

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA**



**“ALTERNATIVA DE CONTROL DE NIVEL Y CAUDAL DE UN TANQUE
DE AGUA A TRAVÉS DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE
VELOCIDAD DE UNA ELECTROBOMBA, MEDIANTE VARIADOR DE
FRECUENCIA”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR EL BACHILLER

GUTIERREZ CHAMPAC, WILLIAM JOEL

**Villa El Salvador
2017**

DEDICATORIA:

Dedico este trabajo a mis padres María y Godofredo y a mis hermanos Walter y Cynthia que con su apoyo incondicional y comprensión permanente han hecho posible que pueda desarrollarme y culminar con éxito mi carrera profesional.

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mis padres, a mis hermanos, a mis profesores de la UNTELS y a mi asesor de especialidad, por sus sabios consejos y aliento incondicional para obtener mi título profesional.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Descripción de la Realidad Problemática	11
1.2. Justificación del Problema	12
1.3. Delimitación del Proyecto	13
1.3.1 Espacial	13
1.3.2 Temporal	13
1.4. Formulación del Problema	13
1.5. Objetivos	13
1.5.1. Objetivo General	13
1.5.2. Objetivos Específicos.....	14
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes de la Investigación	15
2.2 Bases Teóricas	19
2.3 Marco Conceptual.....	79
CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL PROYECTO	
3.1 Descripción del Proceso Automatizado	82
3.2 Programación del Automatismo mediante diagrama de contactos .	98
3.3 Revisión y Consolidación de resultados	99
CONCLUSIONES	106
RECOMENDACIONES.....	107
BIBLIOGRAFÍA	108
ANEXO	110

LISTADO DE FIGURAS

- Figura N° 01: Modelado de la automatización y del sistema
- Figura N° 02: Partes internas PLC
- Figura N° 03: Tubo Bourdon
- Figura N° 04: Elemento en espiral
- Figura N° 05: Diagrama y fuelle
- Figura N° 06: Manómetro de presión absoluta
- Figura N° 07: Tubo Bourdon de medida de presión y vacío
- Figura N° 08: Transductores térmicos
- Figura N° 09: Ecuación del caudal
- Figura N° 10: Sensor de capacitancia
- Figura N° 11: Relación de variadores de frecuencia
- Figura N° 12: Diagrama de un Sistema VFD
- Figura N° 13: Resultado de una onda sinusoidal de Frecuencia F (HZ) por variación del ciclo de trabajo de una onda cuadrada
- Figura N° 14: Subida y bajada del valor medio de la señal
- Figura N° 15: Esquema del sistema a automatizar
- Figura N° 16: Bomba eléctrica y datos de placa
- Figura N° 17: Bomba eléctrica y datos de placa
- Figura N° 18: Sensor de nivel
- Figura N° 19: Variador de frecuencia Shneider Electric
- Figura N° 20: Características de los bornes de potencia
- Figura N° 21: Bornes de control
- Figura N° 22: Circuito de potencia

Figura N° 23: Configuración de frecuencia del variador

Figura N° 24: Circuito de control eléctrico

Figura N° 25: Conexión de entradas y salidas al NANO PLC

Figura N° 26: Programación en diagrama de contactos del automatismo

Figura N° 27: Apertura automática de la Válvula V1

Figura N° 28: Activación automática de la electrobomba (Q1) y de la Válvula V2
(Q3)

Figura N° 29: Cierre automático de la Válvula V1 (Q2)

Figura N° 30: Activación del variador de frecuencia a velocidad máxima pre
configurada

Figura N° 31: Activación del Sensor I6

Figura N° 32: Activación del Sensor I7

Figura N° 33: Activación del Sensor I8

LISTADO DE TABLAS

- Tabla N° 01: Elementos mecánicos de presión
- Tabla N° 02: Denominación de los bornes de control
- Tabla N° 03: Direccionamiento de entradas
- Tabla N° 04: Direccionamiento de salidas

INTRODUCCIÓN

La medición de fluidos en la industria es usada para contabilizar la transferencia de materia entre diferentes partes de un proceso o para controlar procesos productivos de forma automática.

Actualmente existen diferentes tipos de sensores para medir caudal. A nivel mundial existen varias empresas que se dedican a la fabricación y comercialización local e internacional de actuadores y sensores utilizados en la medición y el control de caudal para la industria petrolera, química, alimenticia, energética, papelera, minera y del agua, entre otras.

Actualmente en la industria encontramos cientos de procesos con aplicaciones de control de caudal, dentro de estas encontramos: En los Pozos de Agua Dispuesta, se usan variadores de velocidad de media tensión para variar la velocidad de motores de inducción de media tensión, los cuales están acoplados a una bomba con la cual inyectan agua que ha sido retirada del crudo de nuevo al pozo.

Para medir la cantidad de barriles de agua por día que se inyectan al pozo, se usan medidores de caudal de presión dinámica y presión diferencial.

En la fabricación de pisos en cerámica se usan medidores de caudal electromagnéticos para controlar la cantidad de agua que se le inyecta a la arcilla para humectarla.

En las plantas de concreto de la empresa se usan medidores de flujo de paletas para controlar la cantidad de agua que se inyecta a la mezcla de concreto.

La medición de flujo constituye tal vez, el más alto porcentaje en cuanto a medición de variables industriales se refiere. Ninguna otra variable tiene la importancia de esta, ya que sin mediciones de flujo, sería imposible el balance de materiales, el control de calidad y aún la operación de procesos continuos.

Teniendo en cuenta que en muchos procesos industriales lo que se quiere lograr puede estar relacionado a la dosificación en una mezcla lo cual se haga a un caudal prefijado que asegure la obtención del producto final.

En ese sentido y con la finalidad de garantizar el control de nivel y caudal en un tanque de agua, como parte del proceso de dosificación en la elaboración de detergentes, es que propongo como alternativa lograr el control a través de un sistema automatizado para el control de velocidad de una electrobomba mediante variador de frecuencia, motivo por el cual describo el proyecto de Ingeniería en 3 capítulos.

En el Capítulo I, se describe el planteamiento del problema, que está relacionado con la falta de un sistema de control de nivel y caudal de un tanque de agua utilizado para la elaboración de detergentes, el cual genera que no exista una correcta dosificación para la obtención de un producto de calidad.

En el Capítulo II, se describe el marco teórico en la cual se sustenta mi propuesta de solución, referente a las alternativas de control en lazo cerrado de nivel y caudal de líquido a través de la automatización de un mediante controladores lógicos programables

Finalmente en el Capítulo III, se describe el desarrollo de mi propuesta, que consiste en realizar el direccionamiento del PLC, circuito de conexión al PLC con el variador de Frecuencia y circuito de mando eléctrico, para luego desarrollar la programación del automatismo a través de diagrama de contactos, y realizar la simulación del PLC que nos permita presentar la consolidación de resultados.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

La empresa Neo Deter SAC, se dedica a la fabricación de detergentes, con una carencia en cuanto a mecanismos de control de nivel y caudal del tanque de agua utilizado en la elaboración de detergentes, el cual genera que no exista una correcta dosificación para la obtención de un producto de calidad.

Dos puntos específicos describen la realidad problema actual; El primero es que existe antecedentes de que se desechó una cantidad apreciable de productos por no haber alcanzado el nivel de pH mínimo ($pH_{\min}=7$), esto debido a la mala dosificación de insumos tales como agua o ácido sulfúrico, soda caustica, etc.

El otro caso es que las decisiones de accionamiento de válvulas que determinan el nivel y caudal del tanque de agua, actualmente se realiza de

forma manual, es decir es un operario quien determina visualmente si las variables a controlar alcanzaron sus valores de consigna. Esto implica un alto error de precisión en el proceso productivo.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se justifica debido a que a partir del control de nivel y caudal de un tanque de agua a través de un sistema automático de velocidad de una electrobomba mediante variador de Frecuencia, se conseguirá realizar una correcta dosificación en la elaboración de detergente. Con lo cual se conseguirá la optimización de la cantidad de insumos utilizados en el proceso productivo, mejorando su la calidad y reduciendo perdidas económicas por el uso inadecuado de insumos.

Con el control de nivel y de caudal mediante un sistema automatizado mediante Controlador Lógico Programable se garantiza precisión en el proceso de elaboración de detergente.

Es muy importante obtener un producto de buena performance y calidad suficiente para no producir daños en la salud. Debemos tener en cuenta que es un producto que muchas veces se pone en contacto con la piel y, por lo tanto, debe ser lo menos dañino posible.

El sistema automatizado logrará que el personal tenga menos contacto con el proceso (mezcladores, bombas, materiales corrosivos e inflamables) por

consiguiendo la higiene y seguridad en la elaboración del producto aumenta notoriamente.

1.3 DELIMITACIÓN DEL PROYECTO

1.3.1 ESPACIAL

El proyecto se desarrollará en la Empresa de Elaboración de detergentes Neo Deter SAC, ubicado en la Av. Panamericana Sur 17.5 Manzana F, Lote 80, Asociación La Concordia, San Juan de Miraflores, Lima – Perú.

1.3.2 TEMPORAL

El proyecto de ingeniería comprende 20 días, correspondientes al mes de Octubre de 2016.

1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo controlar el nivel y caudal de un tanque de Agua a través de un sistema automático de velocidad de una electrobomba mediante variador de Frecuencia, con la finalidad de realizar una correcta dosificación en la elaboración de detergente, en la empresa Neo Deter SAC?

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Controlar el nivel y caudal de un tanque de Agua a través de un sistema automático de velocidad de una electrobomba mediante variador de Frecuencia, con la finalidad de realizar una correcta

dosificación en la elaboración de detergente, en la empresa Neo Deter SAC.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar el circuito de control eléctrico y determinar si se logra automatizar la velocidad de una electrobomba mediante variador de Frecuencia, para Controlar el nivel y caudal de un tanque de Agua, con la finalidad de realizar una correcta dosificación en la elaboración de detergente, en la empresa Neo Deter SAC.

- Desarrollar la programación del Controlador Lógico Programable y comprobar mediante la simulación si se logra automatizar la velocidad de una electrobomba mediante variador de Frecuencia, para Controlar el nivel y caudal de un tanque de Agua, con la finalidad de realizar una correcta dosificación en la elaboración de detergente, en la empresa Neo Deter SAC.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Chacón (2015), en su tesis titulada “Diseño e implementación de un sistema de control de caudal e interfaz gráfica de usuario en planta didáctica”, para optar el Título de Ingeniero en Ingeniería Mecánica y Eléctrica en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Bogotá, concluye que: “Se diseñó e implemento un lazo de control de flujo, por medio de la implementación de un sensor de flujo, un convertidor de frecuencia, un PLC, motor trifásico y un variador de velocidad. El éxito en la determinación del modelo de la planta radica en la adecuada selección de las señales de prueba para la identificación y validación. Realizar la identificación de la planta en el intervalo de operación mejora notablemente la exactitud del modelo permitiendo un diseño óptimo del controlador. El control presenta

un mejor desempeño en comparación a otros controles sintonizados debido a que su diseño parte de un modelo confiable”.¹

Gutiérrez (2006), en su tesis titulada “Diseño de un sistema automatizado para la producción de desinfectantes de una planta de detergentes” para optar el Título de Ingeniero en Ingeniería Mecánica y Eléctrica en la Universidad Simón Bolívar de Sartenejas, concluye que: “Con el sistema automatizado modelado, se logra eliminar estas pérdidas casi en su totalidad. El sistema automatizado logra que el personal tenga menos contacto con el proceso (mezcladores, bombas, materiales corrosivos e inflamables) por consiguiente su seguridad aumenta notoriamente. Se demostró que el sistema de control trae consigo numerosos beneficios operacionales, de seguridad, de producción y monetarios; además el análisis financiero elaborado evidencia que la inversión retornará el primer año”.²

Chávez (2015), en su tesis titulada “Modificación del programa del PLC de una línea de producción para llenado de suavizante de telas” para optar el Título de Ingeniero en Ingeniería Mecánica y Eléctrica en la Universidad Nacional Autónoma de México, concluye que: “Su diseño y programación cubrió aspectos específicos en la línea que el sistema del fabricante no

¹CHACON, A. (2015). Diseño e implementación de un sistema de control de caudal e interfaz gráfica de usuario en planta didáctica. (Tesis de Pre Grado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

²GUTIERREZ, J. (2006). Diseño de un sistema automatizado para la producción de desinfectantes de una planta de detergentes. (Tesis de Pre Grado). Universidad Simón Bolívar. Sartenejas, Venezuela.

poseía, al contar con la flexibilidad de programar la operación de los actuadores de la máquina, logrando una mejor sincronización de tiempos.

La implementación de una HMI proporciona una interrelación más estrecha entre el sistema y el operario, facilitando su operación y aceptación. Fue posible diseñar y programar un el PLC y la interfaz HMI enfocado directamente a las necesidades de la empresa, pero sobre todo a costos competitivos de elaboración, haciéndolo accesible para modificar una segunda línea de llenado”.³

Pérez (2010), en su libro titulado “Sensores ópticos”, señala que: “Un detector de nivel de líquidos se usa para comprobar si el nivel de un depósito ha rebasado o no un punto establecido. Puede ser mecánico (flotador más interruptor), resistivo (si el líquido es conductor), capacitivo.

Los sensores físicos de fibra óptica desarrollados para la medida del nivel de un líquido se basan en la interacción de la radiación con el fluido, esta interacción modifica alguna característica óptica de la señal transmitida”.⁴

García (2003), en su libro titulado “Automatismos Industriales” señala que: “Los variadores de frecuencia son sistema utilizados para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna. Un variador de

³CHAVEZ, G. (2015). Modificación del programa del PLC de una línea de producción para llenado de suavizante de telas. (Tesis de Pre Grado). Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.

⁴PEREZ, C. (2010). Sensores Ópticos. Valencia, España: UNIVERSIDAD DE VALENCIA

frecuencia son vertientes de un variador de velocidad, ya que llevan un control de frecuencia de alimentación, la cual se suministra por un motor.

Otra forma en que son conocidos los variadores de frecuencia son como Drivers ya sea de frecuencia ajustable (ADF) o de CA, VVVF (variador de voltaje variador de frecuencia), micro drivers o inversores; esto depende en gran parte del voltaje que se maneje”.⁵

Balcells (2010), en su libro titulado “Autómatas Programables” señala que: “Los autómatas programables han supuesto la aplicación masiva del microprocesador al mundo de los controles industriales. Su gran ventaja ha sido que han permitido aplicar a dichos controles las conocidas ventajas de los sistemas programables. Pero quizás su mayor mérito es que han permitido el uso generalizado del microprocesador por parte de no especialistas. No obstante, el uso de autómatas obliga a adquirir nuevos conocimientos si se quiere obtener de ellos el máximo partido. La demanda de la industria de un sistema económico, robusto, flexible, fácilmente modificable y con mayor facilidad para tratar con tensiones, hizo que se desarrollase los autómatas programables en la industria”.⁶

⁵GARCIA, A. (2003). Automatismos Industriales. Madrid, España: CSIC

⁶BALCELLS, J. (2010). Autómatas Programables. Barcelona, España: MARCOMBO

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1 AUTOMATIZACIÓN

La automatización es el uso de sistemas o elementos computarizados y electromecánicos con el fin de controlar maquinarias y/o procesos industriales sustituyendo así una cantidad de operadores humanos. Este alcance va más allá que la simple mecanización de los procesos ya que ésta provee a operadores humanos mecanismos para asistirlos en los esfuerzos físicos del trabajo, la automatización reduce ampliamente la necesidad sensorial y mental del humano. La automatización abarca una gran cantidad de estudios como la instrumentación industrial, que incluye los sensores y transmisores de campo, los sistemas de control y supervisión, los sistemas de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de plantas o procesos industriales. Los procesos industriales automáticos vienen evolucionando desde hace décadas, y en muchas ocasiones más rápido de lo que han podido hacer muchas plantas industriales.

Esto es debido a que las grandes inversiones necesarias para la creación de una factoría de última generación requieren un tiempo de amortización en el cual las técnicas y tecnologías empleadas se quedan desfasadas. En estos casos se requiere una adaptación de las instalaciones y del proceso productivo para conseguir un sistema de producción más moderno y eficaz, y si fuese posible sin

excesivos recursos adicionales. La mayoría de las automatizaciones están controladas con autómatas programables a nivel de planta, muchas veces conectados en red entre sí y con otros sistemas, a través de buses de campo, y en ocasiones estos buses conectados a otras redes de mayor ámbito.

Cuando se realizan las automatizaciones es frecuente comenzar a modelar el conjunto sistema-automatización directamente, en el cual el dispositivo encargado de la automatización, PLC, en función de las entradas y del programa que tiene produce las salidas de control adecuadas. En estos casos no se presta demasiada atención al funcionamiento del sistema. Sin embargo en procesos complicados merece la pena desarrollar la automatización, pero basándose en un modelo que se realice sobre el funcionamiento del sistema, tal como se muestra en la Figura N° 01. Empleando las habituales herramientas de modelado se pueden realizar por separado ambos modelos: el de la automatización (el programa que irá al autómata) y el de funcionamiento del sistema.

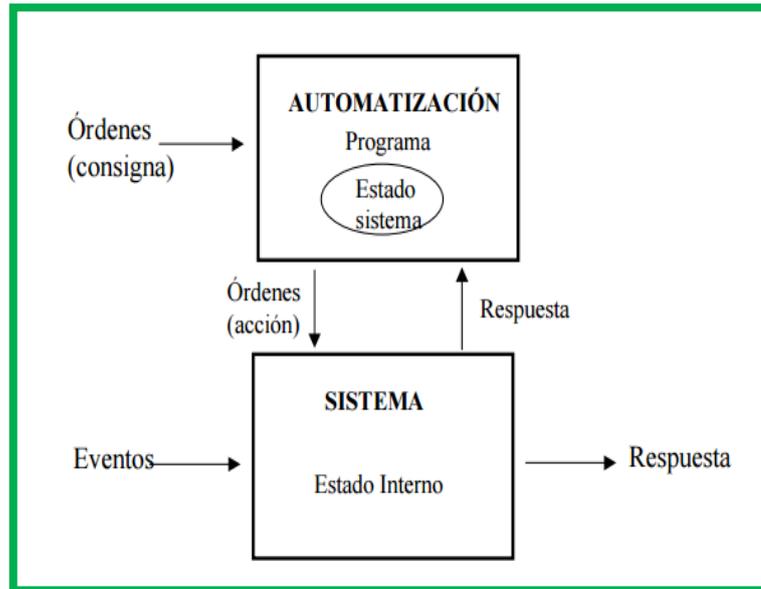


FIGURA Nº 01: MODELADO DE LA AUTOMATIZACIÓN Y DEL SISTEMA

La automatización del proceso consiste en diseñar un modelo, que luego pueda implementarse en algún dispositivo, que ante las respuestas del sistema y las consignas que le proporcione el usuario produzca las correspondientes órdenes al sistema para que éste evolucione como interesa. Como entradas la automatización tiene las órdenes del usuario (que se puede entender como una consigna, continua o discreta) y la información que recibe del sistema. Como salidas tiene las órdenes de actuación al sistema. La automatización es (habitualmente) secuencial, por lo que tendrá su estado interno que identifica su comportamiento en cada momento frente a las entradas. La información del estado del sistema puede estar contenida dentro de dicho estado interno de la automatización, o también puede recibirse del propio sistema como parte de la respuesta.

La finalidad primordial de la automatización industrial es la de gobernar la evolución de un proceso sin la intervención, salvo esporádica, de un operador. Cuando se trata de procesos de fabricación rígidos con poca variación en el tiempo o de tipo independiente y sin interrelación con tratamientos anteriores o posteriores, la finalidad se logra programando sobre los controles locales de la planta las instrucciones de control que se deseen y cerrando los bucles de control precisos para que los valores de las variables significativas estén dentro del intervalo fijado por las señales de consigna.

La mayoría de los procesos industriales no cumplen las condiciones de lo anteriormente dicho, sino que han de ser flexibles adaptándose a determinados aspectos y además están fuertemente interrelacionados entre sí no ya sólo por exigencias de factores propios de la producción sino por otros ajenos como por ejemplo la calidad total, minimización de costes de stocks, ahorro de energía, etc. Tales necesidades han motivado la aparición de sistemas automatizados de control muy complejos que han de ser dotados de funciones adicionales a las básicas de ejecución de tareas y monitorización del proceso. Cuestiones tales como la gestión de menús de producción, la toma automatizada de decisiones, generación de históricos, gestión de alarmas, emisión de informes, etc. han de ser atendidas en procesos de cierta complejidad.

Las funciones asociadas a los niveles de control de producción y supervisión de planta en un modelo jerárquico de automatización requieren el conocimiento de la realidad de la planta y la capacidad de interacción sobre ella. Los sistemas digitales que utiliza la informática industrial son actualmente capaces de implementar sobre la pantalla de un ordenador los paneles de control tradicionales con indicadores luminosos, pulsadores, interruptores y aparatos de medida cableados de forma rígida, con altos costes de instalación y mantenimiento. Con una supervisión inteligente que permita al operador interactuar de forma dinámica con el proceso, y con la ayuda de factores tales como la capacidad de almacenamiento y proceso del ordenador y su facilidad de comunicación con los controladores de planta, tal operador detecta de inmediato las variaciones significativas en el proceso en tanto observa su evolución en el tiempo y sus tendencias.

Para un sistema típico el control directo de la planta corre a cargo de los autómatas programables, en tanto que el ordenador a ellos conectado se encarga de las funciones de diálogo con el operador, tratamiento de la información del proceso y control de la producción. Con tal estructura, el ordenador se limita a la supervisión y control de los elementos de regulación locales instalados en la planta y al tratamiento y presentación de la información, pero no actúa directamente sobre la planta. Aunque eventualmente el ordenador podría ejercer acciones directas de

control como lecturas de sensores o activación o desactivación de actuadores, dotado de un hardware adicional conectado a sus buses internos, no es usual tal forma de actuación.

Apoyándose en la estructura de dispositivos locales, el ordenador u ordenadores se conectan a ellos mediante líneas de interconexión digital, tales como buses de campo o redes locales por las que reciben información sobre la evolución del proceso (obtención de datos) y envía comandos u órdenes del tipo arranque, parada, cambios de producción, etc. para su gobierno (control de producción).

2.2.2 AUTÓMATA PROGRAMABLE

Un autómata es una máquina industrial susceptible de ser programada (autómata programable industrial API) al estar basada en un sistema de microprocesador dotado de un hardware estándar independiente del proceso a controlar. Se adapta a tal proceso mediante un programa de usuario específico (software), escrito en algún lenguaje de programación y que contiene la secuencia de operaciones a realizar. El programa, realizado y depurado en una unidad de programación propia o ajena al autómata, se incorpora a la memoria de programa del mismo, para su ejecución por la Unidad Central de Proceso (CPU) del autómata.

La secuencia de operaciones del programa se realiza sobre señales de entrada y salida del proceso, llevadas al bus interno del autómatas a través de las correspondientes interfaces de entrada y salida (E/S). El autómatas gobierna las señales de salida según el programa de control previamente almacenado en su memoria de programa, a partir del estado de las señales de entrada. Los tipos de interfaces de E/S son muy variados, según las características de las señales procedentes del proceso o las que se van a aplicar al mismo (señales analógicas de tensión o corriente, pulsos de 0/5 V, 0/24 V, tensiones alternas 110 V, 220 V, tensiones continuas 12/24/48 V, etc).

En la mayoría de los APIs, el número (hasta la capacidad permitida por la CPU), tipo y ubicación de las interfaces lo define el usuario, adaptando así el autómatas, junto con su programa, a las necesidades de su proceso. Ejemplos de señales de entrada son las procedentes de elementos digitales, como interruptores, finales de carrera y detectores de proximidad, o analógicos, como tensiones de dinamos tacométricas, tensiones de termopares, etc.

Ejemplos de señales de salida son las órdenes digitales todo o nada o analógicas en tensión o corriente, que se envían a los elementos indicadores y actuadores del proceso, tales como lámparas, contactores, válvulas, etc. Ha de hacerse constar como característica esencial de los APIs, el disponer de un hardware

estándar que posibilita la realización de sistemas de control de acuerdo con las necesidades del usuario. La elección del API (gama baja, media o alta) será función de las necesidades de potencia de cálculo y número y tipo de señales de entrada y de salida.

La configuración del autómata, llamada arquitectura interna, como en todo sistema microprocesador, incluye fundamentalmente los siguientes cuatro bloques básicos: una CPU o unidad central de proceso, una memoria interna de trabajo (RAM), una memoria de programa (RAM, EPROM, EEPROM), y las interfaces de entradas y salidas conectadas al bus interno. A su vez, tanto la CPU como la memoria de programa están conectadas a dicho bus interno.

Las instrucciones de un programa de usuario almacenado en la memoria de un API son ejecutadas correlativamente generando unas órdenes o señales de control a partir de las señales de entrada leídas de la planta. Cuando se detectan cambios en las señales, el autómata reacciona de acuerdo con el programa hasta que obtiene las órdenes de salida necesarias. Esta secuencia se ejecuta continuamente a fin de conseguir el control actualizado del proceso.

Además de ejecutar las instrucciones del programa, el autómata realiza un conjunto de acciones que aseguran su funcionamiento

correcto: test de CPU y memoria, comprobación del reloj de guarda, etc. La secuencia o ciclo de operación consta básicamente de las siguientes etapas:

- Test del sistema.
- Lectura de señales desde la interface de entrada.
- Escritura de señales en la interface de salida.
- Procesado del programa a fin de obtener las señales de control.

Para reducir los tiempos de acceso a las interfaces de E/S, la lectura y escritura de las entradas y salidas involucradas se realiza a la vez, guardando las entradas leídas en una memoria temporal o imagen de entradas a la que accede la CPU mientras ejecuta el programa, en tanto que los resultados o señales de control se van guardando en otra memoria temporal o imagen de salidas a medida que se van obteniendo. Al terminar la ejecución del programa los resultados se colocan de una sola vez en la interface de salida.

Aparte de las cuatro etapas descritas anteriormente, el autómata eventualmente puede establecer comunicación con periféricos exteriores, por ejemplo para sacar datos por impresora, comunicación con otros autómatas u ordenadores, conexión con la unidad de programación, etc. Las anteriores acciones, repitiéndose periódicamente, definen un ciclo de operación que requiere un cierto tiempo (dependiendo del número de entradas y salidas, y de la longitud del programa) para ser ejecutado, de modo que el

autómata no puede responder en tiempo real a sucesos que ocurren en el sistema exterior.

Este tiempo será determinante cuando con el autómata se pretendan controlar procesos rápidos, con señales de muy corta duración o alta frecuencia de conmutación. Los retardos aportados por entradas o salidas son debidos, respectivamente, al filtrado de señal que incorporan (filtro pasa bajo), y a los tiempos de respuesta del interruptor (relé, transistor, etc.) o convertidor digital/analógico. Para las entradas, los retardos típicos oscilan entre 10 ms y 100 ms, aunque hay autómatas que permiten ajustes del tiempo de filtro menores.

Para los tiempos típicos, la frecuencia máxima de señal de entrada queda limitada entre 100 Hz y 10 Hz, de forma que cualquier señal de frecuencia superior, o de periodo T menor que el tiempo de filtro, no podrá ser leída desde las entradas estándar del autómata. En general se dice que un autómata es capaz de controlar en tiempo real un proceso, cuando sus tiempos de respuesta o retardo son muy pequeños comparados con los tiempos de reacción del mismo.

La configuración del autómata es la estructura que tiene su sistema físico (hardware), fundamentalmente la unidad de control, el sistema de E/S y la memoria, de modo que pueda adaptarse a las características particulares de la aplicación industrial en que vaya

a usarse. Siendo la modularidad una de las características fundamentales de los autómatas, la elección de la configuración adecuada resulta fácil al ofrecer sus fabricantes una amplia variedad de módulos y ampliaciones.

En cuanto a la unidad de control las configuraciones son:

Unidad de control compacta

Es el caso en el que una única CPU gestiona tanto el programa como las entradas y salidas asociadas, agrupadas en módulos que contienen exclusivamente interfaces E/S. Esta configuración se usa en aplicaciones de poca complejidad, dando lugar a los llamados microautómatas y miniautómatas.

Unidad de control modular

En aplicaciones de mayor complejidad, en lugar de una única CPU, existen varios módulos con tarjetas o unidades de proceso propias e incluso con sus interfaces de E/S. Es lo que se denomina estructura de multiprocesadores o con control distribuido. Cada procesador trabaja sobre subprogramas (partes del programa de usuario) o específicamente sobre otras aplicaciones concretas (regulación, posicionamiento, etc.) con su propio programa de tratamiento.

En la estructura de multiprocesadores las unidades de proceso están conectadas a una unidad central (CPU maestra o

principal) que gestiona el sistema en conjunto y permite el intercambio de datos entre el resto de las unidades e interfaces. En algunas aplicaciones es interesante duplicar la CPU o algún otro elemento del autómata, configuración de seguridad, de modo que esta redundancia permite un funcionamiento ininterrumpido aún en caso de avería, por conmutación al elemento de reserva.

El sistema de entradas-salidas de un autómata es el conjunto de interfaces E/S que hacen posible la conexión de la CPU con la planta y la identificación de las señales de ésta mediante una tabla de direcciones. Dada la modularidad característica de los autómatas, en casi todos ellos puede ampliarse el número de E/S mediante la conexión a la CPU de módulos de expansión con interfaces de E/S adicionales.

En cuanto al sistema de entradas/salidas, las configuraciones pueden ser:

 **Sistema de E/S centralizado.**

Es aquel en el que las interfaces de E/S se comunican con el autómata directamente a través de su bus interno, o a lo sumo mediando un amplificador de bus si se emplea un bastidor de ampliación, pero sin mediar procesadores de comunicación.

Sistema de E/S distribuido

Es aquel en el que se necesitan procesadores de enlace de E/S conectados sobre el bus interno para la comunicación entre los módulos de E/S y la CPU. Estos procesadores de enlace son los encargados de amplificar, serializar y transmitir las informaciones entre las expansiones y la CPU del autómata base, mediante una línea común. En función de las distancias de conexión y de las prestaciones del enlace distribuido, éste puede ser local o remoto.

En cuanto a la capacidad de almacenamiento (memorias), en general los autómatas disponen de suficiente memoria como para realizar el mando y control de la mayoría de los procesos industriales, si bien en casos de aplicaciones con gran volumen de información a gestionar puede ser necesaria la instalación de una memoria de masa adicional que, conectada directamente a las unidades de programación y bajo el control de la CPU puede intercambiar datos con la memoria de trabajo.

En resumen, dada la amplia gama de autómatas existente en el mercado y la modularización de sus elementos, es posible en cualquier caso encontrar la configuración adecuada para una determinada aplicación.

2.2.2.1 INTERFACES DE ENTRADA/SALIDA

Son muchos los automatismos industriales que necesitan de una cadena de realimentación para poder ejecutar un control en lazo cerrado con una regulación precisa y rápida. La cadena de realimentación se alimenta de las magnitudes de la planta a controlar (entradas), que son captadas mediante sensores o transductores y cuyas salidas han de adaptarse en unos circuitos llamados de interface para su procesamiento por el autómata. Por otra parte, las débiles señales de control generadas por el autómata han de actuar, generalmente previa amplificación, sobre la parte de potencia de la planta.

A los elementos finales que actúan sobre la parte de potencia de la planta se les denomina accionamientos, y a los elementos intermedios que interpretan las señales de control y las amplifican se les denomina preaccionamientos. En el control de cualquier proceso ha de existir un diálogo entre el operador y la máquina a controlar (diálogo hombre-máquina), y una comunicación entre el sistema de control y la máquina a controlar. Traducido lo anterior a un autómata, supone que a éste le lleguen un conjunto de señales, de mando y de realimentación que se denominan entradas.

Por otra parte, el operador ha de conocer ciertos datos sobre la evolución del proceso y los accionamientos han de recibir las órdenes precisas para controlarlo, a todo lo cual se denominan salidas. A todo el conjunto de entradas-salidas (E/S), es a lo se le denomina comúnmente "medios de diálogo operador-máquina y máquina-controlador".

Tanto las entradas como las salidas pueden consistir en señales todo-nada (final de carrera, electroválvula, etc.), señales analógicas (velocidades, temperaturas, presiones) y señales digitales (contadores). Una característica ventajosa y esencial de los autómatas programables, frente a otros controladores digitales, es el disponer de un bloque de interfaces E/S muy potente que les capacita para conectarse directamente con los sensores y accionamientos del proceso. De ahí que de la adecuada elección de las interfaces E/S se derive una alta fiabilidad y disponibilidad del sistema.

Teniendo en cuenta lo anterior, es frecuente que sistemas de control complejos que incorporan un ordenador central con gran potencia de cálculo, utilicen como elemento de interface con el proceso industrial un autómata programable. Además de los tipos de interface

que intervienen en el proceso industrial propiamente dicho, existen otros tipos de interface dedicados a funciones específicas que incluso incluyen su propia CPU.

Además de las interfaces estándar digitales y analógicas, disponibles para todas las gamas de autómatas, existen otros tipos de interfaces llamadas específicas que, de modo opcional, pueden ser incorporadas al autómata base como tarjetas o módulos en las máquinas de las gamas media y alta.

Tales interfaces específicas hacen posible la conexión con elementos o procesos particulares de la planta, pudiendo realizar funciones muy variadas: manejo de señales particulares (códigos binarios, impulsos, señales analógicas débiles, etc.), regulación (PID, comparadores, control numérico), presentación de sinópticos y control (SCADA), posicionamiento de ejes, contadores rápidos, etc. Por la función que realizan, las interfaces específicas pueden clasificarse como: de E/S especiales, de E/S inteligentes, y procesadores periféricos inteligentes. Las interfaces con E/S especiales son interfaces análogas a las estándar pero que tratan señales particulares por su forma o por su

aplicación, pero sin ningún control sobre las variables de la planta.

El tratamiento de las señales está predeterminado y no es modificable por el usuario que sólo puede actuar sobre los modos de trabajo o algún parámetro de la tarjeta mediante instrucciones de programa o por micro-switchs externos. Las interfaces con E/S inteligentes permiten diferentes modos de configuración ordenados por programa, e incorporan un control elemental que posibilita, utilizando señales binarias propias de la tarjeta, establecer lazos de regulación ON-OFF sobre variables de la planta, en funcionamiento transparente para la CPU.

Desde la CPU y por el programa de usuario se envían las consignas y controles necesarios a estas interfaces.

Tal forma de actuar descarga de trabajo a la unidad central y mejora de paso la capacidad de direccionamiento al poder acceder a señales de E/S que no han de aparecer en su memoria imagen.

Finalmente, los procesadores periféricos inteligentes son tarjetas o módulos que disponen de su propio

procesador, memoria y puntos auxiliares de E/S. Tales procesadores incorporan de origen un programa o intérprete de programa especializado para la ejecución de una tarea específica, al que sólo se le han de fijar las consignas y los parámetros de aplicación para que, de forma autónoma y sin intervención de la CPU principal ejecute el programa de control.

Los procesadores periféricos, de uso mucho más general que las interfaces con E/S inteligentes, necesitan de mucha más información para definir, además de la configuración del periférico: las condiciones de aplicación y de entorno, las condiciones de control (respuesta en función de la evolución del proceso) y las consignas a seguir. A todos los anteriores valores, que en definitiva no programan sino que parametrizan la tarjeta, se les denomina programa de la interface y son enviados al periférico desde la CPU principal o desde la unidad de programación.

Aunque las tareas que realizan las interfaces específicas podrían realizarse por el programa de usuario desde la CPU principal, su especialización permite evitar o minimizar problemas tales como:

- ✚ Parte de las E/S estándar del autómata serían ocupadas para el tratamiento, a veces sin éxito, de señales específicas que por su naturaleza (por ejemplo tiempo de respuesta), pueden requerir un tratamiento especial.
- ✚ El aumento de la dificultad de programación.
- ✚ El incremento del tiempo de ciclo del autómata que retardaría las reacciones del mismo ante el proceso y que, en el caso de procesamiento rápido de señales causarían problemas.

2.2.2.2 PROGRAMACIÓN

El autómata es una máquina electrónica integrando elementos de hardware que son capaces de comunicarse físicamente con un proceso para:

- ✚ Recibir desde el proceso algunas variables (analógicas o digitales) que determinan su estado y que se denominan señales de entrada.
- ✚ Enviar otras variables que modifiquen tal estado en un determinado sentido, y que se denominan señales de salida.

Por su condición de programable, es necesaria la intervención de un operador humano que defina cómo

ha de evolucionar el proceso y que intercambie información con el autómata para:

- ✚ Establecer mediante una secuencia de instrucciones (programa), cuál ha de ser la ley general de mando. De la ejecución de tal programa se obtienen las señales de salida o de control.
- ✚ Intervenir, esporádica o continuamente sobre el proceso a efectos de informarse de su estado o de modificar su evolución.

Las intervenciones sobre la planta se realizan normalmente mediante el autómata, si bien en casos de fuerza mayor (parada de emergencia por motivos de seguridad), el operador puede actuar directamente sobre el proceso. El intercambio de información entre autómata y proceso corre a cargo de las interfaces de E/S, en tanto que la comunicación con el operador para programación/explotación requiere de un software que haga de intérprete entre el sistema real y los deseos del usuario. De este modo puede decirse que este software es "el conjunto de programas que posibilitan la utilización del hardware para el control y la explotación de las aplicaciones".

De acuerdo con la anterior definición, las herramientas de software son clasificables como:

- ✚ Sistemas operativos residentes en el propio autómata que tienen la misión de establecer las secuencias de intercambios de información, interpretar y ejecutar las instrucciones del usuario y vigilar el correcto funcionamiento del equipo.
- ✚ Software de edición/depuración de programas, que permite al usuario introducir su propio programa sobre soportes físicos tipo cinta, disco, etc., modificarlo para perfeccionarlo, obtener la documentación que se precise del proceso y, en su caso sacar copias de seguridad.

Según los casos, el software de edición/depuración puede ser residente, es decir está instalado en la máquina o, es instalable sobre un terminal denominado unidad de programación que a su vez puede ser autónoma o dependiente de la CPU.

Las misiones de la unidad de programación son fundamentalmente:

- ✚ Permitir la edición, depuración y modificación del programa.

- ✚ Servir de interface física entre el usuario y el autómata, a fin de poder transferir programas y realizar la supervisión y el control del equipo.

Las instrucciones u órdenes que el usuario introduce en el programa han de ser entendibles por el autómata, es decir que han de ser codificadas mediante los lenguajes de programación y explotación prefijados por el fabricante. Por tanto, el lenguaje de programación puede definirse como "el conjunto de símbolos y textos, entendibles por la unidad de programación, que utiliza el usuario para codificar sobre un autómata las leyes de control que desea".

Asimismo, el lenguaje de explotación se definiría como "el conjunto de comandos y órdenes que, desde la CPU u otro terminal adecuado, puede enviar el usuario para conocer el estado del proceso, y en su caso para modificar alguna variable". En esencia, el usuario introduce su secuencia de instrucciones (programa) en la unidad de programación, en un lenguaje que entienden ambos. La unidad de programación compila (convierte) las instrucciones del programa a unos códigos binarios, únicos que entiende el autómata

(código máquina del autómata) y los almacena en la memoria.

Finalmente el sistema operativo residente interpreta tales códigos binarios para activar los recursos físicos que requiere la ejecución del programa (procesador, interfaces E/S, etc.). En la tarea de programación del autómata, es decir de establecer el programa a introducir en la unidad de programación, han de seguirse los siguientes pasos:

- ✚ Establecer mediante un diagrama de flujo, una descripción literal o gráfica (GRAFCET, RdP, etc.) que indique qué es lo que se quiere que haga el sistema y en qué orden.
- ✚ Identificar las señales de E/S del autómata.
- ✚ Representar de forma algebraica (instrucciones literales o de textos) o gráfica (símbolos gráficos) un modelo del sistema de control con las funciones que intervienen, con las relaciones entre las mismas y con la secuencia a seguir.
- ✚ Asignar a cada uno de los elementos que figuran en el modelo direcciones de E/S o internas.
- ✚ Codificar la representación del paso 3 en instrucciones o símbolos entendibles por la unidad de programación (lenguaje de programación). Cada

instrucción del programa consta de dos partes: el código de operación, que dice qué se ha de hacer y el código de los operandos (identificados por su dirección) que dicen sobre qué variables, o constantes, se ha de operar.

- ✚ Transferir el conjunto de instrucciones escrito en la unidad de programación a la memoria del autómata.
- ✚ Depurar, poner a punto el programa y guardar una copia de seguridad.

En la automatización de procesos usuales, de no mucha complejidad (cadenas de montaje, control de máquinas, etc.), puede utilizarse indistintamente un programa a base de lista de instrucciones o uno a base de diagrama de contactos, lenguajes básicos para la mayoría de autómatas.

Tanto es así que varios fabricantes prevén en su software de programación sobre PC la posibilidad de transcodificación entre ellos con sencillas operaciones de compilación/descompilación. Para aplicaciones complejas que requieran manipular largas cadenas de caracteres, realizar muchos cálculos, utilizar subrutinas o bloques de programación específicos (regulación PID, posicionamiento de ejes, contaje rápido, etc.), podría ser

necesaria la utilización de lenguajes literales de alto nivel que también permiten programar sencillas sentencias booleanas o manejar contadores y temporizadores como listas de instrucciones.

La tendencia actual de los fabricantes en cuanto a los lenguajes de programación se centra en integrar los lenguajes antedichos en un lenguaje mixto que aúne la claridad de los lenguajes gráficos para las funciones combinacionales y secuenciales con la compacidad de los literales para el manejo de textos y los cálculos matemáticos. En cualquier aplicación con autómatas programables, tanto durante la fase de concepción, edición y depuración del programa como durante la fase de operación o explotación del sistema, es necesaria una comunicación o diálogo hombre-máquina.

En la primera fase el hombre (programador) carga el programa en la memoria del autómata, verifica su funcionamiento observando la evolución de las variables (monitorización) y en su caso modifica su estado en variables lógicas o su valor en variables alfanuméricas (forzado). En la segunda fase o fase de explotación, sigue siendo conveniente y a menudo imprescindible la comunicación entre el hombre (operador) y la planta, a

fin de conocer (monitorizar) a través del autómata los valores de ciertas variables claves para el correcto desarrollo del proceso y su control, variables que en su caso pueden modificarse (forzado).

Las comunicaciones descritas entre el hombre (programador/operador/usuario) y el autómata se realizan mediante dispositivos específicos o mediante la utilización de un entorno software que corre sobre un PC. Los dispositivos específicos, genéricamente denominados "Unidades de Programación y Servicio" proporcionan la comunicación entre el programador y la máquina en la fase de programación y la comunicación entre la planta y el usuario en la fase de observación y control (explotación). Las anteriores comunicaciones se realizan siempre sobre el autómata, que para ello dispone de los conectores adecuados, en la CPU para la programación y en la CPU o procesadores auxiliares de comunicaciones para la explotación y el servicio.

En general existe una gran variedad de dispositivos conectables a un autómata, bien directamente o vía modem, aportando soluciones a necesidades del proceso muy dispares: unidades específicas de programación o entornos software sobre PC, para la

edición y puesta a punto de programas de autómeta; unidades de explotación desde un visualizador de baja funcionalidad hasta un terminal gráfico interactivo pasando por visualización de mensajes asociados a la evolución del programa, impresión de textos, intercambio de datos con otros equipos, etc, tal como se muestra en la figura N° 02.

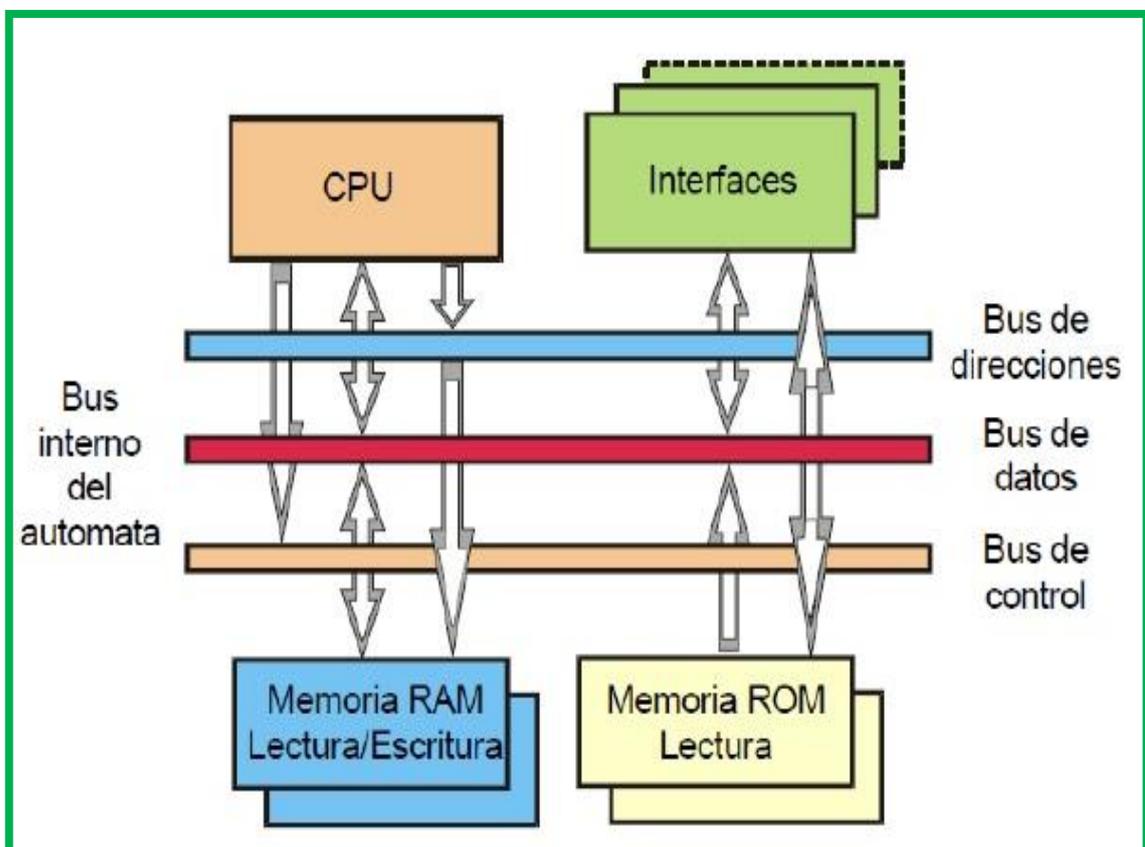


FIGURA N° 02: PARTES INTERNAS PLC

2.2.3 INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

2.2.3.1 MEDIDAS DE PRESIÓN - ELEMENTOS MECÁNICOS

Podemos dividirlos en elementos primarios de medida directa que miden la presión comparándola con la

ejercida por un líquido de densidad y altura conocidas (barómetro cubeta, manómetro de tubo en U, manómetro de tubo inclinado, manómetro de toro pendular, manómetro de campana) y en elementos primarios elásticos que se deforman con la presión interna del fluido que contienen.

Los elementos primarios elásticos más empleados son el tubo de Bourdon, el elemento en espiral, el helicoidal, el diafragma y el fuelle. Los materiales empleados normalmente son acero inoxidable, aleación de cobre o níquel o aleaciones especiales como hastelloy y monel.

El tubo de Bourdon

Es un tubo de sección elíptica que forma un anillo casi completo, cerrado por un extremo. Al aumentar la presión en el interior del tubo, éste tiende a enderezarse y el movimiento es transmitido a la aguja indicadora, por un sector dentado y un piñón. En la Figura N° 03, se muestra la vista del medidor de presión por tubo de Bourdon.

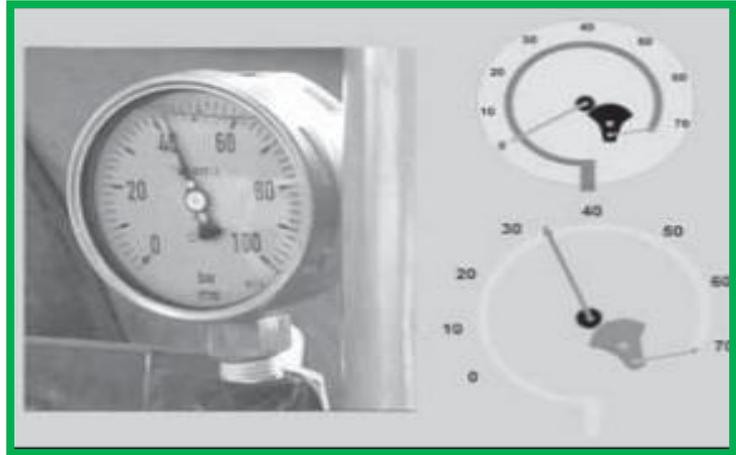


FIGURA N° 03: TUBO BOURDON

Elemento en espiral

Se forma arrollando el tubo Bourdon en forma de espiral alrededor de un eje común, y el helicoidal arrollando más de una espira en forma de hélice, tal como se muestra en la Figura N° 04.

Estos elementos proporcionan un desplazamiento grande del extremo libre y, por ello, son ideales para los registradores.



FIGURA N° 04: ELEMENTO EN ESPIRAL

✚ El diafragma

Consiste en una o varias cápsulas circulares conectadas rígidamente entre sí por soldadura, de forma que al aplicar presión, cada cápsula se deforma y la suma de los pequeños desplazamientos son amplificadas por un juego de palancas, tal como se muestra en la Figura N° 05.

El sistema se proyecta de tal modo que, al aplicar presión, el movimiento se aproxima a una relación lineal en un intervalo de medida lo más amplio posible con un mínimo de histéresis y de desviación permanente en el cero del instrumento.

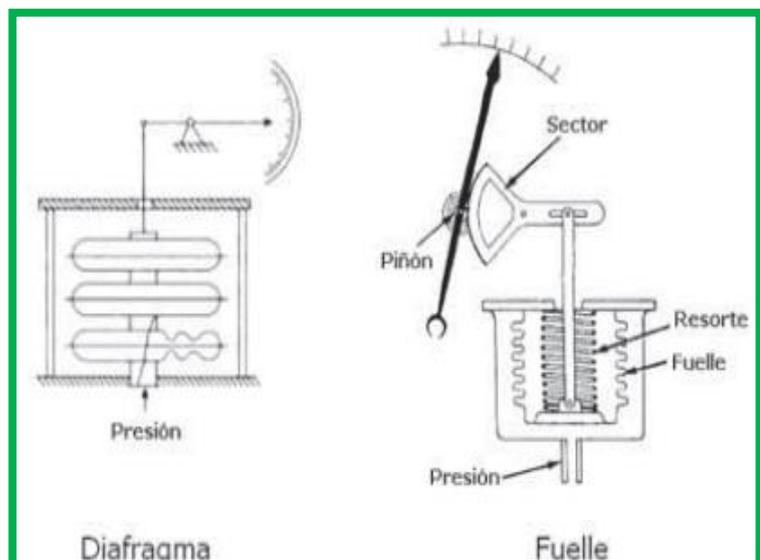


FIGURA N° 05: DIAFRAGMA Y FUELLE

El fuelle es parecido al diafragma compuesto, pero de una sola pieza flexible axialmente, y puede dilatarse o

contraerse con un desplazamiento considerable. Los elementos primarios de presión absoluta consisten en un conjunto de fuelle y muelle opuesto a un fuelle sellado al vacío absoluto, tal como se muestra en la Figura N° 06.

El movimiento resultante de la unión de los dos fuelles equivale a la presión absoluta del fluido. El material empleado para los fuelles es latón o acero inoxidable. Se utilizan para la medida exacta y el control preciso de bajas presiones, a las que puedan afectar las variaciones en la presión atmosférica.

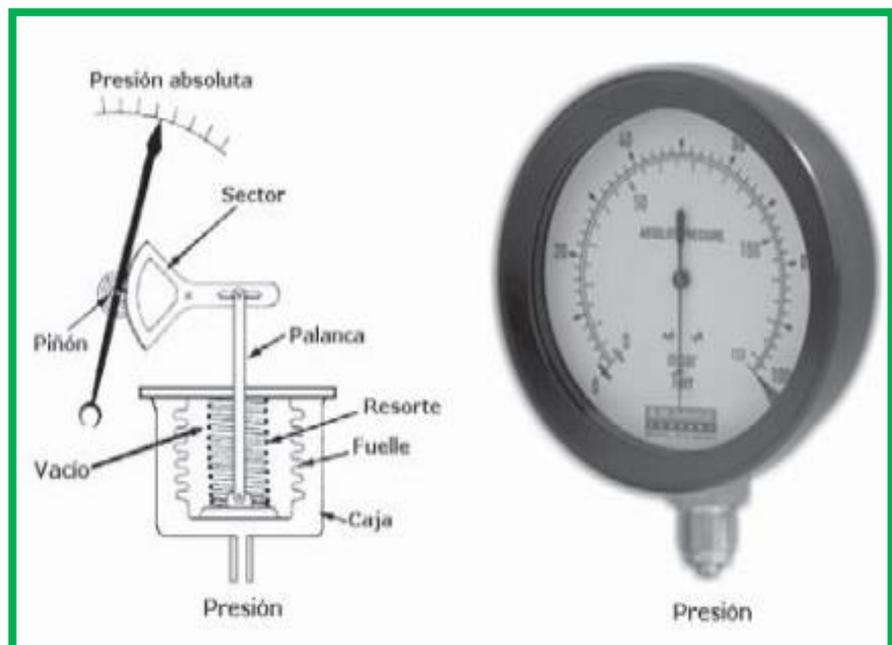


FIGURA N° 06: MANÓMETRO DE PRESIÓN ABSOLUTA

A señalar que los restantes elementos de presión descritos anteriormente (Bourdon, espiral, diafragma, fuelle) miden la presión relativa, ya que la presión del fluido se encuentra dentro del elemento, mientras que en el exterior actúa la presión atmosférica. En la medida de presiones de fluidos corrosivos pueden emplearse elementos primarios elásticos con materiales especiales en contacto directo con el fluido.

Sin embargo, en la mayoría de los casos, es más económico utilizar un fluido de sello de diafragma (glicerina o silicona), que llena totalmente la conexión de proceso del instrumento, cuando el fluido es altamente viscoso y obtura el elemento (tubo Bourdon, por ejemplo), o bien, cuando la temperatura del proceso es demasiado alta. Esto ocurre en la medición de presión del vapor de agua en que el agua condensada aísla el tubo Bourdon de la alta temperatura del vapor. Asimismo, se emplean sellos volumétricos de diafragma y de fuelle que contienen un líquido incompresible para la transmisión de la presión.

Una rotura con escape del líquido de sello inhabilita el instrumento. Los instrumentos de presión deben estar aislados con una válvula de cierre para su desmontaje

del proceso. Cuando la presión del proceso supera los 25 bar se necesita otra válvula de alivio para evitar un posible accidente en el desmontaje del aparato.

De este modo, el operario primero cierra la válvula de aislamiento y abre, a continuación, la válvula de alivio para liberar la presión dentro de la toma interna de presión del aparato. Si no procediera así, el fluido podría accidentar al operario, al darle directamente en la cara al desenroscar el instrumento. El recorrido de la tubería de instalación debe hacerse siguiendo una inclinación hacia arriba si el fluido es un gas (posibles condensaciones de humedad o vapores) y hacia abajo si es un líquido (para la eliminación de burbujas de aire).

En los casos en que la temperatura es alta, tal como la medida de presión de vapor de agua con un manómetro, es más barato utilizar una lira (pigtail) que enfría el vapor y lo condensa, utilizando así el agua como fluido de sello. Si el fluido no condensa, basta una longitud de tubería relativamente larga para enfriarlo (el fluido no circula, por lo que la tubería no debe ser tampoco excesivamente larga). Longitudes mayores de 25 m requieren el uso de un transmisor.

Si la temperatura del proceso es superior a los límites tolerados por el instrumento, se prevé una longitud de tubería suficiente sin aislar, para bajar (o elevar) la temperatura a límites aceptables. Normalmente, una longitud de tubería de ½" sin aislar de 75 a 100 cm, es suficiente para bajar la temperatura desde unos 500 °C a menos de 100 °C. Los tubos capilares de los separadores de diafragma deben instalarse cuidadosamente, aislados de cualquier fuente variable de calor (tuberías de troceado de vapor o proceso, etc.) y protegidos mecánicamente en bandejas.

Después de la instalación debe comprobarse si es significativo el error debido a la columna hidrostática entre la toma de proceso y el instrumento y efectuar, en su caso, la correspondiente corrección sobre el cero.

En los transmisores esta corrección se realiza con la supresión o elevación de cero. Si se conoce o se supone la existencia de vibraciones o pulsaciones (por ejemplo tuberías cercanas a máquinas alterna vas, bombas dosificadoras, etc.) se preverán, en fase de proyecto, manómetros con amortiguadores o, como alterna va, manómetros especialmente diseñados para estos servicios. En algunos casos puede utilizarse el relleno

de glicerina para la protección de vibraciones o pulsaciones del proceso.

Si hay transmisión de vibraciones de alguna máquina o equipo, podrán utilizarse latiguillos flexibles. En general, los instrumentos de presión se conectan al proceso después de que las líneas han sido perfectamente lavadas y probadas hidrostáticamente.

En la siguiente tabla (Tabla N°01) se observa el campo de medida para la presión, la exactitud en porcentaje de toda la escala y la presión estática máxima.

	<i>Campo de medida</i>	<i>Exactitud en % de toda la escala</i>	<i>Temperatura máxima de servicio</i>	<i>Presión estática máxima</i>
Barómetro cubeta	0,1-3 m cda	0,5-1 %	Ambiente	6 bar
Tubo en U	0,2-1,2 m cda	0,5-1 %	↓	10 bar
Tubo inclinado	0,01-1,2 m cda	↓		100-600 bar
Toro pendular	0,5-10 m cda		↓	Atmosférica
Manómetro campana	0,005-1 m cda	↓		90° C
Tubo Bourdon	0,5-6000 bar		↓	6000 bar
Espiral	0,5-2500 bar	↓		2500 bar
Helicoidal	0,5-5000 bar		↓	5000 bar
Diafragma	50 mm cda-2 bar	↓		2 bar
Fuelle	100 mm cda-2 bar		↓	↓
Presión absoluta	6-760 mm Hg abs	1 %		Ambiente
Sello volumétrico	3-600 bar	0,5-1 %	400° C	600 bar

TABLA N° 01: ELEMENTOS MECÁNICOS DE PRESIÓN

2.2.3.2 MEDIDAS DE PRESIÓN - ELEMENTOS ELECTRÓNICOS DE VACÍO

Los elementos electrónicos de vacío se emplean para la medida de alto vacío, son muy sensibles y se clasifican en los siguientes tipos:

Medidor McLeod

El medidor McLeod se utiliza como aparato primario de calibración de los restantes instrumentos. Se basa en comprimir una muestra del gas de gran volumen conocido a un volumen más pequeño y a mayor presión mediante una columna de mercurio en un tubo capilar de volumen conocido.

La presión del gas se deduce aplicando la ley de Boyle-Mario e. Su intervalo de medida es de 1 a 10^{-4} mm Hg. Debido a la compresión que se realiza en la medida no puede utilizarse para vapores.

Mecánicos-Tubo Bourdon, fuelle y diafragma

El tubo Bourdon (ver Figura N° 07), combina la medida de presión y vacío con la escala dividida en dos partes. Los elementos mecánicos de fuelle y de diafragma trabajan en forma diferencial entre la presión atmosférica y la del proceso.

Al ser dispositivos mecánicos, las fuerzas disponibles a presiones del gas muy bajas son tan pequeñas que estos instrumentos no son adecuados para la medida de alto vacío, estando limitados a valores de 0,00001 mm Hg abs.

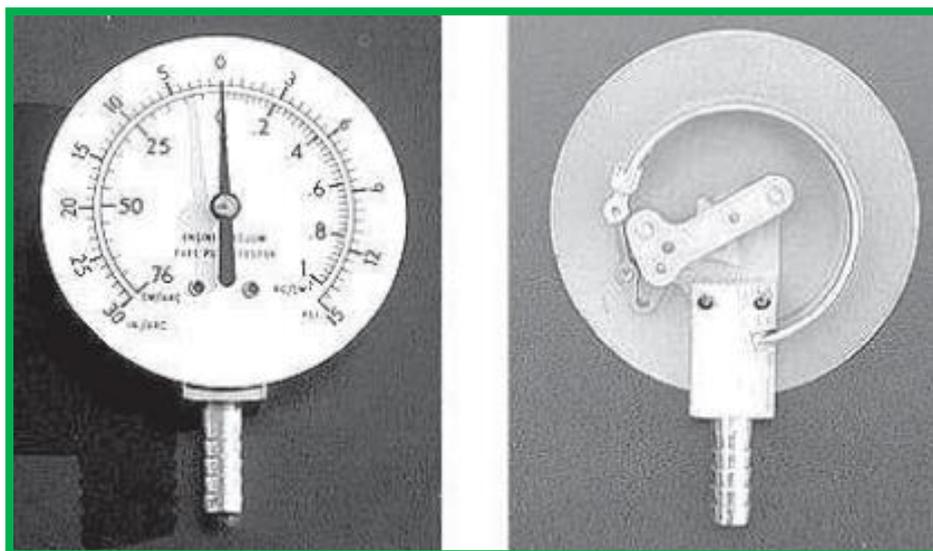


FIGURA N° 07: TUBO BOURDON DE MEDIDA DE PRESIÓN Y VACÍO

✚ Térmicos – Termopar, Pirani, bimetálico

Los elementos térmicos se basan en el principio de la proporcionalidad entre la energía disipada desde la superficie caliente de un filamento calentado por una corriente constante y la presión del gas ambiente cuando el gas está a bajas presiones absolutas. Son el elemento térmico de termopar, el elemento Pirani y el elemento bimetálico, tal como se muestra en la figura N° 08.

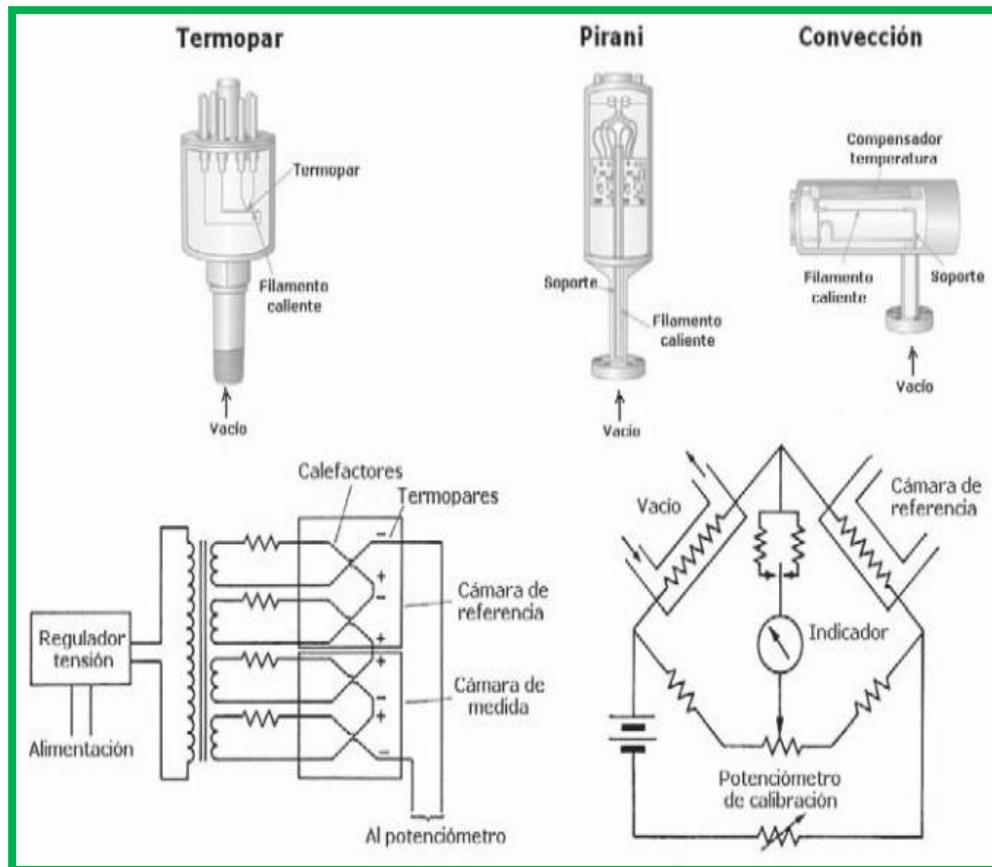


FIGURA Nº 08: TRANSDUCTORES TÉRMICOS

El elemento de termopar mide presiones entre 10 mm Hg y 0,001 mm Hg mediante la medición de las tensiones generadas en una serie de termopares soldados a un filamento caliente expuesto al gas. El filamento alcanza una temperatura de equilibrio que viene determinada por la cantidad de energía extraída del gas.

A presiones más altas, más moléculas del gas chocan contra el filamento y extraen más energía

que a bajas temperaturas, con lo cual aumenta la f.e.m. del termopar. En el elemento Pirani, dos filamentos de platino (referencia y medida) forman parte de dos brazos de un puente de Wheatstone. El filamento de referencia está inmerso en un gas conocido a presión constante, mientras que el filamento de medida está expuesto al gas a valorar. Los filamentos se calientan a través del puente y se mantienen a una temperatura constante.

Las moléculas del gas que chocan contra el elemento de medida extraen energía que es detectada y sustituida por el circuito de realimentación. Cubren el intervalo de presiones de 10 mm Hg a 10^{-5} mm Hg. El elemento de convección es de la misma estructura que el del termopar o el Pirani, con la diferencia de que la convección natural de los gases extrae el calor del filamento caliente. Intervalo de medida de 10 mm Hg a 1 atmósfera.

Ionización – Filamento caliente, cátodo frío

Los elementos de ionización se basan en la formación de los iones que se producen en las colisiones que existen entre moléculas y electrones

(o bien partículas alfa en el tipo de radiación). La velocidad de formación de estos iones, es decir la corriente iónica, varía directamente con la presión.

Los forman el elemento de lamento caliente y el elemento de cátodo frío. Cubren el intervalo desde 10^{-4} y 10^{-9} mm Hg abs. Los elementos de cátodo (filamento) caliente (Bayard/Alpert (B-A) and Schulz-Phelps (S-P)) emiten electrones termoiónicos de 70 eV que ionizan las moléculas de gas residual contra las que chocan. La corriente al colector (-150 V) varía con la densidad del gas, es decir con el número de moléculas por unidad de volumen (cc), lo que es una medida directa de la presión del gas.

2.2.3.3 MEDIDAS DE CAUDAL

Conceptos básicos sobre Fluidos

Un fluido es una sustancia que no tiene resistencia permanente a la deformación, es decir, que su forma depende del objeto en el que se encuentre acumulado. Si al fluido se le intenta variar la forma, se produce un deslizamiento de capas de fluido sobre otras para alcanzar una nueva forma. Durante esta variación de capas se producen una serie de esfuerzos cortantes

cuya magnitud depende de la viscosidad y velocidad del fluido, que solo desaparecen cuando este llegue a un estado de equilibrio o alcance la forma final.

Los fluidos se clasifican en:

- ✚ Newtonianos (hay una relación lineal entre la magnitud del esfuerzo cortante aplicado y la rapidez de la deformación resultante $\tau = \mu \, du/dy$)
- ✚ No newtonianos (hay una relación no lineal entre la magnitud del esfuerzo cortante aplicado y la rapidez de deformación angular).

Las sustancias que llamamos fluidos pueden ser del tipo líquido o gaseoso

✚ Líquido

Es un estado de la materia en el que las moléculas están relativamente libres para cambiar de posición unas respecto a otras pero restringidas por fuerzas de cohesión con el fin de mantener un volumen relativamente fijo.

Gaseoso

Es el estado de la materia en que las moléculas prácticamente no se hallan restringidas por fuerzas de cohesión. El gas no tiene ni forma ni volúmenes definidos. Otra forma para clasificar los fluidos es por medio de las condiciones de presión y temperatura en las que se encuentren.

Es así que al variar las condiciones (temperatura y presión) la densidad también lo hará; si el cambio es pequeño el fluido se denomina NO COMPRESIBLE y si la densidad varía considerablemente, el fluido recibe el nombre de COMPRESIBLE.

Por lo general se adopta la siguiente posición: los líquidos son fluidos no compresibles y los gases, fluidos compresibles. Aunque este es un concepto relativo puesto que hay líquidos que al incrementar la temperatura y la presión se comportan como fluidos compresibles; así como los gases sometidos a pequeñas variaciones se pueden comportar como fluidos no compresibles. Algunas de las propiedades de los fluidos son: Densidad, Peso específico, Volumen específico, Viscosidad, Presión, Compresibilidad, Dilatación térmica. En la mayor

parte de las operaciones realizadas en los procesos industriales y en las efectuadas en laboratorio y en plantas piloto es muy importante la medición de caudales de líquidos y gases.

Existen dos tipos de medidores, los volumétricos que determinan el caudal en volumen del fluido, y los de masa que determinan el caudal masa.

Se reservan los medidores volumétricos para la medida general de caudal y se destinan los medidores de caudal másico a aquellas aplicaciones en las que la exactitud de la medida es importante, por ejemplo en las determinaciones finales del caudal del producto para su facturación.

2.2.3.4 SENSOR DE CAUDAL

Es un dispositivo que, instalado en línea con una tubería, permite determinar cuándo está circulando un líquido o un gas. El caudal se determina mediante la medición de la velocidad del líquido. La velocidad depende de la presión diferencial que está obligando a que el líquido circule a través de un tubo o conducto.

Debido a que la tubería de la sección transversal es conocida y se mantiene constante, el promedio de velocidad es una indicación de la velocidad de flujo. La relación básica para la determinación del caudal del líquido en estos casos es, como se establece en la siguiente figura:

$$Q = V \times A$$

FIGURA N° 09: ECUACIÓN DEL CAUDAL

Dónde:

Q= flujo de líquido a través de la tubería (m³/s)

V = velocidad promedio del flujo (m/s)

A = sección transversal de la tubería (m²)

Los Sensores De Caudal, también llamados caudalímetros pueden en clasificarse: de presión diferencial, de desplazamiento positivo, de velocidad y medidores de masa.

Rotámetro

Tiene un flotador (indicador) que se mueve libremente dentro de un tubo vertical ligeramente cónico, con el extremo angosto hacia abajo. El fluido entra por la parte inferior del tubo y hace que el

flotador suba hasta que el área anular entre él y la pared del tubo sea tal, que la caída de presión de este estrechamiento sea lo suficientemente para equilibrar el peso del flotador. La posición del flotador varía directamente con el caudal.

Utilizados para medir líquidos limpios de bajos caudales en tuberías de diámetros pequeños. Se los encuentra en la industria química, alimenticia, farmacéutica entre otras.

Paletas deslizante

Consta de un rotor con unas paletas, dispuestas en parejas opuestas, que se pueden deslizar libremente hacia adentro y hacia afuera de su alojamiento. Los miembros de las paletas opuestas se conectan rígidamente mediante varillas, y el fluido circulando actúa sobre las paletas sucesivamente, provocando el giro del rotor. Mediante esta rotación el líquido se transfiere desde la entrada a la salida a través del espacio entre las paletas.

Como éste es el único camino para el paso del líquido, contando el número de revoluciones del rotor, puede determinarse la cantidad de líquido que

ha pasado. Se usan para medir líquidos de elevado coste, siendo instalados, generalmente, en camiones cisternas para la distribución de combustible para la calefacción.

2.2.3.5 SENSORES DE NIVEL

Los sensores de nivel pueden dividirse según su campo de aplicación en sensores de nivel de líquidos y de sólidos, que son dos mediciones claramente distintas y que se mencionaran por separado por sus distintas características y aplicaciones que tienen. Hay dos aplicaciones básicas para sensores de nivel, que es en lo que se centrará el presente trabajo. La primera es la necesidad de conocer el valor análogo o nivel preciso todo el tiempo (señal analógica), y la segunda es simplemente de conocer cuando el nivel del líquido que se tiene está en determinado punto. (Señal digital).

Pero vale la pena mencionar que para realizar lo anterior puede parecer sencillo, pero puede convertirse en un problema cuando el material con que se construyó el recipiente en donde se encuentra el líquido o el material sólido es corrosivo o abrasivo, cuando se mantiene a altas presiones o cuando es radiactivo. Las dificultades se presentan cuando se requiere una gran precisión en

mediciones dentro de recipientes muy pequeños o muy grandes, entre otras características.

Los niveles se pueden medir y mantener mediante dispositivos mecánicos, de caída de presión, eléctricos y electrónicos. El tipo de dispositivo depende de la clase del recipiente, del material que contenga y de la precisión requerida en la medición o en el control. En los procesos continuos, la industria ha ido exigiendo el desarrollo de instrumentos capaces de medir el nivel de sólidos y líquidos en puntos fijos o de forma continua, en particular en los tanques o silos destinados a contener materias primas o productos finales.

2.2.3.5.1 SENSORES DE NIVEL ANALÓGICOS

Los sensores de nivel continuo proporcionan una medida continua del nivel desde el punto más bajo al más alto. Se clasificaran en sensores de nivel para líquidos y en sensores de nivel para sólidos. Entre los sistemas de medición de nivel para líquidos más empleados están los de flotador, presión hidrostática,

capacitivo, radar o microondas y los ultrasónicos.

Mientras los más empleados para sólidos se encuentran el de peso móvil, el de báscula, el capacitivo, el de presión diferencial, el de ultrasónicos y el de radiación.

Sensores de Nivel para Líquidos- Sensor de Flotador

El sensor de nivel para líquidos más sencillo es el de flotador. El flotador es en realidad un transductor de nivel de líquidos a movimiento mecánico, por lo tanto se va a necesitar un segundo transductor para obtener una salida eléctrica que va a ser proporcional al nivel. Consiste en un flotador situado en un líquido y conectado al exterior del tanque indicando directamente el nivel. La conexión puede ser directa, magnética o hidráulica. Cabe mencionar que en depósitos cerrados, al vacío o bajo presión que se deben tener sellados, se acostumbra usar flotadores

con brazos de torsión, , flotadores magnéticamente acoplados y dispositivos hidráulicos operados con flotador. Es importante mencionar que el flotador puede tener cualquier forma ya sea redonda, cilíndrica o una combinación de ambas.

Sus tamaños también pueden variar según las dimensiones del depósito en el que se van a utilizar. El material con que se construya también debe escogerse de manera que resista la corrosión.

Sensor de Presión Hidrostática-Sensor Manométrico

Consiste en un manómetro conectado directamente a la parte inferior del tanque.

El manómetro mide la presión debida a la altura de líquido que existe entre el nivel del tanque y el eje del instrumento. Sólo sirve para fluidos limpios, ya que los líquidos sucios pueden hacer perder la elasticidad del fuelle. La medición está

limitada a tanques abiertos y el nivel podría distorsionarse por las variaciones de densidad del líquido.

Sensor de Presión Hidrostática-Sensor de Membrana

Utiliza una membrana conectada con un tubo estanco al instrumento receptor. La fuerza ejercida por la columna de líquido sobre el área de la membrana comprime el aire interno a una presión igual a la ejercida por la columna de líquido.

Sensor de Presión Hidrostática-Sensor de Burbujeo

Mediante un regulador de caudal se hace pasar por un tubo (sumergido en el depósito hasta el nivel mínimo), un pequeño caudal de aire o gas inerte hasta producir una corriente continua de burbujas. La presión requerida para producir el flujo continuo de burbujas es una medida de la columna de líquido.

Este sistema es muy ventajoso en aplicaciones con líquidos corrosivos con materiales en suspensión (el fluido no penetra en el medidor, ni en la tubería de conexión).

Sensor de Presión Hidrostática-Sensor de Presión Diferencial

Consiste en un diafragma en contacto con el líquido del tanque, que permite medir la presión hidrostática en un punto del fondo del tanque. En un tanque abierto esta presión es proporcional a la altura del líquido en ese punto y a su peso específico. El diafragma forma parte de un transmisor neumático o electrónico de presión diferencial.

Sensor de Capacitancia

Los sensores se fabrican para la detección discreta o para la indicación continua de nivel. En estos sensores se utiliza un electrodo metálico aislado que se inserta a lo largo de la pared del recipiente como una de las placas del capacitor.

La pared del recipiente es la otra placa del capacitor. Las variaciones de las características dieléctricas del material entre el electrodo y la pared, conforme asciende o desciende la interfaz entre el aire y el material, se miden con un puente de capacitancia, que es un circuito electrónico que alimenta el electrodo a una frecuencia elevada, lo cual disminuye la reactancia capacitiva del conjunto y esto permite aliviar en parte el inconveniente del recubrimiento del electrodo por el producto. Cuando el tanque se encuentra vacío, el medio dieléctrico entre las placas es aire.

Al empezar a subir el nivel del material, éste empieza a cubrir las placas conductoras, y por ende el dieléctrico empieza a cambiar. Este cambio produce un aumento de la capacitancia entre los conductores, que se comporta en forma lineal respecto a la altura del material en el tanque. La capacitancia se mide, y provee un valor directo del nivel del material en el

tanque. Una aplicación del sensor capacitivo se muestra en la siguiente figura.

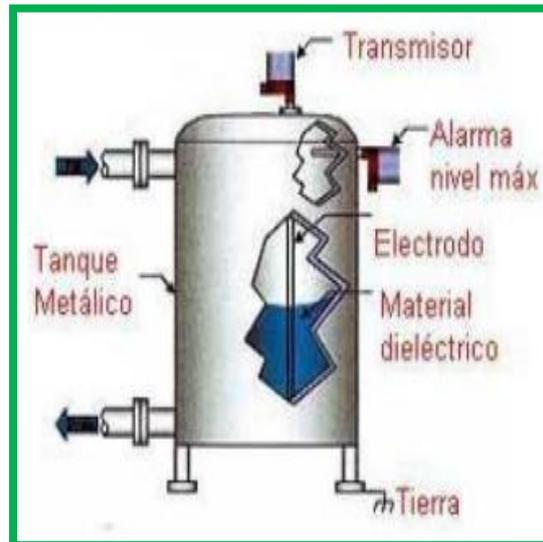


FIGURA N°10: SENSOR DE CAPACITANCIA

2.2.3.5.2 SENSORES DE NIVEL DIGITALES

Los sensores de nivel de punto fijo proporcionan una medida en uno o varios puntos fijos determinados. Al igual que se desarrolló en el capítulo anterior, se clasifican en sensores de nivel para líquidos y en sensores de nivel para sólidos.

Los sistemas más empleados para la medición de los líquidos son el conductivo y el capacitivo mientras para los sólidos

son el diafragma, el cono suspendido, la varilla flexible, el medidor conductivo, las paletas rotativas y los ultrasónicos.

Sensor de Nivel para Líquidos-Sensor Conductivo o Resistivo

En líquidos conductores se pueden instalar electrodos en los puntos de alto y bajo nivel. Cuando el nivel del líquido se eleva hasta el electrodo superior, un relé eléctrico o electrónico es excitado. Con esto se cierra un circuito eléctrico o electrónico según sea el caso y por el mismo circula una corriente de aproximadamente 2 mA.

Cabe mencionar que las unidades del tipo electrónico se pueden utilizar para servicios en los que se puedan encontrar vapores explosivos sobre el líquido, mientras que las del tipo eléctrico no son aptas para estos ambientes.

Este sensor se emplea como alarma o control de nivel alto y bajo, utiliza relés

eléctricos para líquidos de buena conductividad y relés electrónicos para líquidos de baja conductividad. Además el relé electrónico dispone de un temporizador que filtra una ola del nivel del líquido o cualquier perturbación momentánea.

Sensor de Capacitancia

Estos sensores de capacitancia utilizan unidades cubiertas con vidrio o plástico y se pueden emplear para detectar valores altos o bajos del nivel o la interfaz, tanto en líquidos conductores como no conductores.

2.2.3.6 VARIADOR DE VELOCIDAD

El Variador de Velocidad VSD (Variable Speed Drive) es un dispositivo o conjunto de dispositivos mecánicos, hidráulicos, eléctricos o electrónicos empleados para controlar la velocidad giratoria de maquinaria, especialmente de motores. Para lograr regular la velocidad de los motores, se emplea un controlador especial que recibe el nombre de variador de velocidad.

Los variadores de velocidad se emplean en una amplia gama de aplicaciones industriales, como en ventiladores y equipo de aire acondicionado, equipo de bombeo, bandas y transportadores industriales, elevadores, llenadoras, tornos y fresadoras, etc. Un variador de velocidad puede consistir en la combinación de un motor eléctrico y el controlador que se emplea para regular la velocidad del mismo.

El control de procesos y el ahorro de la energía son las dos de las principales razones para el empleo de variadores de velocidad. Históricamente, los variadores de velocidad fueron desarrollados originalmente para el control de procesos, pero el ahorro energético ha surgido como un objetivo tan importante como el primero.

La vida útil del sello de las bombas incrementa, se reduce la vibración y el ruido siempre y cuando el punto de trabajo se mantenga dentro del rango de operación permisible. La mayoría de las bombas son impulsadas por motores eléctricos. Por tanto la forma más eficiente para un control de flujo es el uso de un variador de velocidad electrónico o VFD (variable Frequency Drive).

La forma de control más común de los VFD es la modulación del ancho de pulso de la fuente de tensión de entrada. En su forma más simple el convertidor desarrolla un voltaje directamente proporcional a la frecuencia, que produce un flujo magnético constante en el motor. El control electrónico puede igualar la velocidad del motor a los requisitos de carga. Esto elimina una serie de elementos auxiliares costosos y poco eficientes como válvulas o sistemas de derivación bypass.

Principio de funcionamiento

Los dispositivos variadores de frecuencia operan bajo el principio de que la velocidad síncrona de un motor de corriente alterna (CA) está determinada por la frecuencia de AC suministrada y el número de polos en el estator, de acuerdo a la relación mostrada en la siguiente figura:

$$RPM = \frac{120 \times f}{p}$$

FIGURA N° 11: RELACIÓN DE VARIADORES DE FRECUENCIA

Donde:

RPM = Revoluciones por minuto

f = frecuencia de suministro AC (Hercio)

p = Número de pares de polos

Las cantidades de polos más frecuentemente utilizadas en motores síncronos o en Motor asíncrono son 2, 4, 6 y 8 polos que, siguiendo la ecuación citada, resultarían en 3600 RPM, 1800 RPM, 1200 RPM y 900 RPM respectivamente para motores síncronos únicamente y a la frecuencia de 60 Hz. Dependiendo de la ubicación geográfica funciona en 50Hz o 60Hz.

En los motores asíncronos las revoluciones por minuto son ligeramente menores por el propio asincronismo que indica su nombre. En estos se produce un desfase mínimo entre la velocidad de rotación (RPM) del rotor (velocidad "real" o "de salida") comparativamente con la cantidad de RPM's del campo magnético, tal como se muestra en la siguiente figura.

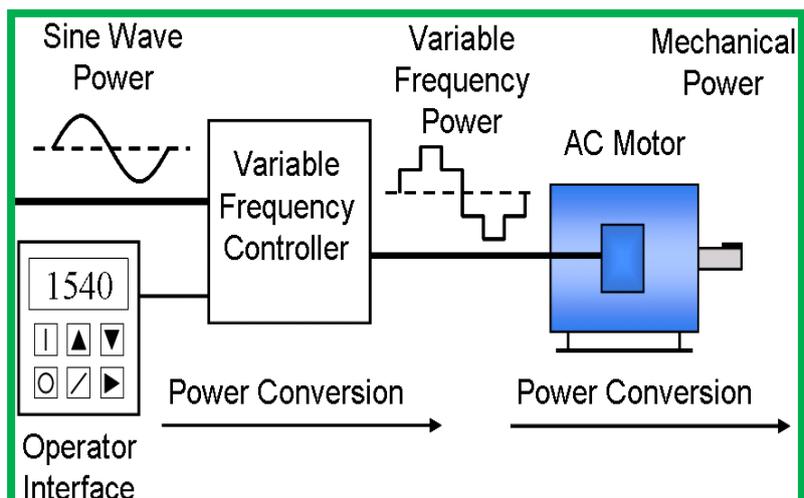


FIGURA Nº12: DIAGRAMA DE UN SISTEMA VFD

La forma de variar la frecuencia básicamente consta de cambiar el ciclo de trabajo (tiempo ON y tiempo OFF en un período) de una onda cuadrada periódica, de tal forma que el valor medio de la tensión (el promedio) a lo largo del tiempo varíe entre V máximo y V mínimo.

La velocidad con que variamos el ciclo de trabajo, o sea su valor medio, será la frecuencia de variación del valor medio. Esto físicamente se logra a través de "llaves electrónicas" de conmutación que son los IGBT (transistores bipolares de compuerta aislada) que actúan como interruptores que al cerrarse y abrirse por medio de un software específico conforman la onda cuadrada, que permite obtener la señal sinusoidal. A continuación se muestra en la figura la obtención de una onda senoidal a través de la modificación de la frecuencia de una onda cuadrada.

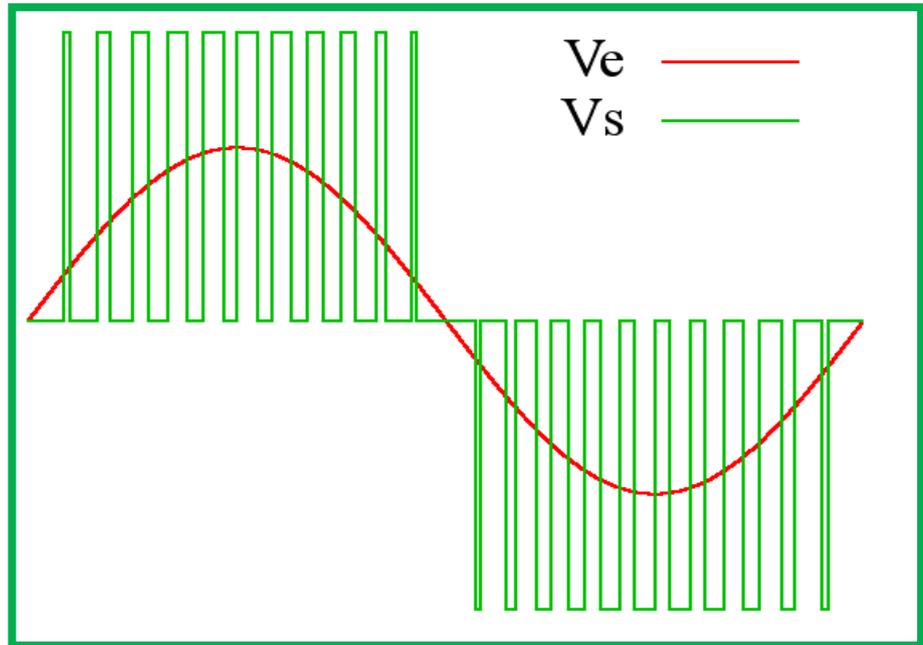


FIGURA Nº 13: RESULTADO DE UNA ONDA SINUSOIDAL DE FRECUENCIA F (HZ) POR VARIACIÓN DEL CICLO DE TRABAJO DE UNA ONDA CUADRADA

Esa variación en el ciclo de trabajo hace subir o bajar el valor medio de la señal, tal como se muestra en la siguiente figura.

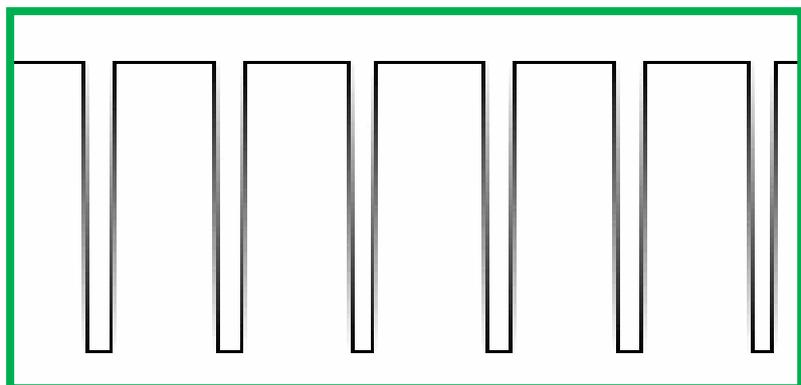


FIGURA Nº 14 SUBIDA Y BAJADA DEL VALOR MEDIO DE LA SEÑAL

2.3. MARCO CONCEPTUAL

- ✚ Ajuste rápido: Sistema sencillo de ajuste automático del variador a la emisora. Muchas veces se basa en tocar simplemente un botón del variador.
- ✚ Autómata: Instrumento o aparato que encierra dentro de sí el mecanismo que le imprime determinados movimientos.
- ✚ Automatismo: Cualidad de lo que es automático
- ✚ Bit: Unidad de información o dígito binario.
- ✚ Calibración: Ajuste de la salida de un instrumento a valores deseados dentro de una tolerancia especificada para valores par culares de la señal de entrada.
- ✚ Caudal crítico. Caudal en condiciones determinadas que se caracteriza porque la velocidad media del fluido es independiente de la presión aguas abajo.
- ✚ Control de realimentación: Sistema de control en que se compara una variable medida con un valor deseado (punto de consigna) y la señal de error obtenida actúa de tal modo que reduce la magnitud de este error.
- ✚ CPU: Unidad central procesadora de una computadora.
- ✚ Diafragma: Elemento sensible formado por una membrana colocada entre dos volúmenes. La membrana es deformada por la presión diferencial que le es aplicada.
- ✚ Exactitud: Cualidad de un instrumento de medida por la que ende a dar lecturas próximas al verdadero valor de la magnitud medida.

- ✚ Fiabilidad. Medida de la probabilidad de que un instrumento continúe comportándose dentro de límites especificados de error a lo largo de un tiempo determinado y bajo condiciones especificadas.
- ✚ Frecuencia máxima: Los variadores electrónicos funcionan como interruptores, es decir permiten o cortan el paso de la corriente muchas veces por segundo.
- ✚ Interfaz: Conexión física o funcional entre dos aparatos o sistemas independientes.
- ✚ Kilowatt-hora (kWh): Equivale a la energía desarrollada por una potencia de un kilowatt durante una hora.
- ✚ Lazo abierto de control. Es el camino que sigue la señal sin realimentación.
- ✚ Lazo cerrado de control. Camino que sigue la señal desde el controlador hacia la válvula, al proceso y realimentándose a través del transmisor hacia un punto de suma con el punto de consigna.
- ✚ Periférico: Aparato auxiliar e independiente conectado a la unidad central de una máquina o computadora.
- ✚ Precisión. Calidad de un instrumento por la que tiende a dar lecturas muy próximas unas a otras, es decir, es el grado de dispersión de las mismas.
- ✚ Programable: Esta característica se refiere a la posibilidad de que el mismo piloto pueda acceder y programar una amplia variedad de parámetros, sea mediante aparatos diseñados especialmente, sea mediante su ordenador personal o simplemente mediante los botones que tiene el variador.

- ✚ Protección térmica: Los variadores que la tiene llevan un sensor que desconecta los transistores cuando la temperatura sub demasiado.
- ✚ Resistencia: Es un parámetro importante en el funcionamiento del variador, ya que en gran parte indica su calidad.
- ✚ Sensor: Dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.

CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO AUTOMATIZADO

A continuación describo el proceso a automatizar, que consiste un sistema de control de nivel y caudal de un tanque de agua a través de un sistema automático de velocidad de una electrobomba mediante variador de Frecuencia, con la finalidad de realizar una correcta dosificación en la elaboración de detergente, en la empresa Neo Deter SAC.

Según el esquema mostrado en la siguiente figura, el proceso inicia con la habilitación de la válvula 1 para el ingreso de materia prima al tanque 1 una vez este al nivel máximo del tanque se activa el sensor de nivel LSH, desactivara automáticamente la válvula V1 y dará paso a que se habrá la valvula2, y a partir de este estado, la electrobomba empieza a bombear el agua hacia el tanque 2, a una velocidad determinada a medida que se van activando los sensores de nivel LC1, LC2, LC3 y LC4. La velocidad de la

electrobomba estará disminuyendo hasta que llegue a detenerse. Una vez llenado el tanque2, se aperturará la válvula V3, el cual da inicio al sub proceso de mezclado, el cual no forma parte de este análisis.

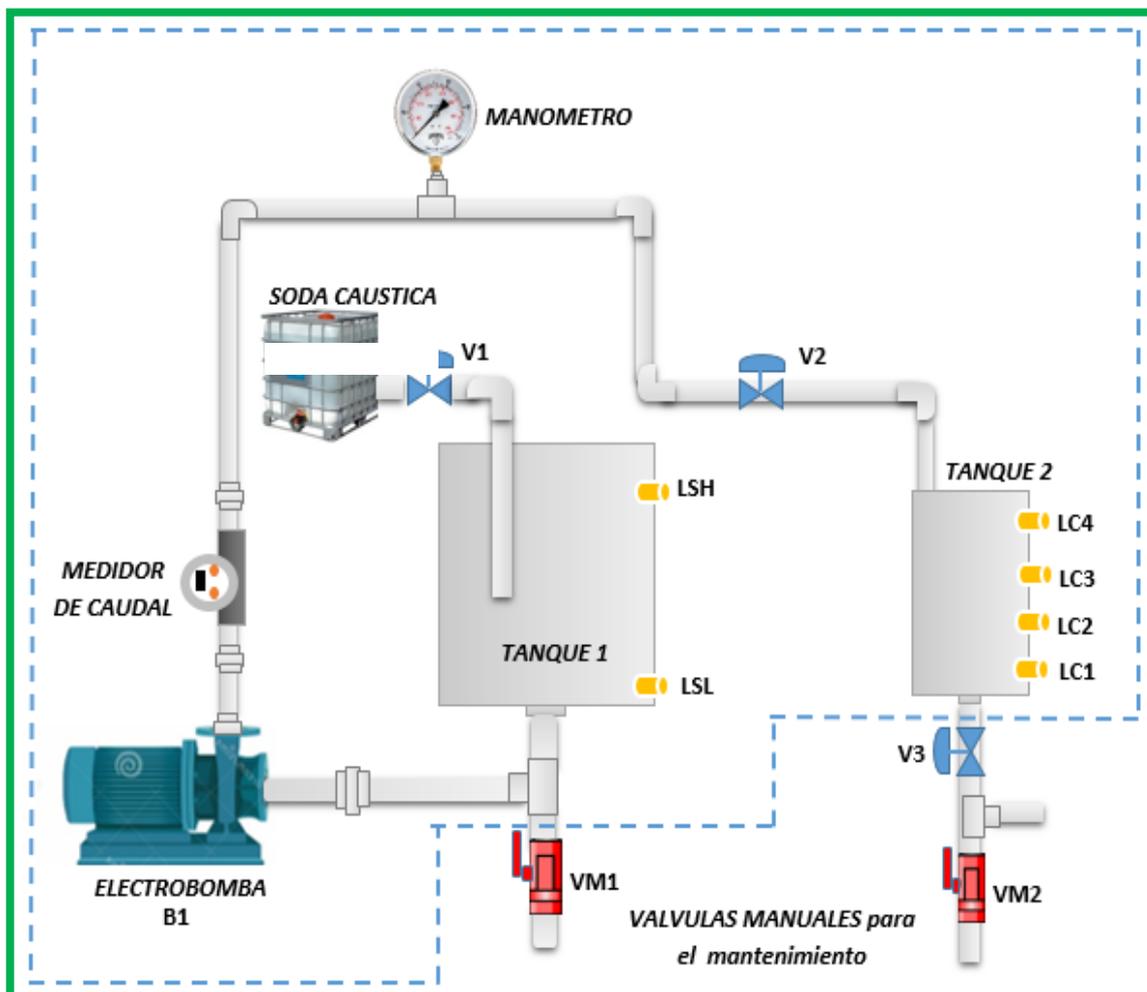


FIGURA N° 15: ESQUEMA DEL SISTEMA A AUTOMATIZAR

Con la finalidad de desarrollar el circuito de mando eléctrico, es preciso tener en cuenta las características de los órganos de trabajo a utilizar, así como de los sensores y actuadores presente en el proceso.

3.1.1 COMPONENTES DEL SISTEMA A AUTOMATIZAR

A. BOMBA ELÉCTRICA

Tipo: Centrifuga

Fabricante: Pentax

Descripción:

El accionamiento de la bomba centrífuga consiste en un impulsor que gira dentro de una caja circular; el fluido entra a la bomba cerca del centro del impulsor rotatorio (rodete) y es llevado hacia arriba por acción centrífuga. La energía cinética del fluido aumenta desde el centro del impulsor hasta los extremos de las aletas impulsoras.

Esta carga de velocidad se convierte en carga de presión cuando el fluido sale de la bomba.

Especificaciones de la Electrobomba:

- Modelo: Ultra U5 120/3T.
- Potencia 1.2 HP.
- Frecuencia 60Hz, rpm.
- Motor: Trifásico.



FIGURA N° 16: BOMBA ELÉCTRICA Y DATOS DE PLACA

B. MEDIDOR DE CAUDAL

Tipo: Paleta Rotativa

Fabricante: KOBOLD

Modelo: DRG

Descripción:

Los medidores de caudal serie DRG trabajan de acuerdo al muy conocido principio de paleta rotatoria. Una magneto acoplada en la paleta y herméticamente sellada del medio transmite sin contacto el movimiento rotatorio a un sensor de Efecto Hall montado en la cubierta.

El sensor convierte el movimiento rotatorio, que es Proporcional al caudal, en una señal de frecuencia. Una unidad electrónica conectada en serie envía la señal a una salida analógica, a contactos límite o a una pantalla. Los dispositivos

se pueden adaptar a las condiciones predominantes de la planta con las conexiones roscadas rotatable 360°.

Especificaciones

- Rangos de medida: 0.5 -12 a 10 -140 litros/min.
Precisión de medida: $\pm 3\%$ f. s.
- Pmax: 40 bar, tmax: 80°C
- Salida: pulsos, 4-20 mA, indicador LED, Indicador de manecilla.



FIGURA N° 17: BOMBA ELÉCTRICA Y DATOS DE PLACA

Detalles técnicos - electrónica

Electrónica compacta

- Indicador: LED de 3-cifras
- Salida analógica: (0)4-20 mA ajustable.
- Salidas de conmutación: 1 (2) semiconductores PNP o NPN configurado en fabrica

- Operación de contacto: contacto NC / NO programable
- Configuración: con 2 botones
- Alimentación: 24 Vcd \pm 20%, 3-hilos
- Conexión eléctrica: conector de enchufe M12x1

C. SENSOR DE NIVEL

Interruptor plástico de nivel

Modelo: NKP

Fabricante: kobold

Descripción:

El interruptor de nivel plástico NKP está diseñado para el control económico de líquidos en recipientes. Muchas aplicaciones industriales se pueden realizar con dos versiones plásticas diferentes cada uno con tres diferentes montajes.

El interruptor es notable por su diseño libre de mantenimiento, dimensiones pequeñas y contactos reed con alta capacidad de interrupción. El interruptor se monta en la cara del recipiente. Un flotador plástico con bisagras con un imán flota hacia arriba y hacia abajo a través del nivel líquido.

El contacto reed encapsulado es manejado por el imán. La función de conmutación (contacto N/A, contacto N/C) es determinada por la posición de la instalación.

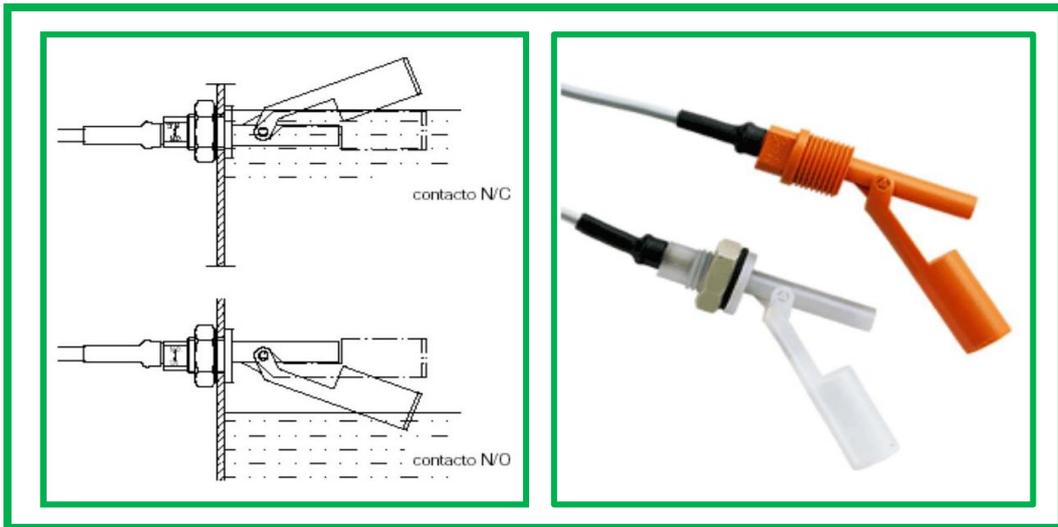


FIGURA N° 18: SENSOR DE NIVEL

Especificaciones

- Presión: máx. 10 bar
- Temperatura: máx. 100°C
- Conexión: G ½, ½”, NPT, M16
- Material: Polipropileno, PVDF

Detalles Técnicos

- Cuerpo del interruptor : polipropileno
- Flotador: polipropileno
- Máx. temperatura: 80°C / 175°F
- Máx. presión: 10 bar / 145 psi
- Posición de instalación: Horizontal ($\pm 30^\circ$ desde el plano horizontal)
- Componentes de cont.: Contacto N/A/contacto N/C (dependiendo de la instalación)

- Conexión eléctrica: Cable trenzado AWG20, 2 núcleos.
- Capacidad de contacto: Máx. 250 VAC
- Máx. 50 watt/VA / máx. 1,5 A
- Resistencia de contacto: Máx. 80mOhm
- Fuerza eléctrica mínima: 400 VDC/1 s
- Densidad del medio: >0.6 g/cm.

D. VARIADOR DE VELOCIDAD

Fabricante: SHNEIDER ELECTRIC

Modelo: ALTIVAR 12

Descripción:

El Altivar 12 es un convertidor de frecuencia para motores asíncronos trifásicos de jaula para potencias comprendidas entre 0,18 kW y 0.75 kW.

Las principales funciones integradas en el Altivar 12 son:

- Arranque y variación de velocidad.
- Inversión del sentido de giro.
- Aceleración, desaceleración, parada.
- Protecciones del motor y variador.
- Comando 2 hilos/3 hilos.
- 4 velocidades preseleccionadas.
- Guardar la configuración del variador.
- Inyección de corriente continua en la parada.
- Conmutación de rampas.

Aplicaciones

- Sistemas de manejo de material.
- Máquinas especiales (mezcladoras, lavadoras, centrifugas,...).
- Ventilación, bombeo, controles de acceso, puertas automáticas.
- Transporte horizontal (pequeños transportes,...).



FIGURA N° 19: VARIADOR DE FRECUENCIA SHNEIDER ELECTRIC

Terminal	Función	Para ATV12
⊕	Borna de tierra	Todos los calibres
R/L1 - S/L2/N	Alimentación eléctrica	Monofásica 100...120 V
R/L1 - S/L2/N		Monofásica 200...240 V
R/L1 - S/L2 - T/L3		Trifásica 200...240 V
PA/+	Salida + (CC) hacia el bus CC del módulo de frenado (parte divisible de la rejilla del cableado)	Todos los calibres
PC/-	Salida - (CC) hacia el bus CC del módulo de frenado (parte divisible de la rejilla del cableado)	Todos los calibres
PO	No utilizado	
U/T1 - V/T2 - W/T3	Salidas hacia el motor	Todos los calibres

FIGURA N° 20: CARACTERÍSTICAS DE LOS BORNES DE POTENCIA

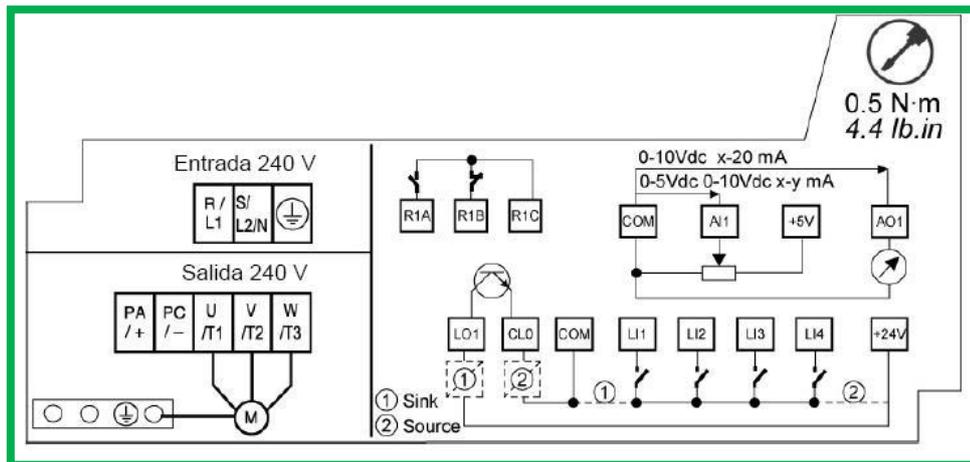


FIGURA N° 21: BORNES DE CONTROL

R1A	Contacto normalmente abierto (NA) del relé
R1B	Contacto normalmente cerrado (NC) del relé
R1C	Común del relé
COM	Común de las E/S analógicas y lógicas
AI1	Entrada analógica
5 V	Alimentación de + 5 V proporcionada por el variador
AO1	Salida analógica
LO1	Salida lógica (colector)
CLO	Común de la salida lógica (emisor)
COM	Común de las E/S analógicas y lógicas
LI1	Entrada lógica

LI2	Entrada lógica
LI3	Entrada lógica
LI4	Entrada lógica
+24V	Alimentación de +24 V proporcionada por el variador
RJ45	Conexión para software SoMove, red Modbus o terminal remoto.

TABLA N° 02: DENOMINACIÓN DE LOS BORNES DE CONTROL

Teniendo en cuenta las características del proceso, a continuación precedemos a la identificación de entradas y salidas.

Entradas:

- Pulsador de Parada: PP
- Pulsador de Marcha: PS1
- Sensor de nivel bajo(Tanque 1): LSL
- Sensor de nivel alto (Tanque 1): LSH
- Sensor de nivel (Tanque 2): LS1
- Sensor de nivel (Tanque 2): LS2
- Sensor de nivel (Tanque 2): LS3
- Sensor de nivel (Tanque 2): LS4

Salidas:

- Contactor KM1 del Electrobomba 1: H1
- Contactor KM2 Válvula 1 (V1): H2
- Contactor KM3 Válvula 2 (V2): H3

Identificado las entradas y salidas del proceso, procederé a realizar la relación con las entradas y salidas del controlador Lógico programable:

	Proceso	Nano PLC
DIRECCIONAMIENTO DE ENTRADAS	Pulsador de Parada: PP	I1(1bit)
	Pulsador de Marcha: PS1	I2(1bit)
	Sensor de nivel bajo(Tanque 1): LSH	I3(1bit)
	Sensor de nivel alto (Tanque 1): LSL	I4(1bit)
	Sensor de nivel (Tanque 2): LC1	I5(1bit)
	Sensor de nivel (Tanque 2): LC2	I6(1bit)
	Sensor de nivel (Tanque 2): LC3	I7(1bit)
	Sensor de nivel (Tanque 2): LC4	I8(1bit)

TABLA N° 03: DIRECCIONAMIENTO DE ENTRADAS

	Proceso	Nano PLC
DIRECCIONAMIENTO DE SALIDAS	Contactador KM1 de la Electrobomba 1: H1	Q1(1bit)
	Contactador KM2 Válvula 1 (V1): H2	Q2(1bit)
	Contactador KM3 Válvula 2 (V2): H3	Q3(1bit)

TABLA N° 04: DIRECCIONAMIENTO DE SALIDAS

Ahora procederé a realizar el circuito de control eléctrico, considerando que En el circuito, PS1 es el pulsador de marcha el cual nos da paso a que KM2 se active (válvula 1) y así se pueda llenar el tanque 1, hasta que el sensor de nivel LSH se active y a la vez desactive KM2, una vez habilitada la valvula2 la electrobomba comienza a bombear hacia el tanque 2 a una velocidad determinada e ira disminuyendo conforme se activen los sensores de nivel LC1, LC2, LC3 y se detendrá cuando active LC4.

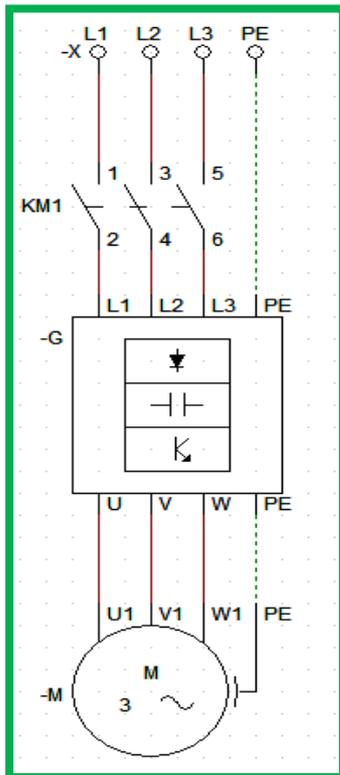
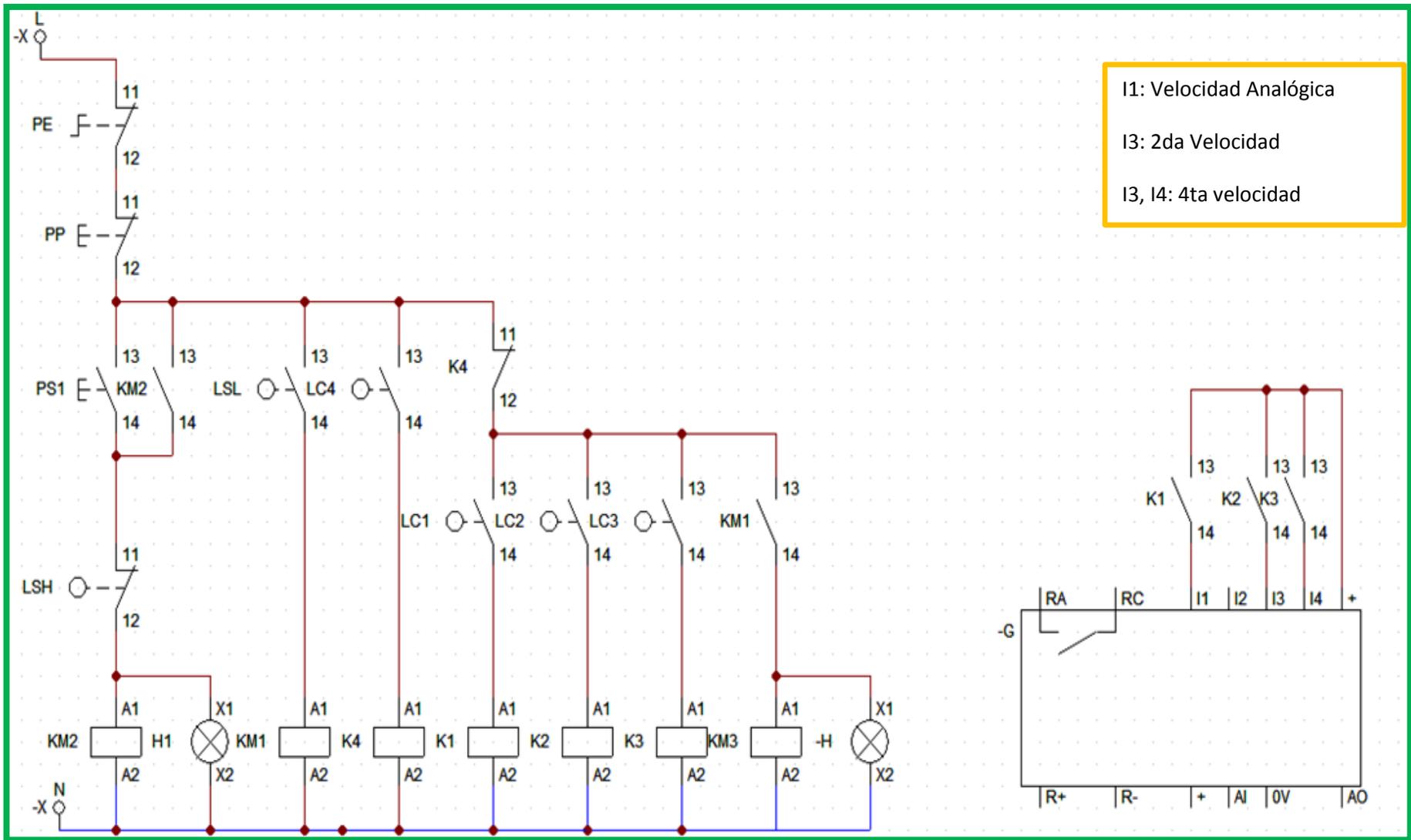


FIGURA N° 22: CIRCUITO DE POTENCIA

Frecuencia variador	
Frecuencia mínima (0-200 Hz):	1
Frecuencia máxima (0-200 Hz):	50
Velocidad preseleccionada	
1ª Velocidad preseleccionada (0-200Hz): Valor ajustado entrada analógica	
2ª Velocidad preseleccionada (0-200Hz):	30
3ª Velocidad preseleccionada (0-200Hz):	0
4ª Velocidad preseleccionada (0-200Hz):	10

FIGURA N° 23: CONFIGURACIÓN DE FRECUENCIAS DEL VARIADOR



I1: Velocidad Analógica
 I3: 2da Velocidad
 I3, I4: 4ta velocidad

FIGURA N° 24: CIRCUITO DE CONTROL ELÉCTRICO

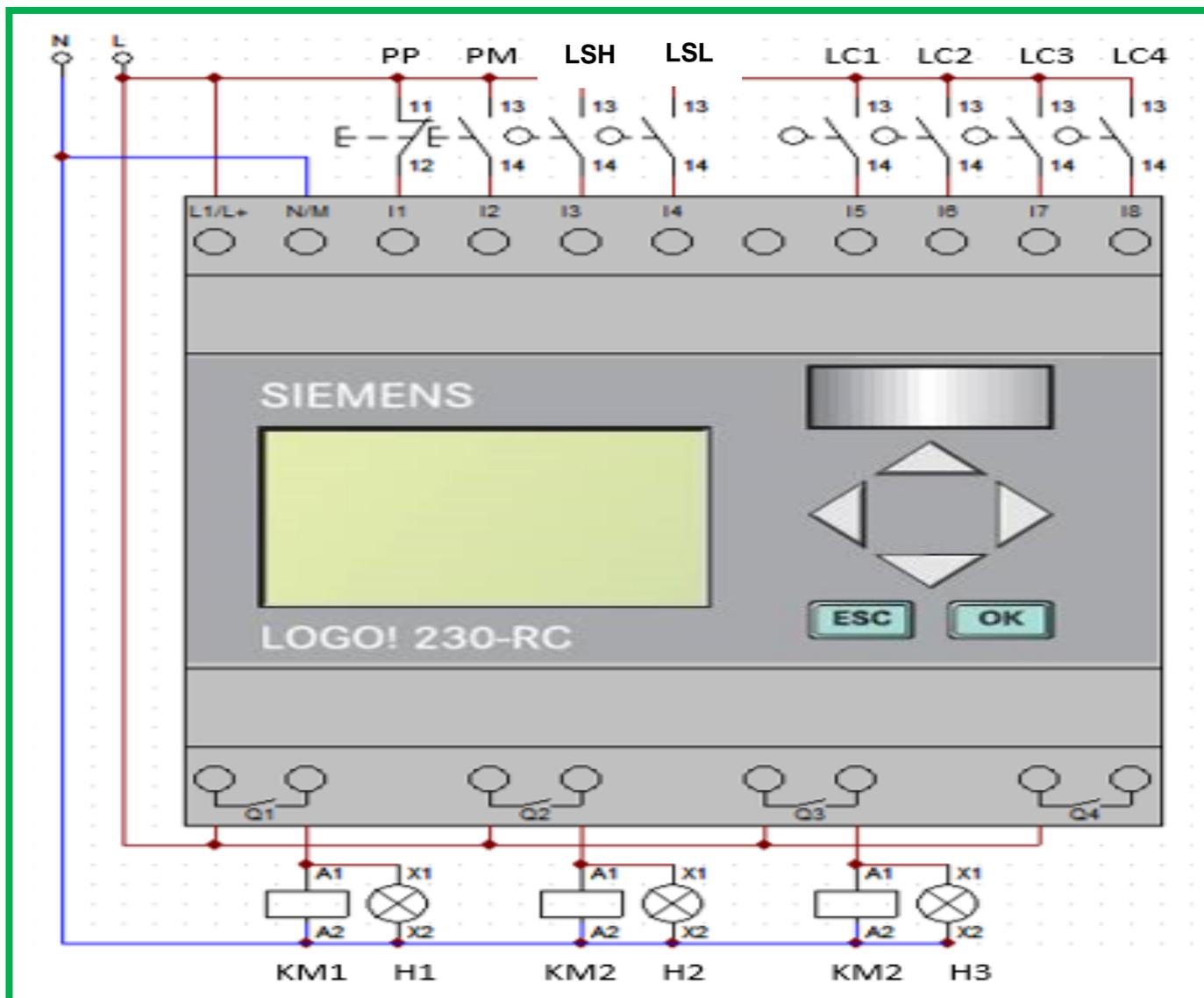


FIGURA N° 25: CONEXIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS AL NANO PLC

3.2 PROGRAMACIÓN DEL AUTOMATISMO MEDIANTE DIAGRAMA DE CONTACTOS

Establecido el circuito de control eléctrico, procederé a realizar la programación del Controlador Lógico Programable, utilizando esquema de contactos.

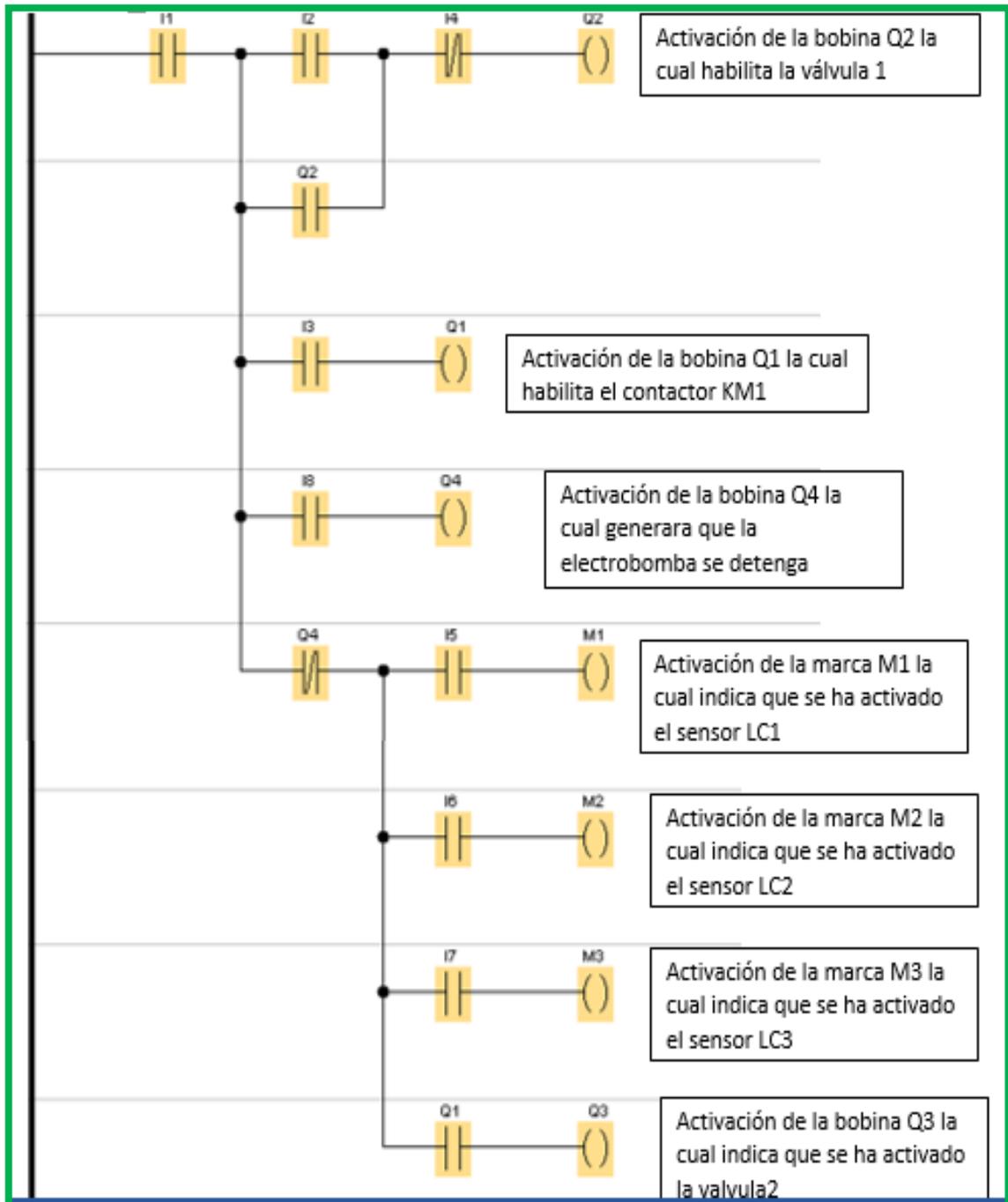


FIGURA N° 26: PROGRAMACIÓN EN DIAGRAMA DE CONTACTOS DEL AUTOMATISMO

3.3 REVISIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS

En la ejecución del programa de automatización del controlador Lógico Programable LOGO 230 RC, obtiene los siguientes resultados:

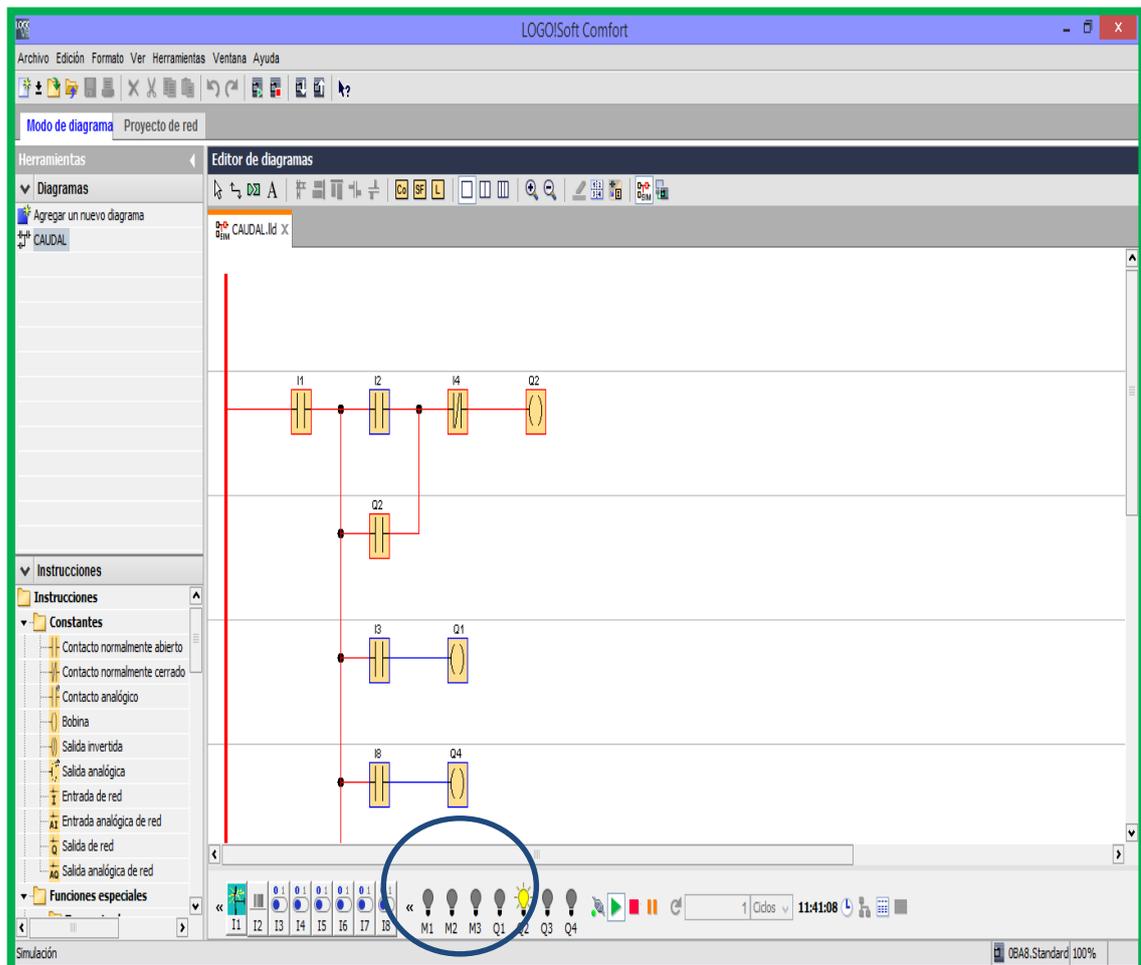


FIGURA N° 27: APERTURA AUTOMÁTICA DE LA VALVULA V1

SE OBSERVA que al presionar el pulsador de marcha, de forma automática se apertura la valvula1 (Q2), procediendo al llenado del tanque 1.

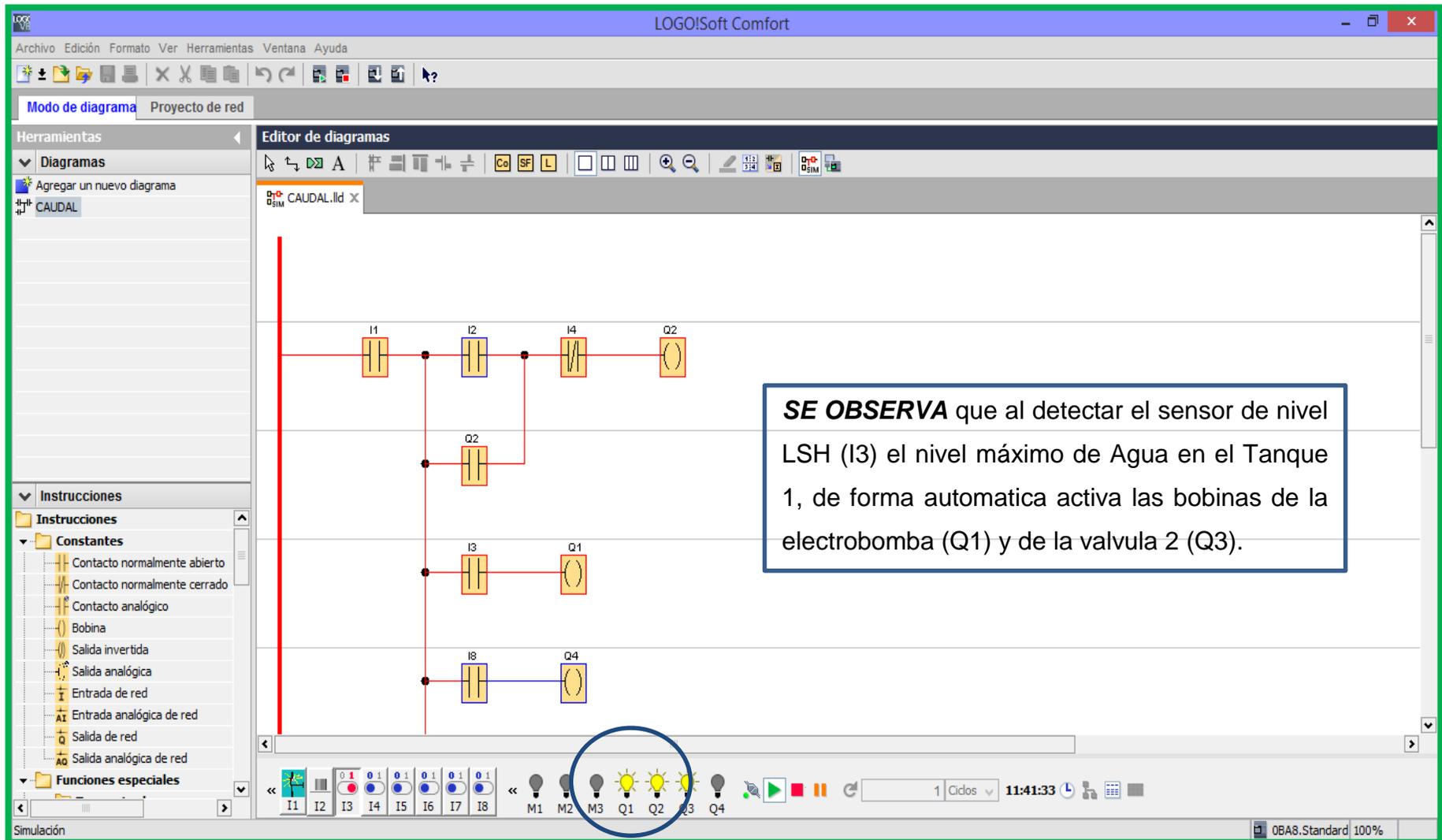


FIGURA N° 28: ACTIVACIÓN AUTOMÁTICA DE LA ELECTROBOMBA (Q1) Y DE LA VALVULA V2 (Q3)

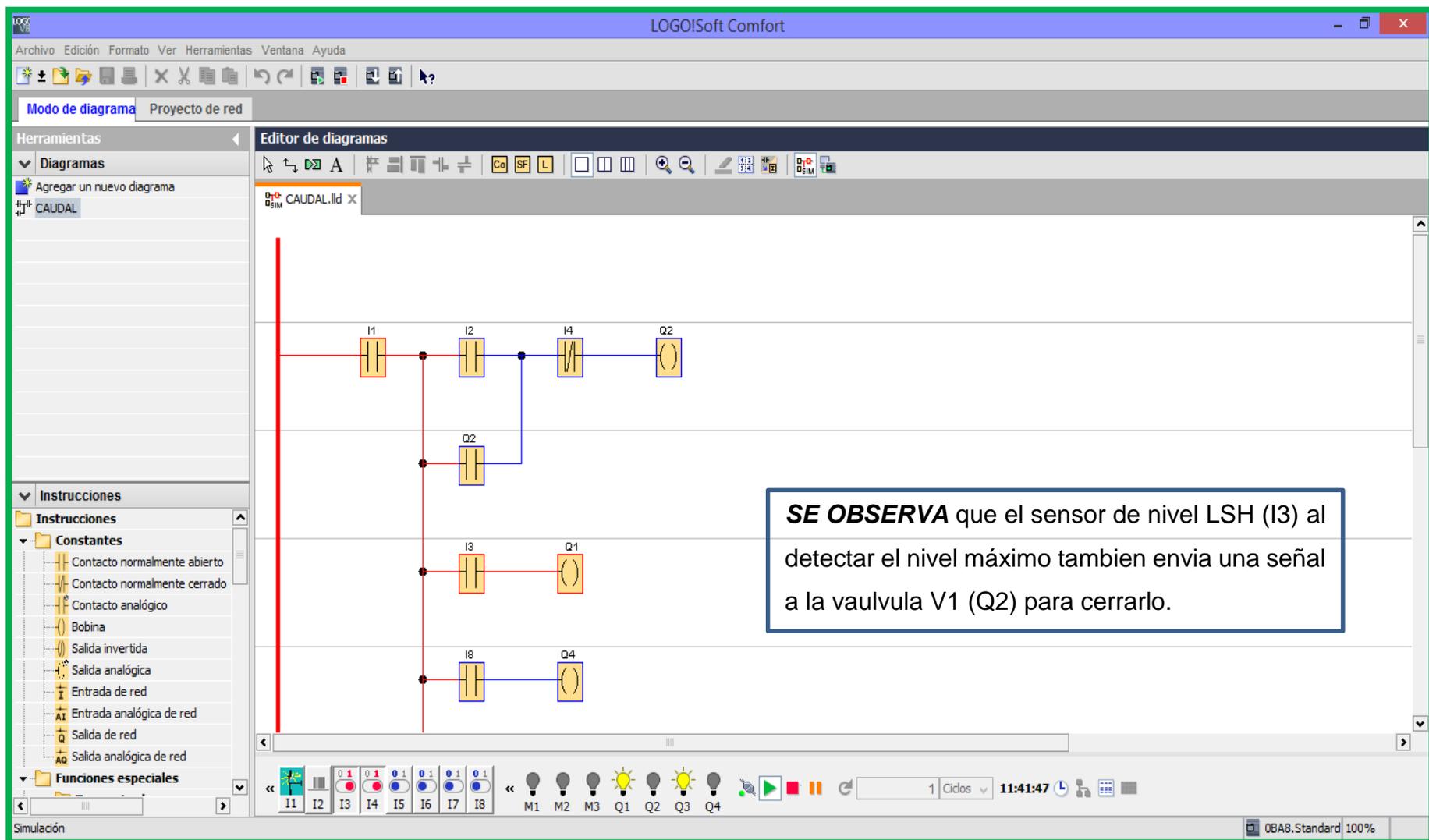


FIGURA N° 29: CIERRE AUTOMÁTICO DE LA VALVULA V1 (Q2)

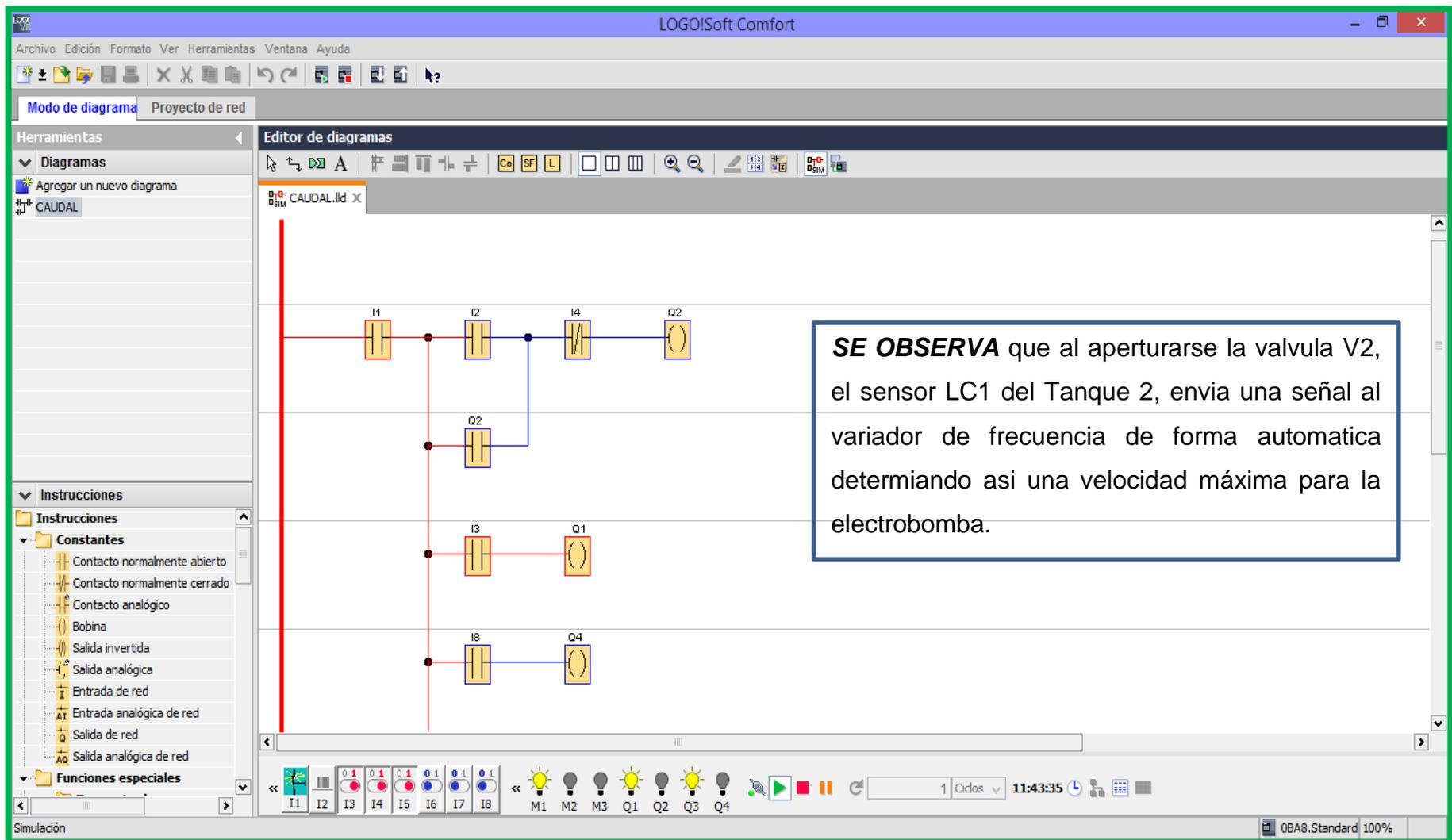


FIGURA N° 30: ACTIVACION DEL VARIADOR DE FRECUENCIA A VELOCIDAD MÁXIMA PRE CONFIGURADA

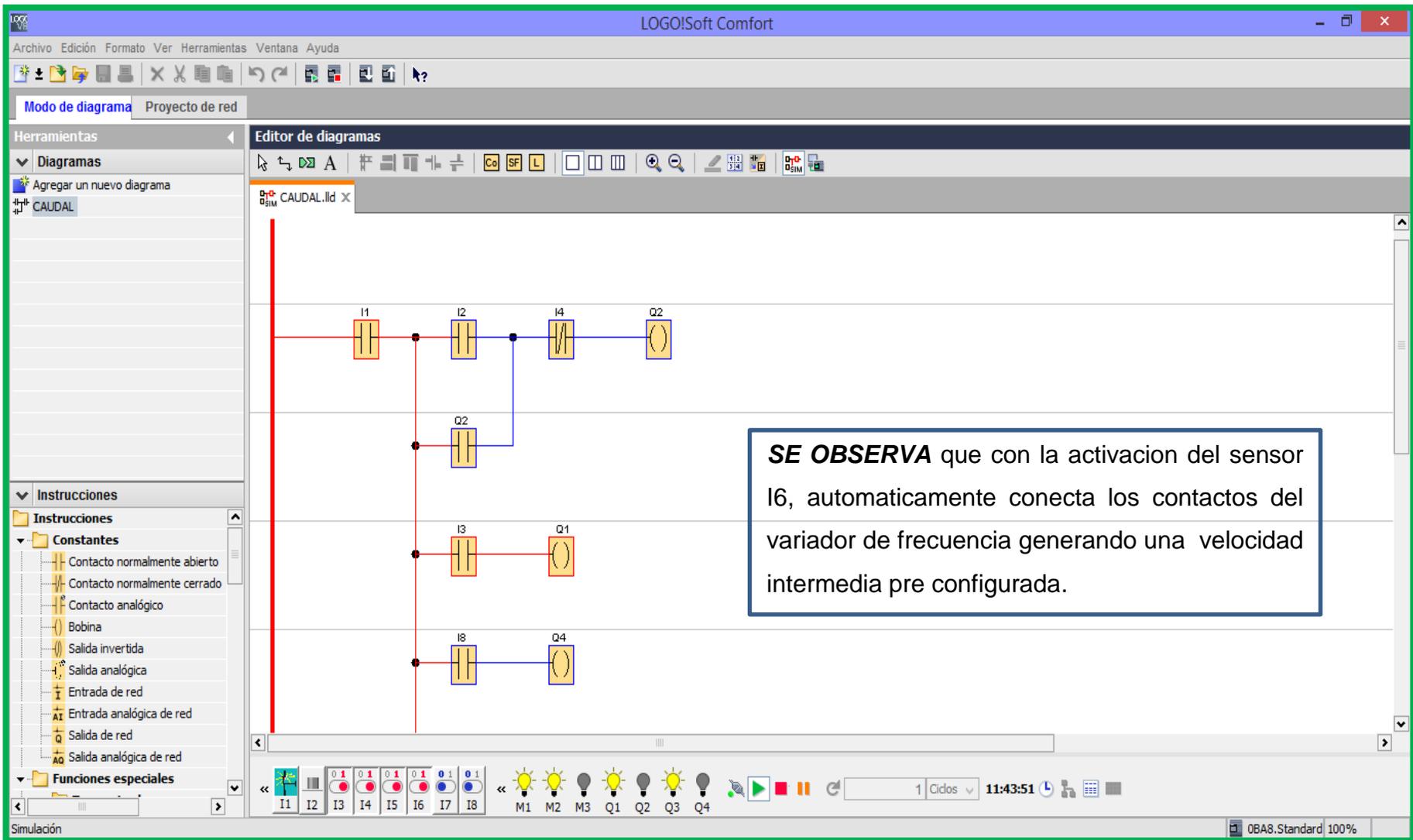


FIGURA N° 31: ACTIVACION DEL SENSOR I6

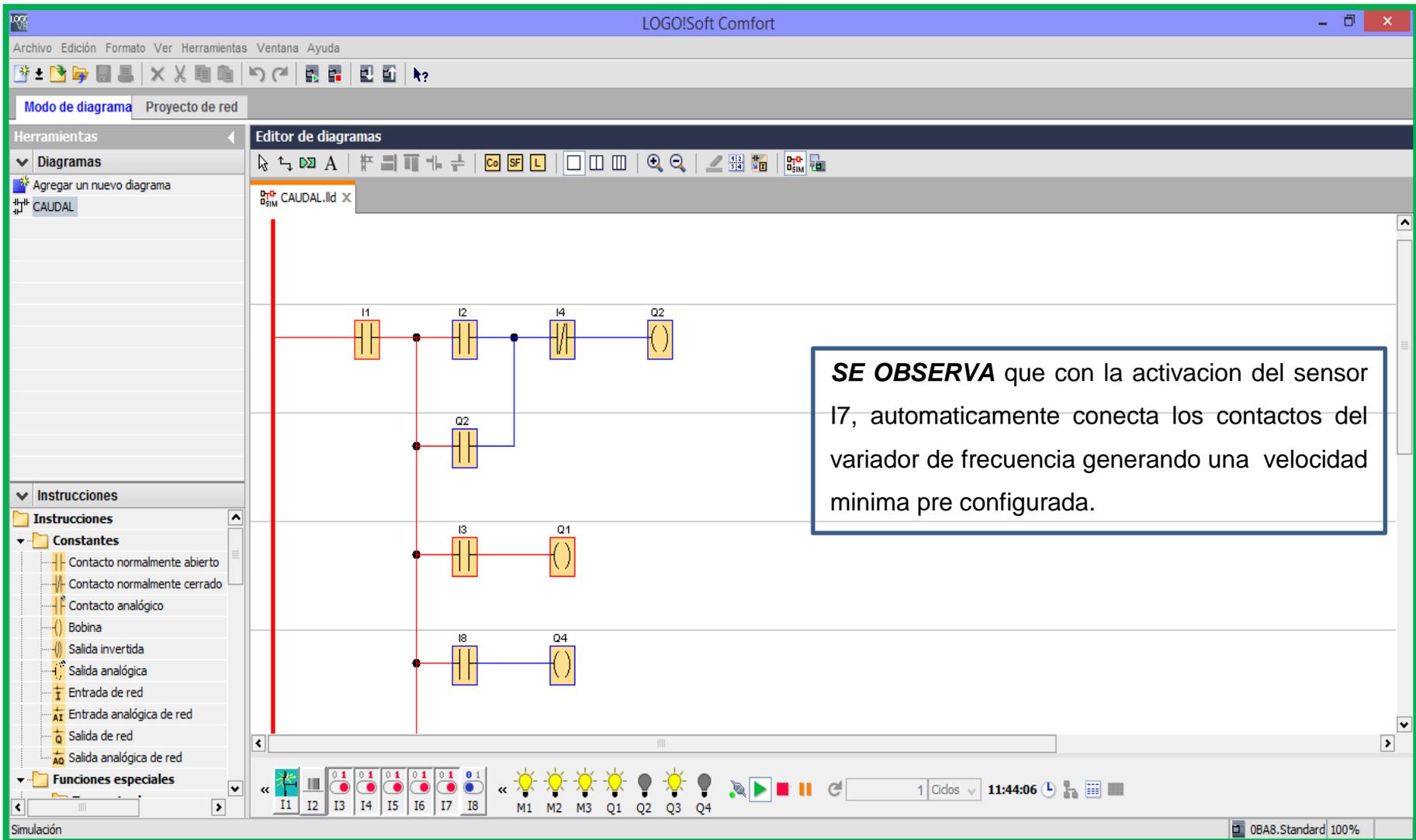


FIGURA N° 32: ACTIVACION DEL SENSOR I7

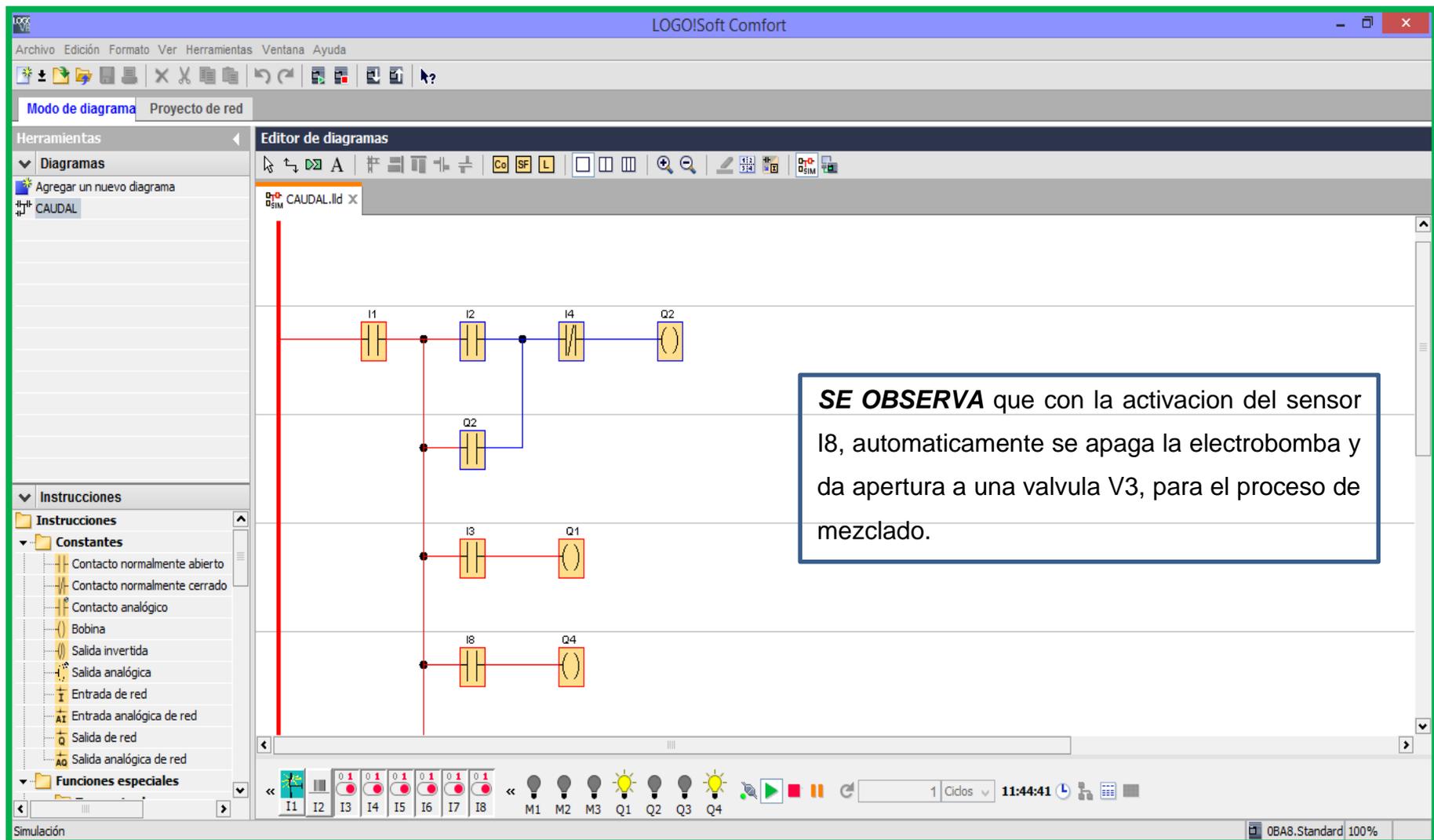


FIGURA N° 33: ACTIVACION DEL SENSOR I8

CONCLUSIONES

- Se concluye que mediante el control de nivel y caudal de un tanque de agua a través de un sistema automático de velocidad de una electrobomba mediante variador de frecuencia, se realiza una correcta dosificación en la elaboración de detergente, esto es gracias al accionamiento oportuno de los órganos de trabajo y de los actuadores, tal como se muestra en la simulación del programa.
- Se concluye que el diseño propuesto del circuito de control eléctrico, logra establecer una relación entre los sensores de nivel de los tanques de almacenamiento, las válvulas y la velocidad de la electrobomba, lo cual permite un accionamiento automático de los órganos de trabajo, garantizando una correcta dosificación de insumos.
- Finalmente se concluye que la programación del controlador lógico programable propuesto en este proyecto de ingeniería responde a los requerimientos de accionamiento automático de los órganos de trabajo a partir de eventos captados por los sensores.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar el control de nivel y caudal de un tanque de agua a través de un sistema automático de velocidad de una electrobomba mediante variador de frecuencia, se realiza una correcta dosificación en la elaboración de detergente, esto es gracias al accionamiento oportuno de los órganos de trabajo y de los actuadores, tal como se muestra en la simulación del programa.
- Se recomienda realizar un estudio con respecto a incluir en el circuito de control eléctrico, un controlador PID para monitorear la variación de nivel de Agua en los tanques y así realizar una comparación con la propuesta desarrollada basada en un control discreto.
- Se recomienda tomar como referencia la programación realizada en este proyecto de ingeniería para automatizar los otros sub procesos complementarios para la fabricación de detergentes en la empresa Neo Deter SAC.

BIBLIOGRAFÍA

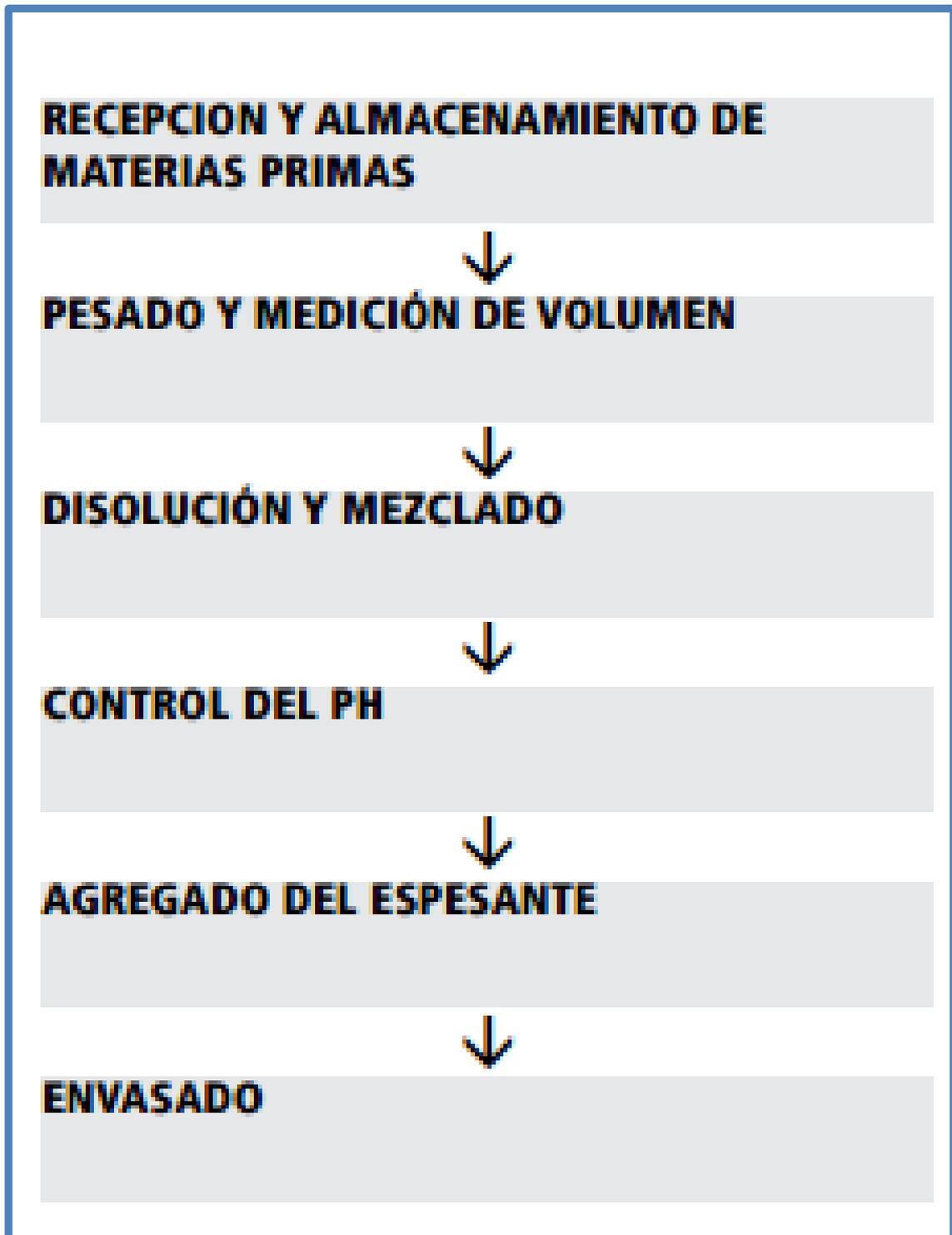
1. **CHACON. A.** (2015). Diseño e implementación de un sistema de control de caudal e interfaz gráfica de usuario en planta didáctica. (Tesis de Pre Grado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.
2. **GUTIERREZ. J.** (2006). Diseño de un sistema automatizado para la producción de desinfectantes de una planta de detergentes. (Tesis de Pre Grado). Universidad Simón Bolívar. Sartenejas, Venezuela.
3. **CHAVEZ. G.** (2015). Modificación del programa del PLC de una línea de producción para llenado de suavizante de telas. (Tesis de Pre Grado). Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.
4. **PEREZ. C.** (2010). Sensores Ópticos. Valencia, España: UNIVERSIDAD DE VALENCIA
5. **GARCIA. A.** (2003). Automatismos Industriales. Madrid, España: CSIC
6. **BALCELLS. J.** (2010). Autómatas Programables. Barcelona, España: MARCOMBO
7. **MONTELLANO, F.** (2003). Sistemas Servo controlados: Elección y Cálculo de accionamientos, Automática e Instrumentación. Editorial Marcombo.
8. **MEDINA, G.** (2010). La Automatización en la Industria Química. Editorial: UPC. España.

BIBLIOGRAFÍA ELECTRÓNICA

1. Prototipo para Control automático de Nivel y Caudal de Líquidos
<http://ings.ups.edu.ec/documents/2497096/2497486/Art2.pdf>
2. Diseño, construcción e implementación de un sistema integrado de Caudal, Presión y Temperatura
<file:///C:/Users/eduardo/Downloads/6376-22289-1-PB.pdf>
3. Control de Presión de Agua mediante variador de Frecuencia
http://www.umag.cl/biblioteca/tesis/saavedra_vidal_2007.pdf
4. Diseño e implementación de un sistema de Control de Caudal
<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/2228/1/PovedaRamirezOscarJavier2015.pdf>
5. Elaboración de detergentes y jabones
<http://producciondejabonesydetergesporestefa.blogspot.pe/2008/05/proceso-productivo.html>

ANEXO

**DIAGRAMA GENERAL DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE
DETERGENTE**



ETAPAS

Estos son los procesos identificados por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial, para que las materias primas se conviertan en productos.

Etapas 1: PESADO Y MEDICIÓN DE VOLUMEN

Se pesan aproximadamente 60 kg de agua en el recipiente donde se preparará el detergente. En otros recipientes se pesan por separado los demás componentes de la fórmula y los 180 kg de tensioactivo.

En el caso de LESS al 25%, como no es tan viscoso se puede colocar directamente en el recipiente de preparación y ***luego agregar el agua.***

Etapas 2: DISOLUCIÓN Y MEZCLADO

Se agrega el tensioactivo anteriormente pesado, agitando lentamente para no producir espuma o, caso contrario, si se pesó en el recipiente se agregará parte del agua para proporcionar el medio para disolver el resto de los aditivos. Luego se agrega los aditivos de a uno y previamente disueltos en el caso que corresponda (el EDTA se disuelve en agua y el conservante en la mínima cantidad de alcohol al 96%). Mantener siempre la agitación.

Etapas 3: CONTROL DEL pH

Se procede a medir el pH y si es necesario se corrige con ácidos o bases para obtener valores entre 6.5 y 7. Este control es de suma importancia porque un pH inferior al especificado indica un producto

ácido y por arriba de 7 un producto alcalino. Tanto uno como otros son perjudiciales para la salud y adicionalmente en el caso de un pH alcalino por encima de 8 inactivaría los conservantes, lo que provocaría una desestabilización y contaminación de la fórmula.

El manejo de ácidos y bases requiere de mucho cuidado y un conocimiento acabado de la peligrosidad que implica el manejo de sustancias como el ácido clorhídrico (muriático) concentrado, para nuestra salud en general, en particular ojos, pulmones, etc.

Etapas 4: AGREGADO DEL ESPESANTE

Agregar la cantidad necesaria de espesante. Este agregado se realiza lentamente y con agitación para obtener la viscosidad buscada. La sal le otorga viscosidad al detergente, pero si se excede en la cantidad, se produce el efecto contrario (se licua). El espesante se debe agregar ***disuelto en parte del agua***. Una buena manera es preparando una solución al 20% p/p, es decir, 2kg de sal gruesa en 8 kg de agua.

Muy importante: Es conveniente realizar esta operación en pequeña escala, por ejemplo, se toma un kilo de detergente y se verifica qué cantidad de cloruro de sodio al 20% se debe agregar para obtener la viscosidad deseada. Logrado ese objetivo se hacen las correcciones necesarias para realizar el agregado en la escala de producción.

Este es un paso de la etapa que dependerá del momento en que se fabrique y la temperatura estacional. Por ejemplo, en épocas de invierno, o sea a temperaturas bajas, la viscosidad es más elevada, por lo tanto la cantidad de espesante necesaria para lograr la viscosidad deseada será menor que en épocas de calor.

Finalmente se agrega ***el resto del agua***. Los colorantes y la esencia se agregan en pequeñas cantidades justo antes de finalizar la formulación. En este punto se verifica nuevamente el valor del pH.

GUARDAMOTOR

Fabricante: SHNEIDER ELECTRIC

Modelo: GV2ME10

Descripción

Guardamotor Termomagnético con conexión por terminales atornillables con botones pulsadores.

Especificaciones:

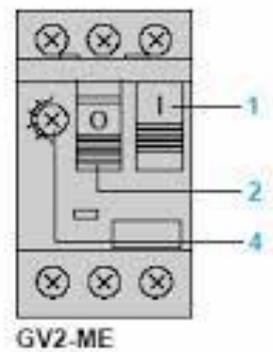
- Rango de Ajuste para disparo térmico: 4 – 6.3 A
- Corriente de disparo magnético: 78 ±20% A

Eléctricas:

- Voltaje de operación: 690 V
- Corriente: 3ª

Características físicas:

- Profundidad: 97 mm
- Altura: 89 mm
- Peso: 0.35 kg
- Ancho: 44.5 mm



LLAVE DIFERENCIAL

FABRICANTE: SHNEIDER ELECTRIC

MODELO: ID/RCCB 16234

Eléctricas:

- Voltaje de operación: 240 V
- Corriente Nominal: 0.030 - 25 A



LLAVES TERMOMAGNETICAS

FABRICANTE: SHNEIDER ELECTRIC

MODELO: C60H

TIPO: Tripular y Bipolar

Eléctricas:

- Voltaje de operación: 400 V
- Corriente: 16 A



MANOMETRO

FABRICANTE: WINTERS

PEM Serie 4

ESPECIFICACIONES:

- Dial: aluminio blanco con manchas negras y rojas.
- Caso: Acero, pintado de negro. Anillo: Acero, Cromado.
- Lente: Vidrio.
- Tubo Bourdon: bronce de fósforo.
- Zócalo: Latón.
- Movimiento: Latón.
- Presión de trabajo: Máximo 75% del valor máximo de la escala.
- Límite de sobre-presión: 25% del valor de escala completa.
- Clasificación de la caja: IP52.
- Precisión: $\pm 3-2-3\%$ ANSI / ASME Grado B.
- Tamaño del dial: 4 pulgadas (100 mm).
- Rango: 0-100 psi / kPa.
- Conexión: 1/4 NPT en la parte inferior Connect



Aplicaciones

- Aire acondicionado
- Tanques de agua
- Compresores de aire
- Neumática
- Hidráulica