas.

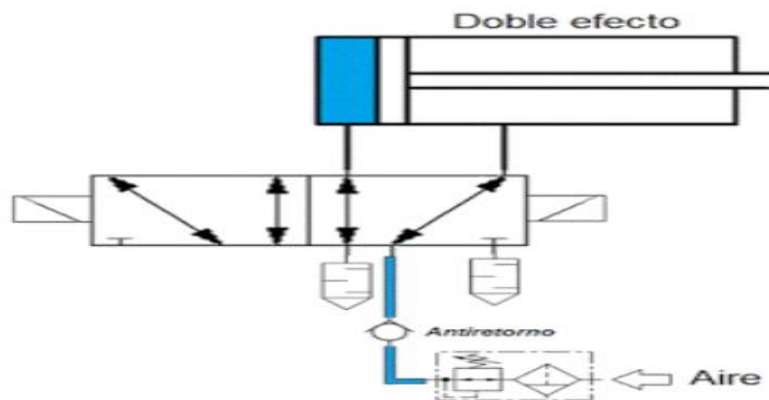


Figura 2.6 Esquema de funcionamiento de las electroválvulas 5/2 vías [28]

2.5.4 Actuadores neumáticos

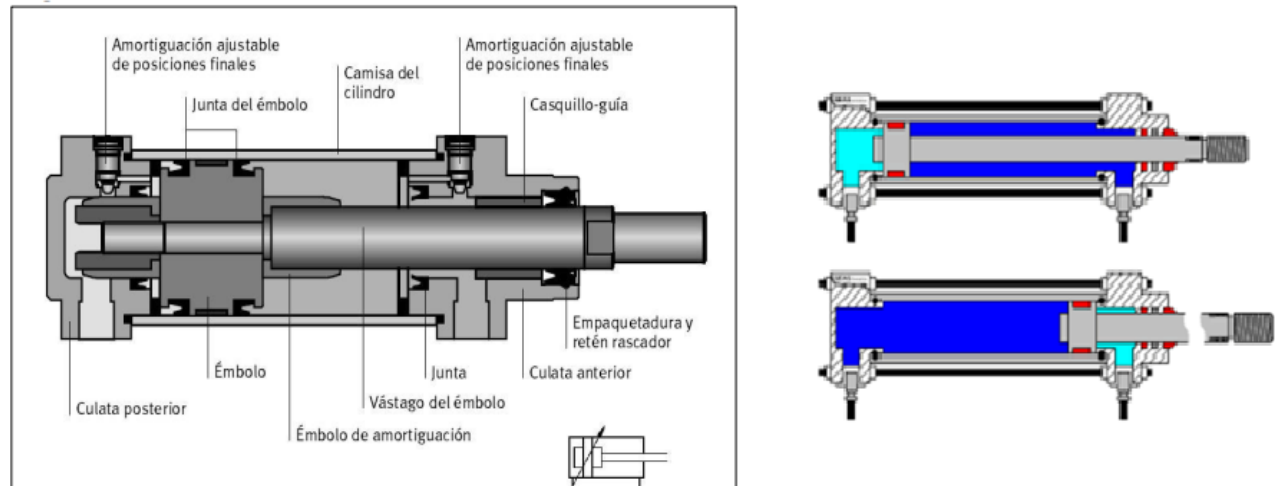
Los actuadores son dispositivos capaces de generar una fuerza para mover otros dispositivos mecánicos a partir de líquidos, de energía eléctrica y gaseosa. Pueden ser hidráulicos, neumáticos o eléctricos. Los empleados en las industrias de fabricación de hormigón son los actuadores neumáticos, dentro de los cuales se encuentran los lineales y los giratorios. Ambos empleados en la instalación referida.

2.5.4.1 Actuator neumático lineal

Consiste en un cilindro cerrado con un pistón en su interior que desliza y que transmite su movimiento al exterior mediante un vástago. Se compone de las tapas trasera y delantera, de la camisa donde se mueve el pistón, de las juntas estáticas y dinámicas del pistón y del anillo rascador que limpia el vástago de la suciedad.

Cilindros de doble efecto: Los cilindros de doble efecto son aquellos que realizan tanto su carrera de avance como retroceso por acción de aire comprimido. Su denominación se debe a que se emplean las dos caras del émbolo (existiendo una diferencia de presión entre ambas). Por norma general los cilindros de doble efecto siempre contienen aire en una de sus dos cámaras por lo que se asegura su posicionamiento. Son usados en la industria de fabricación de hormigón para manipular el estado (abierto

y cerrado) de las tolvas donde se almacenan los áridos. En la figura 2.7 se muestra un esquema de sus partes y funcionamiento.



$$F_t = S \cdot P$$

F_t – Fuerza teórica (N)

S – Superficie útil del émbolo (cm^2)

P – Presión de trabajo (KPa/cm^2 , bar)

$$S_{av} = \pi \cdot R^2$$

$$S_{re} = \pi \cdot (R^2 - r^2)$$

$$F_{n \text{ avance}} = S_{av} \cdot P - F_r$$

$$F_{n \text{ retroceso}} = S_{re} \cdot P - F_r$$

$$F_r \approx 0.1 \cdot F_t$$

S_{av} – Superficie de avance

S_{re} – Superficie de retroceso

$F_{n \text{ avance}}$ – Fuerza real de avance

$F_{n \text{ retroceso}}$ – Fuerza real de retroceso

Figura 2.7 Esquema de funcionamiento y ecuaciones de un actuador neumático lineal con cilindros de doble efecto [29].

2.5.4.2 Actuador neumático giratorio

Los actuadores rotativos o giratorios son los encargados de transformar la energía neumática en energía mecánica de rotación. Dependiendo de si el móvil de giro tiene un ángulo limitado o no, se forman los dos grandes grupos a analizar: Actuadores de giro limitado y Motores neumáticos. Los usados en las plantas de hormigón son los actuadores de giro limitado.

Actuadores de giro limitado: Son aquellos que proporcionan movimiento de giro, pero no llegan a producir una revolución (exceptuando alguna mecánica particular). Para la fabricación del hormigón son usados actuadores de tipo piñón y cremallera para accionar válvulas de cierre, que posibilitan abrir y cerrar las tolvas dedicadas al pesaje del cemento, agua y aditivos. En la figura 2.8 se muestra un esquema de su funcionamiento.

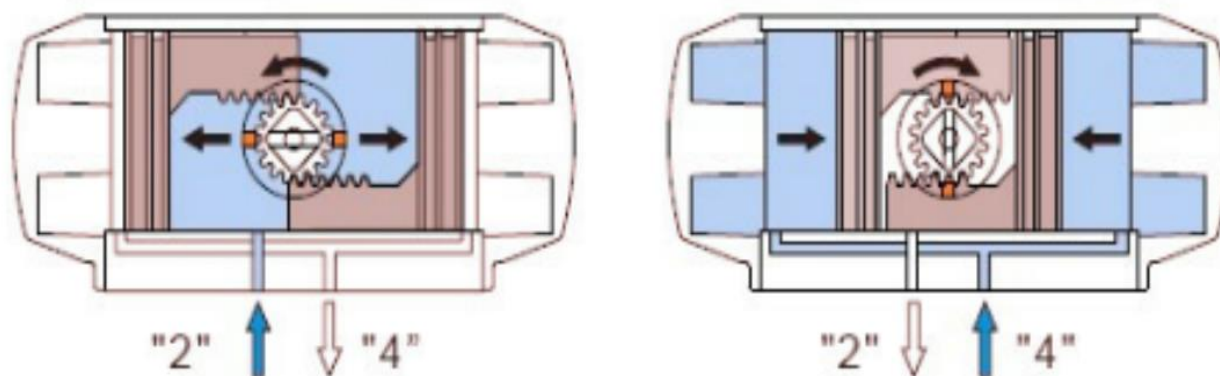


Figura 2.8 Esquema de funcionamiento del actuador de tipo piñón y cremallera [30]

Cuando la presión de la fuente de aire entra en la cámara intermedia entre los dos pistones del cilindro desde el puerto de aire "2", los dos pistones se separan y se mueven a los dos extremos del cilindro, y el aire en las cámaras en ambos los extremos se descargan a través del puerto de aire "4". Luego, los bastidores de los dos pistones conducen simultáneamente el eje de salida para girar en sentido anti horario. Por el contrario, cuando la presión de la fuente de aire ingresa a las cámaras de aire en ambos extremos del cilindro desde el puerto de aire " 4 ", los dos pistones se mueven hacia el centro del cilindro. El aire en la cámara de aire intermedia se descarga a través del puerto de aire " 2 " [30].

El diseño de piñón y cremallera permite una acción suave y fácil mantenimiento. La carrera de estos puede ser de: 90 °, 135 °, 180 ° y ángulo personalizado. Todas las partes internas están recubiertas con lubricantes para garantizar una vida útil prolongada. Para su correcto funcionamiento el rango de suministro de aire debe de ser de 2.5 bar a 8 bar, Máximo 10 bar. Utiliza accesorios opcionales como: válvula solenoide, posicionadores, interruptor de límite, regulador, lubricador, etcétera [30].

2.6 Requerimientos para el PLC

Es importante seleccionar el hardware adecuado para la automatización de una planta de hormigón. Este influye directamente en el correcto funcionamiento de la planta. Debe poseer características y propiedades que cumplan los requisitos necesarios para la automatización. Por su disponibilidad en el mercado local actual se elige un PLC de la firma Siemens. Se opta por el autómatas S7-1200 ya que son idóneos para la realización de tareas sencillas. Este ofrece varios modelos de CPU que se ajustan a diferentes necesidades.

Para la selección adecuada del PLC se tienen en cuenta varios requerimientos:

- Cumplir con el número mínimo requerido de entradas y salidas a manejar, tanto digitales como analógicas.
- Permitir la comunicación con protocolos estándar al programa del sistema SCADA instalado en la computadora (MOVICON).
- Tener la posibilidad de realizar modificaciones o expansiones futuras.
- Poseer flexibilidad en cuanto a lenguajes de programación soportados.
- Poseer la capacidad de cálculo suficiente para llevar a cabo los procesos en tiempo real.
- Cumplir con la cantidad requerida de memoria para el almacenamiento y la ejecución del programa de control.

2.7 Consideraciones finales del capítulo

- La planta de hormigón HZS60 se dedica a dosificar adecuadamente cada componente de la mezcla según el tipo de hormigón que se desee elaborar.
- La planta puede operar en modo manual o automático. La operación en modo manual se realiza si existen dificultades para el funcionamiento automático de la planta.
- La obtención del diagrama de flujo de la planta es fundamental.
- El PLC S7-1200 es el autómatas ideal para controlar el proceso de fabricación del hormigón.
- Las celdas de carga tipo S son sensores que ofrecen una medición fiable y segura. Son muy utilizados en la industria para la medición de peso.
- El aire comprimido es una de las formas de energía más antiguas utilizadas por la humanidad. Su uso es muy común en la industria.

CAPÍTULO 3. PROPUESTA DE HARDWARE DEL SISTEMA DE CONTROL

En este capítulo se describen, analizan y discuten los resultados de la investigación. Se exponen las características del hardware propuesto y se efectúa una valoración de este en diferentes aspectos. Se realiza un análisis crítico de los resultados.

3.1 Hardware del Sistema de control

La automatización de un proceso productivo posee gran relevancia si se desea aumentar la productividad, seguridad y calidad de la producción. Gracias al creciente desarrollo tecnológico en dicho campo, se han desarrollado sistemas de automatización con excelentes prestaciones y servicios, capaces de obtener información de diferentes puntos del proceso y transmitirla hacia centros de control para su procesamiento, almacenamiento y representación. En este sistema el hardware utilizado es fundamental; el buen desempeño y funcionamiento del sistema de automatización va a depender en gran medida de la calidad y propiedades del hardware. La adaptabilidad, flexibilidad y fiabilidad son elementos que deben poseer estos equipos para garantizar una correcta automatización.

3.1.1 EL PLC SIMATIC S7-1200

El PLC es un dispositivo utilizado en la industria para llevar a cabo el control de un proceso. Este, posee características especiales y tiene un campo de aplicación muy extenso. El S7-1200 es el autómata de gama baja de la Siemens, perteneciente a la familia SIMATIC. Es un autómata de variante compacta, que ofrece la flexibilidad y capacidad de controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas tareas de automatización. La familia S7-1200 ofrece diversos módulos y placas de conexión para ampliar las capacidades de la CPU con E/S adicionales y otros protocolos de comunicación. La CPU combina los siguientes elementos, además de otros, en una caja compacta para crear un controlador potente [31]:

- un microprocesador
- una fuente de alimentación integrada
- circuitos de entrada y salida
- PROFINET incorporado
- E/S rápidas de Motion Control

El controlador S7-1200 ofrece la flexibilidad y potencia necesarias para controlar una gran variedad de dispositivos según las distintas necesidades de automatización. Gracias a su diseño compacto, configuración flexible y amplio juego de instrucciones, el S7-1200 es idóneo para controlar una gran variedad de aplicaciones [32].

El S7-1200 propuesto incluye [32]:

- PROFINET incorporado
- E/S rápidas aptas para el control de movimiento, entradas analógicas integradas para minimizar el espacio requerido y excluir la necesidad de E/S adicionales, 2 generadores de impulsos para aplicaciones de ancho de impulso y hasta 6 contadores rápidos
- E/S integradas en los módulos CPU que ofrecen entre 6 y 14 entradas y entre 4 y 10 salidas
- Módulos de señales para DC, relé o E/S analógicas amplían el número de E/S, mientras que las innovadoras señales de tableros integradas en el frontal de la CPU proporcionan entradas y salidas adicionales.

El S7-1200 es el autómatas ideal para la automatización de la planta de hormigón HZS60 de procedencia china. Para cumplir con los requerimientos necesarios en el proceso de automatización y garantizar el correcto funcionamiento de la planta, se propone la CPU 1214C. Figura 3.1



Figura 3.1. PLC S7-1200 con CPU 1214C

Las características de la CPU 1214C se muestran en el anexo 6. La propuesta de dicha CPU constituye una solución eficiente, fiable y flexible. Esta, garantiza cumplir con los requisitos necesarios para la automatización de la planta de hormigón HZS60. Permite manejar las 9 entradas digitales, 31 salidas digitales y 4 entradas analógicas, descritas en el Anexo 5, necesarias para controlar el proceso de producción. Para ello, se propone utilizar 2 módulos de salidas digitales y 1 de entradas analógicas, detallados en el epígrafe 3.1.2 y 3.1.3. Soporta los lenguajes KOP, FUP y SCL, propiedad que proporciona flexibilidad para desarrollar el algoritmo de control, según la experiencia del programador. Se asegura que el sistema sea más rápido que el proceso.

Es un producto de la Siemens. La comunicación Ethernet garantiza fiabilidad, seguridad y buena velocidad en la comunicación del autómatas con la PC. Permite la comunicación con protocolos estándar al programa del sistema SCADA instalado en la computadora (MOVICON) como MODBUS, PROFIBUS, OPC UA, PROFINET IO. Con estos se logra seguridad y un fácil manejo y acceso a los datos. El STEP 7 proporciona un entorno amigable para desarrollar el algoritmo de control. La capacidad de la memoria de trabajo y de carga proveen del espacio suficiente para almacenar y ejecutar el algoritmo de control. Se pueden emplear, además, 3 módulos de comunicación, 1 *Signal board*, hasta seis contadores de alta velocidad y realizar funciones de control de movimiento, características que lo convierten en un sistema muy versátil, y posibilitan realizar modificaciones y expansiones futuras.

3.1.2 Módulos de E/S digitales

Para ampliar las capacidades de la CPU con E/S adicionales y garantizar que el sistema pueda manejar las E/S necesarias para la automatización de la planta se propone la utilización de los módulos de señales descritos en la siguiente tabla.

Tabla 3.1 Módulos de salidas digitales

Características generales		SM 1222 16 DO	SM 1222 8 DO
Tensión de alimentación	Límite inferior (DC):	20,4 V	20,4 V
	Límite superior (DC):	28,8 V	28,8 V
Tensión de salida	Valor nominal (DC):	24 V DC	24 V DC
Intensidad de entrada de bus de fondo 5 V DC, máx.		140 mA	120 mA
Número de salidas digitales:		16	8

Tipo de salida		Transistor	Transistor
Intensidad de salida:	Para señal “1” valor nominal:	0,5 A	0,5 A
	Para señal “0” intensidad residual máx.	10 μ A	10 μ A

3.1.3 Módulo de entradas analógicas

Para poder trabajar con las 4 entradas analógicas necesarias para la automatización de la planta de hormigón HZS-60, es necesario ampliar las capacidades de la CPU con entradas analógicas adicionales. Para ello se propone el modulo SM 1231, el cual se detalla a continuación.



Figura 3.2 Modulo de entradas analógicas. SM 1231

Tabla 3.2 Módulo de entradas analógicas SM 1231

Módulo de entradas analógicas		SM 1231
Tensión de alimentación:	Valor nominal (DC):	24 V
Intensidad de entrada	Consumo, típ	45 mA
	de bus de fondo 5 V DC, típ	80 mA
Nº de entradas analógicas		4

Tensión de entrada admisible para entrada de tensión (límite de destrucción), máx.		35 V
Intensidad de entrada admisible para entrada de corriente (límite de destrucción). Máx.		40 mA
Rangos de entrada	Tensión:	± 10 V, ± 5 V, $\pm 2,5$ V
	Intensidad:	4 a 20 mA, 0 a 20 mA
	Termopar	No
	Termorresistencias	No
	Resistencia:	No

3.1.4 Fuente de alimentación

Para la alimentación de los sensores necesarios se propone la fuente de alimentación pm1207. En la figura 3.2 se ilustra una imagen de dicho módulo y a continuación se precisan las características principales de este.



Figura 3.2 Fuente de alimentación pm1207

Características principales de la fuente de alimentación

- Entrada: AC monofásica
- Tensión de alimentación
 - 1 con AC valor nominal: 120 V
 - 2 con AC valor nominal: 230 VCambio de rango automático
- Tensión de entrada:
 - 1 con AC 85 ... 132 V
 - 2 con AC 176 ... 264 V
- Rango de frecuencia de red: 47 ... 63 Hz
- Corriente de entrada:
con valor nominal de la tensión de entrada 120 V: 1,2 A
con valor nominal de la tensión de entrada 230 V: 0,67 A
- Salida Tensión continua estabilizada y aislada galvánicamente
- Tensión nominal DC: 24 V
- Intensidad nominal: 2,5 A
- Rango de intensidad: 0 ... 2,5 A
- Potencia activa entregada típico: 60 W

3.2 Rutinas para el funcionamiento de la planta

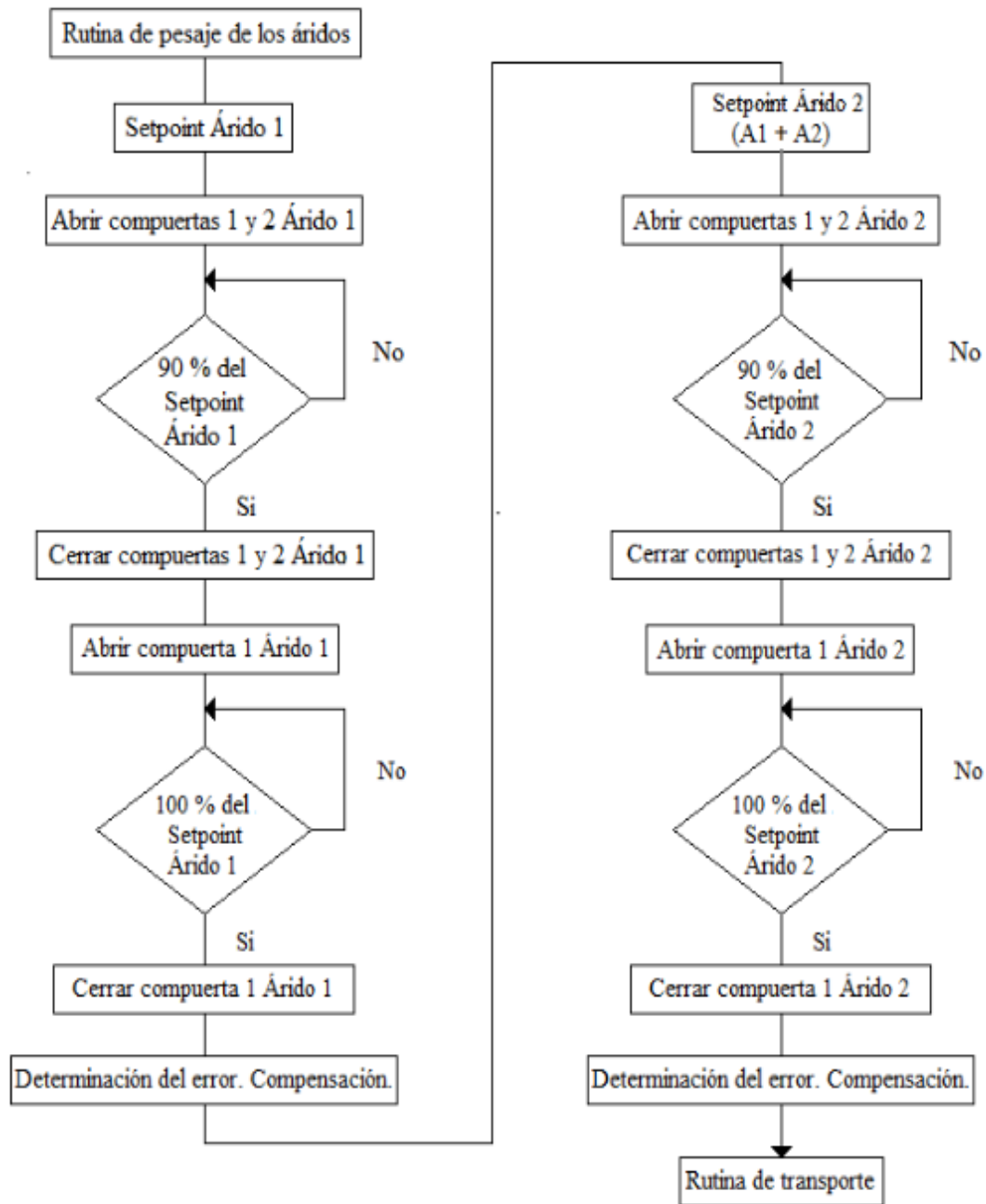
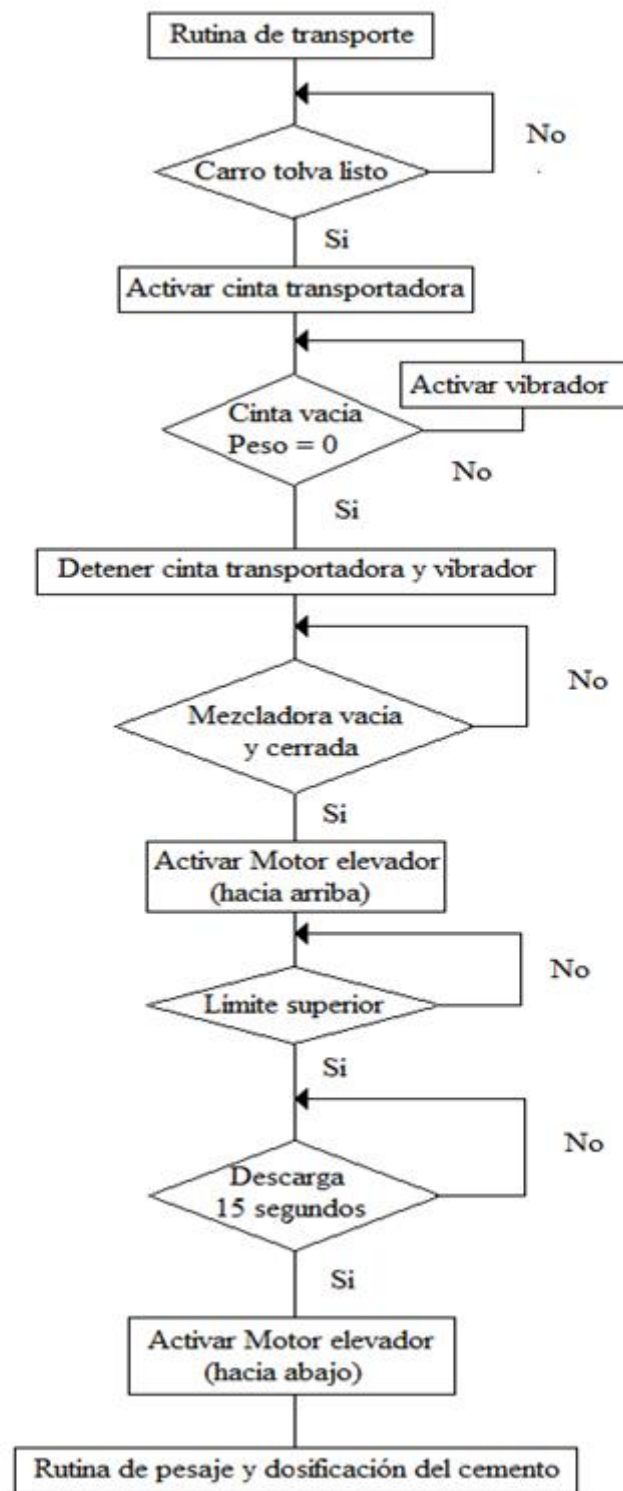


Figura 3.3 Rutina para el pesaje de los áridos

**Figura 3.4** Rutina de transporte

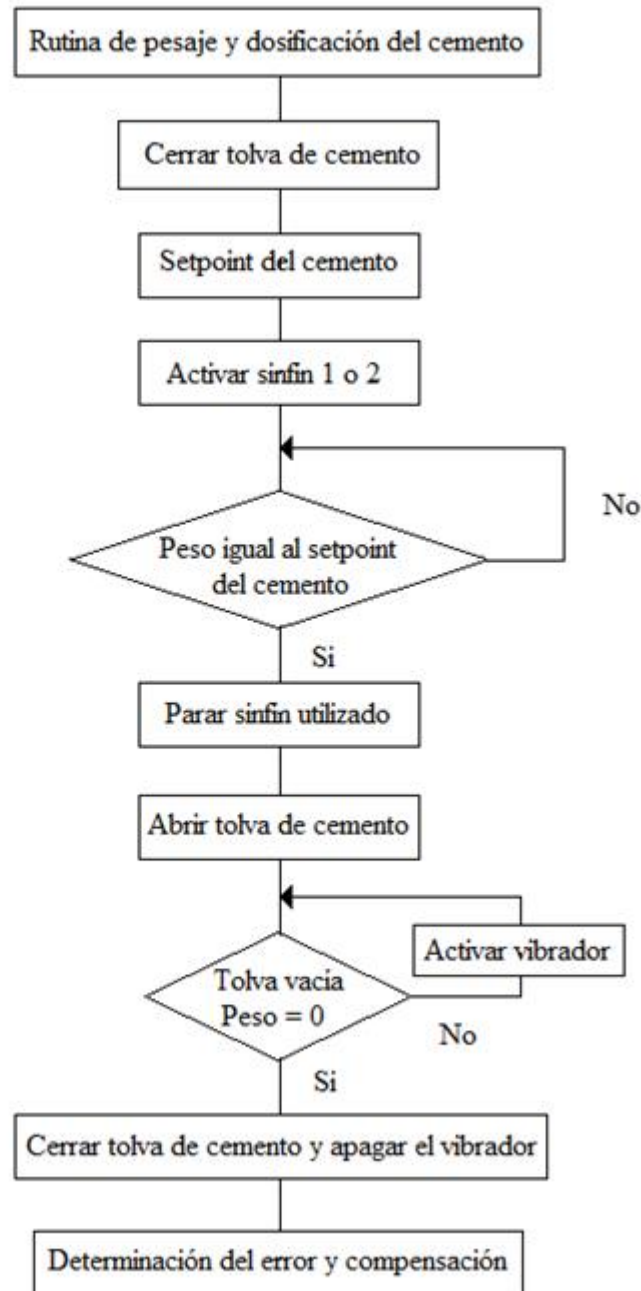


Figura 3.5 Rutina de pesaje y dosificación del cemento

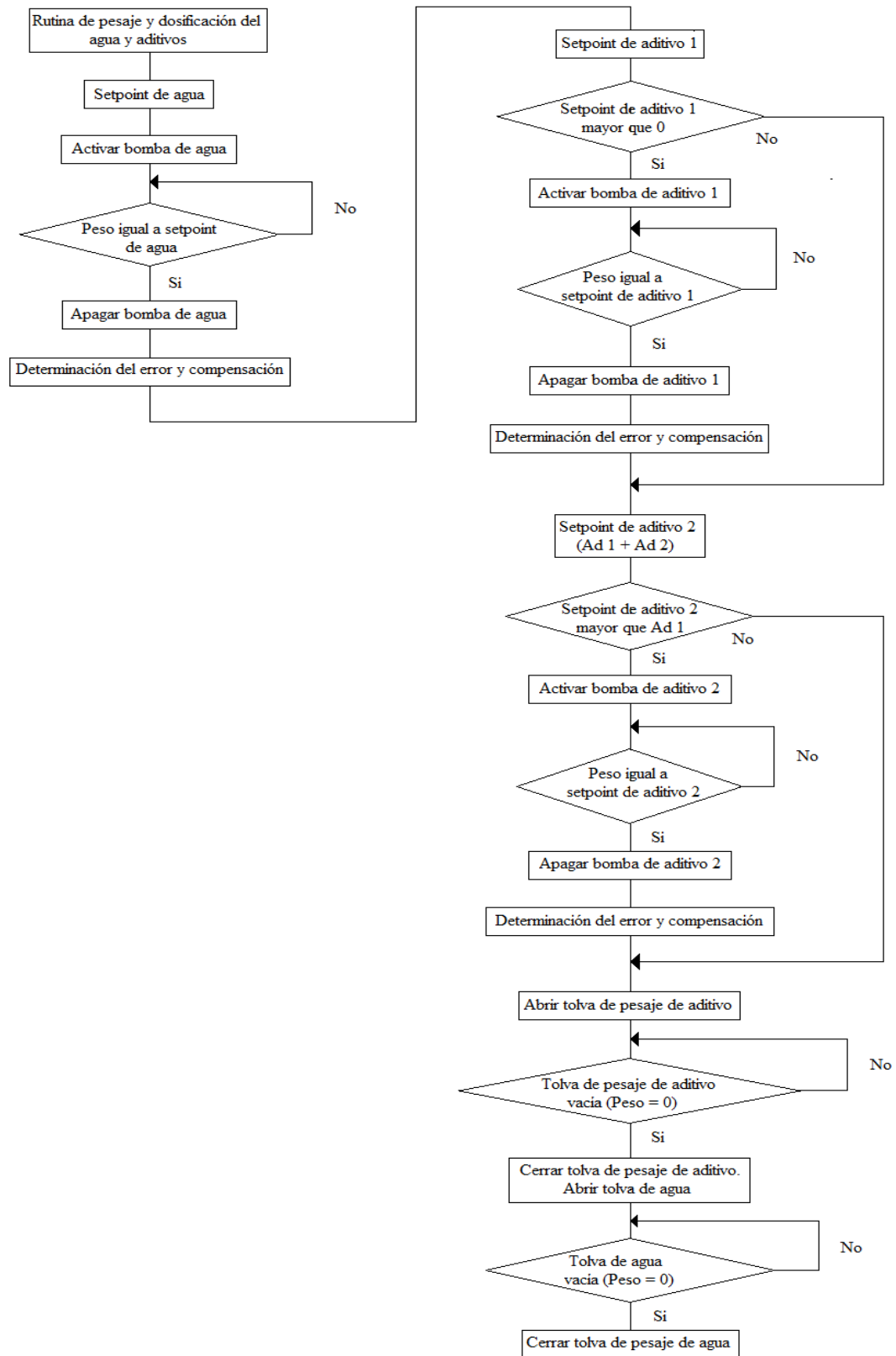


Figura 3.6 Rutina de pesaje del agua y aditivos

3.3 Análisis económico

Gracias al creciente desarrollo tecnológico alcanzado en los últimos años, se han desarrollado sistemas de automatización con excelentes prestaciones y servicios, caracterizados por la eficiencia, seguridad y fiabilidad. La automatización de una planta de hormigón constituye una necesidad si se pretende aumentar la productividad, suprimir trabajos pesados, reducir costos y obtener un producto de calidad. En los países subdesarrollados la adquisición de plantas de hormigón automatizadas constituye un obstáculo por las limitaciones económicas. Nuestro país posee pocos recursos, pero cuenta con personal calificado para asumir retos diversos. Es necesario buscar soluciones propias y obtener una independencia tecnológica que permita ahorrar recursos; la contratación de servicios extranjeros es muy costosa. Por ello, es que en este trabajo se realiza un estudio de la tecnología necesaria para la automatización de la planta y se propone el hardware para establecer el sistema de control, solucionando problemas en un menor costo y brindando la información requerida para el diseño del sistema de automatización.

Para determinar el impacto económico del hardware que se propone es necesario tener en cuenta el precio del equipamiento tecnológico, dígame PLC, módulos de entrada salida digitales y analógicos, y fuente de alimentación. En la tabla 3.3 se muestra un desglose de los gastos del proyecto de manera aproximada.

Tabla 3.3 Precios de los componentes necesarios para establecer el sistema de control

Producto	Precio (USD)
PLC S7-1200	495
Módulo de Salidas Digitales SM 1222 8 DO	118
Módulo de salidas Digitales SM 1222 16 DO	186,97
SM 1231	237,16
Fuente de alimentación pm1207	93.17
Total	1130.3

Además de estos componentes de hardware, se necesitan otros como relés, contactor magnético protecciones, térmico, entre otros. No tiene sentido que se propongan. Al desarrollar el proyecto se emplean componentes de otros fabricantes que existen en el país. El hardware necesario para la automatización de la planta es el descrito anteriormente. Es la parte fundamental del sistema de automatización.

Al ser un proyecto desarrollado por ingenieros cubanos, no solo se ahorra la inversión inicial, sino que el mantenimiento también es llevado a cabo por dichos profesionales. EL dinero total necesario para la adquisición del hardware es de 1130.3 USD, como se puede observar en la tabla anterior. Representa un ahorro significativo. La contratación de servicios extranjeros cuesta miles de dólares.

Además de ahorrar una cantidad considerable de dinero al país al contribuir con la automatización de la planta de hormigón HZS-60, se apuesta por reducir las cantidades de cemento por metro cúbico de hormigón producido, consiguiendo una calidad óptima de la mezcla. Con respecto al medio ambiente se contribuye a erradicar las emisiones de polvo a la atmósfera por encima de los patrones permisibles. Además, se disminuyen los niveles de ruido por encima del umbral permisible.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. A nivel mundial existen varias empresas dedicadas a la fabricación de plantas de hormigón automatizadas con altas prestaciones y tecnología de avanzada. En Cuba, la adquisición de dichas plantas constituye un obstáculo, por limitaciones económicas.
2. La planta de hormigón HZS60 se dedica a dosificar adecuadamente cada componente de la mezcla según el tipo de hormigón que se desee elaborar. Esta puede operar en modo manual o automático.
3. Cuando la planta se encuentra trabajando en modo automático las tareas del operador se reducen a la supervisión del proceso mediante una aplicación SCADA. La operación en modo manual se realiza si existen dificultades para el funcionamiento automático de la planta.
4. El diagrama de flujo de la planta es un esquema que describe el proceso productivo. Representa de forma gráfica un algoritmo que permite alcanzar la solución de un problema. Su obtención es sumamente importante.
5. El hardware del sistema de control es fundamental. La adaptabilidad, flexibilidad y fiabilidad son elementos que deben poseer estos equipos para garantizar una correcta automatización. El hardware propuesto posee estas características; permite el buen desempeño del sistema y la producción de un hormigón de calidad.
6. Las rutinas de control tienen un carácter secuencial. La ocurrencia o sucesión de eventos responden a una secuencia dada.

Recomendaciones

Como recomendaciones de este para trabajo de diploma se propone:

1. Utilizar la información recopilada en el trabajo como guía para la confección del sistema de automatización.
2. Diseñar el algoritmo de control en lenguaje GRAFCET.
3. Implementar un sistema SCADA que permita la visualización en pantalla de todas las variables necesarias para el correcto desempeño de las operaciones y se caracterice por su sencillez y facilidad de comprensión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] N. G. Francou and P. A. González, "Automatización de una planta productora de hormigón elaborado," Proyecto Final de Carrera, Departamento de Ingeniería Electromecánica, Universidad Tecnológica Nacional, Entre Ríos, Argentina, 2014.
- [2] L. Valdivia Coca, "Identificación y representación de las principales variables de la etiquetadora KOSME de la Ronera Central "Agustín Rodríguez Mena"," Trabajo de diploma, Departamento de Control Automático, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Villa Clara, Cuba, 2007.
- [3] (Oct. 17, 2021). *Las 10 principales marcas mundiales de plantas de hormigón*. Available: <https://www.camelway.pe/noticias/las-10-principales-marcas-mundiales-de-plantas-de-hormigon.html>
- [4] H. M. d. I. Cruz, "Ingeniería inversa al sistema automatizado de la planta de hormigón HZS40 de Cayo Santa María," Trabajo de diploma, Departamento de Control Automático, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Villa Clara, Cuba, 2011.
- [5] M. Taris Ben, "Diseño y desarrollo del sistema de control y supervisión de una instalación de producción de hormigón," Trabajo de diploma, Escuela Politécnica Superior, Universidade da Coruña, La Coruña, España, 2018.
- [6] (Oct. 12, 2021). *Catálogo de productos y sistema de pedidos en línea para Digital Industries y Smart Infrastructures*. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/mx/Catalog/Product/6ES7215-1AF40-0XB0>
- [7] B. Falke. (Oct.12,2021). *Diferencias entre IPCs y HMIs industriales*. Available: <https://www.infoplc.net/blogs-automatizacion/item/108752-diferencias-entre-ipcs-hmis-industriales>
- [8] R. F. M. Rubio, "Diseño e implementación de un sistema de control para la planta dosificadora de hormigón de la empresa Asphalt Plants S.A," Trabajo de diploma, Departamento de Eléctrica y Electrónica, ESPE Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, Ecuador, 2015.
- [9] (Oct.11, 2021). *Catálogo de productos y sistema de pedidos en línea para Digital Industries y Smart Infrastructures*. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/mx/Catalog/Product/6ES7214-1BG40-0XB0>
- [10] (Oct.7, 2021). *Hoja de características del producto*. Available: <https://www.se.com/es/es/product/download-pdf/TWDLMDA20DTK>
- [11] L. W. Moore. (Sep. 12, 2021). *MODBUS para Control de Proceso y Automatización*. Available: <https://www.isamex.org/intechmx/index.php/2019/09/24/modbus-para-control-de-proceso-y-automatizacion/>
- [12] (Sep. 20, 2021). *PRODUCT OVERVIEW. CQM1H Programmable Controller. Features*. Available: <https://docs.rs-online.com/9262/0900766b8002f98b.pdf>
- [13] (Jul. 20, 2021). *RS-232 DB9. Clavija y Uso*. Available: <https://www.eltima.com/es/article/9-pin-serial-port.html>
- [14] A. B. Pérez, "Diseño y fabricación de hormigones con cemento de bajo carbono aplicando el Método de Toufar," Trabajo de diploma, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Villa Clara, Cuba, 2014.
- [15] W. R. Cajamarca Ruiz and M. A. Castro Tenorio, "Automatización del proceso de mezclado de materia prima para la elaboración de tejas en la Planta Ecuateja de la Fábrica TUBASEC CA," Trabajo de diploma, Escuela de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador, 2014.
- [16] P. Aguilera Martínez, "Programación de PLC´ S," Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México, 2002.
- [17] Y. B. Pérez, "Sistema de monitoreo para la planta de cemento LC3 de la UCLV," Trabajo de diploma, Departamento de Control Automático, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Villa Clara, Cuba, 2020.
- [18] E. Izaguirre Castellanos, *Sistemas de automatización*, Liset Ravelo Romero ed. Cuba: Feijóo, 2012. [Online]. Available: <http://dspace.uclv.edu.cu:8089/handle/123456789/12256>.
- [19] E. S. Morales, "Identificación y Representación de las Principales Variables del Proceso de Embotellado de la Ronera Central "Agustín Rodríguez Mena"," Trabajo de diploma, Departamento de Control Automático, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Villa Clara, Cuba, 2007.
- [20] N. Rodríguez Morales, "Propuesta de automatización para las áreas de crudo y tueste en la tostadora de café Manuel Asuncion Domenech," Trabajo de diploma, Departamento de Control Automático, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Villa Clara, Cuba, 2017.
- [21] O. Pérez Morera, "Proyecto de automatización del sistema de abasto de agua para la fábrica de soldar carriles Tony Santiago," Trabajo de diploma, Departamento de Control Automático, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Villa Clara, Cuba, 2016.
- [22] J. R. Boada Hernández, "Control de la caldera de vapor de la central eléctrica fuel Santa Clara 110 kV utilizando el PLC SIMATIC S7 300," Trabajo de diploma, Departamento de Control Automático, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Villa Clara, Cuba, 2017.

-
- [23] P. Gálvez. (2014, Sep. 15, 2021). *Pauta elemental para selección de un PLC*. Available: <https://es.slideshare.net/PaulGlvez/pauta-elemental-delautomatismoenelplc>
- [24] M. Negrete. (Sep. 17, 2021). *Computadoras Industriales*. Available: <https://www.isamex.org/intechmx/index.php/2019/08/14/computadoras-industriales/>
- [25] (Oct. 4, 2021). *Made in China. Connecting Buyers with Chinese Suppliers*. Available: https://es.made-in-china.com/co_xcmgexport/product_XCMG-Hzs60-Concrete-Mixing-Plant-60m3-Small-Stationary-Concrete-Batching-Plant-for-Sale_rreeoergg.html
- [26] A. Sasir. (nov. 9, 2021). *¿Que es un Sistema de Control?* Available: <https://www.industriasgsl.com/blog/post/que-es-un-sistema-de-control>
- [27] F. A. Meza Vera, "Diseño y simulación de un Sistema Neumático Semiautomático para la Elaboración de Empanadas," Proyecto de investigación, Carrera de Ingeniería Mecánica, Universidad Técnico Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador, 2017.
- [28] R. R. Roque. (Sep. 24, 2021). *INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE PLANTAS INDUSTRIALES 2021. NEUMÁTICA PARA VÁLVULAS DE CONTROL*. Available: <https://es.scribd.com/document/531242623/Neumatica-para-valvulas-de-control>
- [29] L. F. Cunalata Trávez, "Implementación y desarrollo de prácticas de automatización a través de un módulo didáctico con el plc simatic s7-1200 para el control de una selladora de botellas de accionamiento neumático," Departamento de Ingeniería, Universidad Técnica de Cotopaxi, 2017.
- [30] (Sep.15, 2021). *CFC PNEUMATIC EQUIPMENT. Piñón Cremallera Tipo*. Available: <https://www.actuador-neumatico.com/es/product/pinion-cremallera-tipo1.html>
- [31] (Oct. 12, 2021). *Siemens Industry Online Support*. Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109772940/simatic-s7-controlador-programable-s7-1200?lc=en-AT&dl=es>
- [32] C. B. R. Eduardo, "Desarrollo de Práctica de Automatización a través de un módulo didáctico con el PLC Simatic S7-1200 para el control de electroválvulas," Proyecto de Investigación, Carrera de Electromecánica, Universidad Técnica de Cotopaxi, La Maná, Ecuador, 2017.

ANEXOS

Anexo 1. Etapa de dosificación de los áridos



Anexo 2. Etapa de dosificación de los áridos



Anexo 3. Actuadores instalados en las tolvas dedicadas al pesaje de los áridos

Anexo 4. Camión hormigonera

Anexo 5. Descripción de las E/S necesarias

Tipo de E/S	Función que realizan
Entradas Digitales	Accionamiento manual o automático
	Parada de emergencia
	Mezcladora abierta
	Mezcladora cerrada
	Tolva de cemento cerrada
	Tolva de agua cerrada
	Límite inferior del carro tolva
	Límite superior del carro tolva
	Límite de emergencia del carro tolva
Total:	9
Entradas Analógicas	Señal analógica del peso de áridos (0 – 10 V)
	Señal analógica del peso de cemento (0 – 10 V)
	Señal analógica del peso de agua (0 – 10 V)
	Señal analógica del peso de aditivo (0 – 10 V)
Total:	4
Salidas digitales	Arranque de compresor de aire (acciona magnético)
	Descarga de árido 1a (acciona electroválvula)
	Descarga de árido 2a (acciona electroválvula)
	Descarga de árido 3a (acciona electroválvula)
	Descarga de árido 1b (acciona electroválvula)
	Descarga de árido 2b (acciona electroválvula)
	Descarga de árido 3b (acciona electroválvula)
	vibrador de la tolva de árido 1a (Acciona magnético)
	vibrador de la tolva de árido 2a (Acciona magnético)
	vibrador de la tolva de árido 3a (Acciona magnético)
	vibrador de la tolva de árido 1b (Acciona magnético)
	vibrador de la tolva de árido 2b (Acciona magnético)
	vibrador de la tolva de árido 3b (Acciona magnético)
	Arranque de la cinta transportadora (Acciona magnético)
	Vibrador de la cinta transportadora (Acciona magnético)
	Sinfin del silo 1 (Acciona magnético)
	Sinfin del silo 2 (Acciona magnético)
	Descarga del cemento (Acciona electroválvula)
	Vibrador del cemento Silo 1 (Acciona magnético)
	Vibrador del cemento Silo 2 (Acciona magnético)

	Vibrador de la tolva de cemento (Acciona el magnético)
	Bomba de Aditivo (Acciona magnético)
	Descarga de aditivo (Acciona electroválvula)
	Bomba de agua (Acciona magnético)
	Descarga de agua (Acciona electroválvula)
	Subir el carro tolva (Acciona magnético)
	Bajar el carro tolva (Acciona magnético)
	Abrir mezcladora (Acciona la electroválvula)
	Cerrar mezcladora (Acciona la electroválvula)
	Arrancar motor de la mezcladora (Acciona el magnético)
	Timbre o zumbador (Activa el timbre para la descarga de hormigón)
Total:	31
Salidas analógicas	No tiene

Anexo 6. Características de la CPU 1214C.

Variante		COMPACTA CPU 1214C AC/DC/Relay
Dimensiones físicas mm		110x100x75
Intensidad de entrada	Consumo (valor nominal)	100 mA con 120 V AC; 50 mA con 240 V AC
	Consumo, máx.	300 mA con 120 V AC; 150 mA con 240 V AC
Intensidad de salida	Para bus de fondo (5 V DC), máx.	1 600 mA; máx. 5 V DC para SM y CM
Memoria de Usuario	Trabajo	100KB
	Carga	4MB
	Remanente	14KB
E/S integradas locales	Digital	14 entradas (6 de ellas HSC) 10 salidas (24 V)
	Analógico	2 entradas (0 - 10 V)
Tamaño de la memoria imagen de proceso	Entrada (I)	1024 byte
	Salida (Q)	1024 bytes
Área de marcas (M)		8192 bytes
Amplificación con módulo de señales (SM)		8
Signal board (SB) o placa de comunicación(CB)		1
Módulo de comunicación (CM), (amplificación en el lado izquierdo)		3
Contadores rápidos	Total	6

	Fase simple	3 a 100 kHz / 3 a 30 kHz
	Fase cuadrada	3 a 80 kHz / 3 a 30 kHz
Memory card		Memory card (opcional)
Tiempo de respaldo (reloj de tiempo real)		480 h
PROFINET		1 puerto de comunicación Ethernet
Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales		2,3 µs; /instrucción
Velocidad de ejecución booleana		0,08 µs; /instrucción
Lenguaje de programación		KOP, FUP, SCL
Paquete de programación		STEP 7 V17 o superior
Protocolos		Soporta protocolo para PROFINET IO PROFIBUS OPC UA MODBUS