

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

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



**“INTEGRACIÓN DE UN CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE
PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE
ULTRAFILTRACIÓN COMO REDUCTOR DE CONTAMINANTES EN
RELAVES MINEROS”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR EL BACHILLER

SARMIENTO PRADA, JULIO GABRIEL

**Villa El Salvador
2016**

DEDICATORIA:

Dedico este trabajo a todas aquellas personas que formaron parte de mi vida universitaria y que han hecho posible que pueda desarrollarme y culminar con éxito mis estudios profesionales.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a los buenos docentes de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, ya que con su dominio y entereza en las materias impartidas han despertado en mí persona el ímpetu por la investigación y desarrollo profesional, en especial al Ing. Martin Gonzales Bustamante.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN | 7 |
| CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 9 |
| 1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA | 9 |
| 1.2 JUSTIFICACIÓN LA INVESTIGACIÓN..... | 10 |
| 1.3 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN | 11 |
| 1.3.1 ESPACIAL | 11 |
| 1.3.2 TEMPORAL | 11 |
| 1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 11 |
| 1.5 OBJETIVOS..... | 11 |
| 1.5.1 OBJETIVO GENERAL | 11 |
| 1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 11 |
| CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO | 12 |
| 2.1. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS..... | 12 |
| 2.2 BASES TEÓRICAS..... | 16 |
| 2.2.1 COMPONENTES DE LA AUTOMATIZACION INDUSTRIAL | 16 |
| 2.2.1.1 SENSORES..... | 17 |
| 2.2.1.2 ACTUADORES..... | 23 |
| 2.2.1.3 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES..... | 25 |
| 2.2.1.3.1 VENTAJA DE LOS PLC..... | 30 |
| 2.2.1.3.2 DESVENTAJA DE LOS PLC..... | 31 |
| 2.2.1.3.3 LÓGICA PROGRAMADA..... | 32 |
| 2.2.1.3.4 CONFIGURACIÓN DIRECCIONES DE ENTRADAS Y SALIDAS..... | 33 |
| 2.2.1.3.5 TIPOS DE REGISTRO..... | 35 |
| 2.2.1.3.6 PROGRAMACIÓN DEL PLC..... | 37 |
| 2.2.2 PROCESO DE ULTRAFILTRACION | 49 |
| 2.2.2.1 DEFINICIÓN..... | 49 |
| 2.2.2.2 LAS MEMBRANAS..... | 50 |
| 2.2.2.3 VENTAJAS E INCONVENIENTES..... | 53 |
| 2.2.2.4 ENSUCIAMIENTO DE MEMBRANAS DE ULTRAFILTRACIÓN..... | 55 |
| 2.3 MARCO CONCEPTUAL. | 60 |
| CAPITULO III DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA..... | 66 |
| 3.1 ANÁLISIS DEL PROCESO DE ULTRAFILTRACIÓN A AUTOMATIZAR..... | 66 |
| 3.2 DISEÑO DEL AUTOMATISMO BASADO EN EL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE..... | 68 |
| CONCLUSIONES..... | 81 |
| RECOMENDACIONES..... | 82 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 83 |
| ANEXOS..... | 85 |

LISTADO DE FIGURAS

- Figura N° 01: Componentes de un sensor
- Figura N° 02: Ora clasificación de los Actuadores
- Figura N° 03: Ejemplos de Nano PLC's comerciales
- Figura N° 04: Ejemplos de Micro PLC's comerciales
- Figura N° 05: Ejemplos de PLC's comerciales
- Figura N° 06: Diagrama de Bloques de la Lógica Programada
- Figura N° 07: Distribución de direcciones de Entradas digitales
- Figura N° 08: Distribución de direcciones de Entrada Analógica
- Figura N° 09: Especificación de un registro tipo Bit
- Figura N° 10: Especificación de un registro tipo Byte
- Figura N° 11: Descripción de la palabra MW10 en Bytes
- Figura N° 12: Descripción de la palabra MW10 en bits
- Figura N° 13: Especificación de la doble palabra MD10 en bits
- Figura N° 14: Ejemplo de Programación de PLC - Diagrama de contactos
- Figura N° 15: Descripción del Contacto Normalmente Abierto
- Figura N° 16: Descripción del Contacto Normalmente Cerrado
- Figura N° 17: Descripción de una Bobina
- Figura N° 18: Definiendo símbolos, dirección, tipo de datos y comentario
- Figura N° 19: Programación Básica del Temporizador S_Impuls
- Figura N° 20: Diagrama de funcionamiento del Temporizador S_Impuls
- Figura N° 21: Esquema del Temporizador S_AVERZ
- Figura N° 22: Descripción de las entradas y salidas del S_AVERZ
- Figura N° 23: Diagrama de tiempo del Temporizador S_AVERZ
- Figura N° 24: Esquema de un Proceso básico de Membrana
- Figura N° 25: Flujo de volumen vs Gradiente de presión
- Figura N° 26: Representación de los procesos de polarización por concentración y formación de capa gel
- Figura N° 27: curva típica de la evolución de la densidad de flujo de permeado con el tiempo para un proceso de ultrafiltración
- Figura N° 28: Modelo del sistema basado en la Lógica Programada
- Figura N° 29: Sistema de ultrafiltración considerando sensores,

LISTADO DE TABLAS

Tabla N° 01: Marcas de los PLC's más difundida

Tabla N° 02: Clasificación de los procesos de membrana

Tabla N° 03: Rangos de operación de los procesos de Membrana

INTRODUCCIÓN

La presente tesina desarrolla un estudio respecto a la automatización de un proceso de ultrafiltración basado en la utilización de un controlador lógico programable y su programación con el propósito de establecer una relación entre los sensores y actuadores, controlando la presión, la diferencia de presión y los caudales del proceso.

El papel fundamental del agua en las actividades humanas y la contaminación antropogénica del recurso hídrico como consecuencia de la incorporación de las aguas residuales a las fuentes de abastecimiento, ha generado desde épocas antiguas el desarrollo de sistemas de almacenamiento, transporte y tratamiento tanto para aguas potables como para aguas de desecho provenientes de relaves mineros.

La ultrafiltración es un método para separar macromoléculas y sustancias coloidales, donde una membrana actúa como barrera selectiva, logrando separar partículas que se encuentran en el rango entre 5 y 100 nm.

Las dos aplicaciones correspondientes a la ultrafiltración que se presentan con mayor frecuencia corresponden, por un lado a los tratamientos de agua, y por el otro, a la purificación de desechos residuales y recuperación de efluentes. En el tratamiento de aguas, remarcando, que en muchos procesos industriales la calidad de los productos están directamente relacionada con la calidad del agua utilizada.

Las políticas industriales en los países desarrollados del mundo inciden mucho en la tecnología, el diseño industrial y su automatización. Estos conceptos influyen grandemente en la industria en general, pues hacen que el producto final se acerque cada vez más a las exigencias del usuario, llegando al mercado en las mejores condiciones de calidad, precio y sobretodo en el momento oportuno, lo que hace que la industria crezca en competitividad y productividad.

En ese sentido, es importante tener en cuenta que el uso de controladores en este tipo de procesos busca mejorar la precisión y exactitud del producto, monitoreando las variables que intervienen en el proceso de obtención del agua purificada.

La automatización industrial y el control de procesos es una actividad que se proyecta conceptualmente hacia la solución de problemas que se plantea el ser humano en su adaptación al medio que lo rodea, en una búsqueda de la satisfacción de sus necesidades.

La estructura que hemos seguridad en este proyecto se comporta de 3 capitulo. El Primer Capítulo comprende el Planteamiento del Problema, el Segundo Capítulo el Desarrollo del Marco Teórico y el Tercer Capítulo corresponde al desarrollo del proyecto.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

El 60 % de la contaminación del río Rímac procede de la actividad minera, seguido de los residuos domésticos (25%) y desechos industriales (15%), lo que exige un creciente esfuerzo tecnológico para potabilizar la principal fuente de agua de la ciudad de Lima.

Godofredo León, especialista del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (Sedapal), indicó que a estos factores se suma lodo y piedras de los deslizamientos en época de lluvias, lo que incrementa los niveles de turbidez del agua sometida a tratamiento para consumo humano.

La contaminación del Río Habrador empieza a la altura de la localidad de Morococha, provincia de Huarochirí, a más de 100 kilómetros al este de la ciudad de Lima. En ese tramo del cauce empiezan las descargas de relaves de las empresas mineras que operan en la zona, sin ningún tipo de tratamiento y que dañan la salud.

Las emisiones domésticas, se generan, principalmente, en centros urbanos como Morococha, San Mateo, Matucana, Ñaña, Chosica y Chaclacayo, donde muchas tuberías de alcantarillado desembocan en el cauce del Rímac.

Esta descarga continua de sustancias contaminantes infringe la Ley de Recursos Hídricos y corresponde a las autoridades ambientales tomar las acciones correctivas y sancionadoras que correspondan.

Para dar solución a estos problemas el proceso de tratamiento que se aplica actualmente tiene que ver con procesos físicos, como la decantación y la ultrafiltración para retener los sedimentos, así como de naturaleza química con la cloración del agua para eliminar microorganismos, lo que permite que sea apta para el consumo humano.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En la actualidad muchas empresas son conscientes del avance tecnología en materia de automatización industrial, sin embargo no son aplicados a sus procesos por que no existe un conocimiento claro de cómo y cuánto implica acoplar esta tecnología en sus procesos.

La justificación del proyecto está relacionado con el hecho de utilizarlas tecnologías de automatización industrial en el proceso de ultrafiltración es decir de cómo integrar un controlador lógico programable en el propósito de reducir o eliminar los contaminantes presentes en relaves mineros.

A partir de la utilización de un controlador lógico programable se pretende mantener la presión transmembrana constante a un valor determinado, con esto si el flujo de permeado disminuye, es por el ensuciamiento que existe en la membrana o posibles pérdidas de presión por fugas. Lo cual permite tomar decisiones de forma oportuna en la búsqueda de mejorar la calidad del agua.

En ese sentido la justificación se sustenta en que el controlador supervisará simultáneamente todos los parámetros importantes como, por ejemplo, la presión, la diferencia de presión.

Es en este sentido esta investigación se ve justificada desde el punto de vista tecnológico porque representa un aporte de como automatizar un proceso de ultrafiltración.

1.3 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 ESPACIAL

El proyecto será desarrollado en la Unidad Minera Los Quenvales, que se ubica en el distrito de Cicla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima.

1.3.2 TEMPORAL

La investigación comprende el periodo de enero a julio de 2016.

1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo integrar un controlador lógico programable en la automatización del proceso de ultrafiltración, como reductor de contaminantes en relaves mineros?

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Controlar el proceso de ultrafiltración, como reductor de contaminantes de relaves mineros utilizando un controlador lógico programable.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los elementos captadores de señal, los actuadores y la relación que existen entre ellos en el proceso de ultrafiltración.
- Diseñar el automatismo basado en el uso del controlador lógico programable, los elementos captadores de señal y los actuadores eléctricos, mediante simulación en software de SIMATIC.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

Bautista (2012), en su tesis titulada “Incrementación de envasado de agua y propuesta de automatización de Planta purificadora”, para optar el título de Ingeniero Mecánico Electricista, en la Universidad Tecnológica de Querétaro, concluye que: “Dentro del campo de la producción industrial, la automatización ha pasado de ser una herramienta de trabajo deseable a una herramienta indispensable para competir en el mercado globalizado. Ningún empresario toma a la ligera la automatización de sus procesos para aumentar la calidad de sus productos, reducir los tiempos de producción, realizar tareas complejas, reducir los desperdicios o las piezas mal fabricadas y sobre todo aumentar la rentabilidad.”¹

De lo señalado por el autor de la tesis podemos establecer que sí es posible la automatización de un proceso de purificado de agua, es decir se establece una relación entre los elementos propios del proceso y el controlador lógico programable.

¹BAUTISTAROSAS, Ana Laura. Tesis: “Incrementación de envasado de Agua y propuesta de Automatización de Planta Purificadora”. México. Universidad Tecnológica de Querétaro. 2012.

Romero (2010), en su tesis titulada “Control Avanzado en procesos Industriales de microfiltración y Ultrafiltración Tangencial”, para optar el grado de Maestro en Automática e informática Industrial, en la Universidad Politécnica de Valencia, concluye que: “Es claro que los procesos de microfiltración y ultrafiltración tangencial son procesos industriales complejos debido a su dinámica, al ensuciamiento de la membrana, a la falta de conocimiento del proceso y a las no linealidades del sistema. Es por esto que es un proceso digno a controlar. Así también señala que existe muy pocas referencias para controlar las plantas de microfiltración y ultrafiltración, en la mayoría de los casos se controla una sola variable, por ejemplo, una de las maneras más comunes y simples es mantener la presión constante. El objetivo es tener la presión transmembrana constante a un valor determinado, con esto si el flujo de permeado disminuye, es por el ensuciamiento que existe en la membrana o posibles pérdidas de presión por fugas.”².

De lo señalado por el autor de la tesis, refuerza mi propuesta de que es posible integrar un controlador lógico programable en el proceso de ultrafiltración, específicamente en el control de la presión a la salida de la membrana del filtro.

Carreño (2019), en su tesis titulada “Modelado del Proceso de Ultrafiltración en un Birreactor de Membranas utilizando Redes Neuronales”, para optar el grado de Master en Ingeniería Química, en la

²ROMERO GONZALES, Jorge Francisco. Tesis: “Control Avanzado en Procesos Industriales de microfiltración u ultrafiltración Tangencial”. Universidad Politécnica de Valencia. 2010.

Universidad Politécnica de Valencia, concluye qué: “Los factores que afectan el ensuciamiento de las membranas han sido identificados y clasificados en cuatro grupos: los materiales de las membranas, las características de la biomasa, las características del agua residual y las condiciones de operación. Sin embargo las complejas interacciones entre estos aspectos dificultan el entendimiento del fenómeno y por tanto el control del proceso. Así también el ensuciamiento de la membrana es debido a la interacción entre el fluido y la membrana, así un aumento en la presión transmembranal evidencia el fenómeno. Al entrar en contacto la membrana con la suspensión biológica se origina la deposición de biosólidos originando una disminución en la carga hidráulica. El ensuciamiento debido a la biopelícula formada en la superficie de la membrana es un ensuciamiento reversible que puede ser recuperado mediante procesos físicos, como contra lavados periódicos.”³

En referencia a la fuente bibliográfica anterior resalto la propuesta de contrarrestar el ensuciamiento de las membranas haciendo uso del proceso físico del contra lavado al cual llamaré en este proyecto de tesis el proceso de retro lavado.

Judd (2007), en su libro titulado “Principles and applications off membrane Bioreactors in water and wastewater treadment”, señala que “De esta manera los sistemas MBRs se presentan como una opción atractiva para

³CARREÑO MARTINEZ, Yeny Minery. Tesis: “Modelado del Proceso de ultrafiltración en Birreactor de Membranas utilizando Redes neuronales”. España. Universidad Politécnica de Valencia. 2009.

el tratamiento y reutilización de las aguas residuales urbanas e industriales. Esto se evidencia en el acelerado crecimiento de las inversiones en el mercado mundial para la construcción y aumento de capacidad de este tipo de plantas en la última década. Sin embargo uno de los mayores inconvenientes del sistema que dificulta su rápida comercialización es el ensuciamiento de las membranas. Este fenómeno genera una disminución en el rendimiento del proceso de filtración, originando una reducción en el flujo de permeado al aumentar el tiempo de operación. La obstrucción de los poros ocasionada por la acumulación de partículas y materia soluble sobre y dentro de la estructura de la membrana, son las causas del ensuciamiento. Por esta razón una mayor comprensión de los mecanismos de ensuciamiento, así como el desarrollo de métodos más efectivos para controlarlo y minimizarlo son factores claves para aumentar la competitividad de esta tecnología en relación con los tratamientos convencionales.”⁴.

Una problemática ya vista por varios autores que evidenciado en este libro, cuando se resalta que los procesos para el tratamiento y reutilización de agua tienen el problema del ensuciamiento de las membranas. En este proyecto de tesis propongo resolver este problema controlando la presión de salida del filtro y en contracorriente enviar agua al filtro para limpiar las membranas.

⁴JUDDS. “Principles and applications off membrane Bioreactors in water and wastewater treadment”. USA. Elsevier Oxford. 2007.

Medina (2010), en su libro titulado “La automatización en la industria Química”, señala que “La automatización en el campo industrial químico se desarrolla en dos vertientes. En primer lugar sustituyendo al operador humano en aquellas tareas más repetitivas en las que no es necesaria su intervención o bien en las que son de difícil realización. En segundo lugar, mejorando su calidad del producto final y abaratando los costes del proceso. Así mismo las ventajas de aplicar la automatización a un proceso industrial químico son inmediatas y se pueden resumir en los siguientes puntos: Aumenta la productividad y la flexibilidad de la maquinaria y de las instalaciones, Minimiza los tiempos de espera y parada por cambios de producción o alarmas en los procesos y mejora la repetitividad y calidad del producto optimizando la materia prima.⁵”

En referencia a lo señalado por el autor, con respecto a las dos vertientes que menciona, mi proyecto a realizar se ubica en la vertiente número dos, es decir, busca aumentar la calidad del producto final y en cuanto a la ventaja esperada, recae sobre la minimización de los tiempos de espera y parada por alarmas en los procesos.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 COMPONENTES DE LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Vallejo (2006), en su libro titulado “Aspectos generales de la automatización en el Sector Químico”, describe algunos

⁵VILLÉ H., “Maquinas Automatizadas para procesos industriales”. México. Editorial: Cengage Learning. 2007

componentes necesarios para el diseño de un sistema automatizado, siendo estos lo que a continuación se detallan⁶:

- ✚ Sensores y Actuadores: Elementos importantes del proceso ya que permiten monitorear y al mismo tiempo regular las variables del sistema, que conjuntamente con la acción de control, establecen un mecanismo de autorregulación.
- ✚ Fuentes de energía. Hace posible el control y puesta en marcha del sistema.
- ✚ Infraestructura de equipos. Toda la maquinaria necesaria para transformar la materia prima en el producto final.
- ✚ Programa de instrucciones. Surge a partir de un diagrama de flujo del proceso, donde se definen las acciones a desarrollar por los elementos del sistema de producción.
- ✚ Arquitectura del sistema de control. Está formada por los elementos que permiten la transmisión de las diferentes acciones definidas en el paso anterior. (PLC'S, Pantallas táctiles).
- ✚ Sistemas de Control. Son los encargados de ejecutar las acciones definidas en el programa de instrucciones.

2.2.1.1 SENSORES

Son los componentes que forman el nivel más bajo de un sistema de automatización (nivel de entrada y salida), estos componentes también son llamados elementos

⁶ VALLEJO, M.B. Libro: "Aspectos generales de la Automatización en el sector químico". Editorial: Mc Graw Hill. 2006.

captadores de señal. La información capturada en este nivel se procesa en los niveles superiores. Los sistemas de control trabajan con esta información y como consecuencia deben ser flexibles ante cualquier variación que se produzca.

García (2000), en su libro titulado “Autómata Programable” define los sensores o transductores como los dispositivos encargados de capturar la magnitud física que se desea medir. Sensores y transductores son términos sinónimos según este autor. Esta conclusión se obtiene tras observar que los traductores están formados por un sensor y un circuito de acondicionamiento de señal.⁷ Este autor plantea una clasificación de los sensores según se detallan a continuación:

- Detección de la Posición Lineal o Angular: Potenciómetros, Encoders.
- Detección Pequeños desplazamientos o deformaciones: Transformador diferencial, Galga Extensiométrico.
- Detección Velocidad Lineal o Angular: Dinamo tacométrico, Encoders, Detector inductivo u óptico.
- Detección de Aceleración: Acelerómetro, Sensor de velocidad + calculador.

⁷ GARCIA. N.M. Libro: “Autómata Programable”. Departamento de Ingeniería Sistemas y Automática. Universidad de Elche. 2000

- Detección de Fuera y Par: Medición indirecta (galgas o trafos diferenciales).
- Detección de Presión: Piezoeléctricos, Membrana+detector de desplazamiento
- Detección de Caudal: De turbina, Magnético • Detección de Temperatura: Termopar, Bimetálicos, Resistencia PT100, NTC, PTC.
- Detección de Presencia o proximidad: Inductivos, Capacitivos, Ópticos, Ultrasonidos
- Sensores táctiles: Matriz de contacto, capacitiva, piezo-eléctrica.
- Sensores de visión artificial: Cámaras de Video, Cámaras CCD.

A partir de la clasificación planteada por García (2000), se puede concluir que los sensores industriales más utilizados son los de presencia. Estos sensores están formados por circuitos osciladores L-C, cuya bobina está dispuesta de tal forma que el flujo se cierra por la zona sensible. La presencia de metal en esta zona produce un aumento de la oscilación. La amplitud de la oscilación permite obtener una señal de salida de naturaleza binaria.

Torres (2002), en su libro titulado “Robots y Sistemas Sensores”, establece que un sensor es un dispositivo eléctrico y/o mecánico que convierte magnitudes físicas

(luz, calor, movimiento) a valores medibles de dicha magnitud. Los sensores aportan información tanto del entorno de trabajo como del estado interno del robot o del elemento donde estén instalados, para que realice su tarea eficientemente. Existen dos elementos muy importantes dentro del robot: los descriptores estáticos y los descriptores dinámicos.⁸

- Los descriptores estáticos definen el comportamiento en régimen permanente del sensor.
- Los descriptores dinámicos hacen referencia a la caracterización de la evolución temporal de la señal de salida ante determinadas señales de excitación de la entrada. A partir de estas investigaciones se realiza una clasificación y breve definición sobre los grandes grupos de sensores que existen en el mercado.
- Sensores de desplazamiento y proximidad. Los sensores de desplazamiento permiten medir la distancia o ángulo que un determinado componente se mueve con respecto a una posición. Los sensores de proximidad permiten determinar tanto la presencia como la proximidad de un objeto situado a una distancia máxima. Entre los más utilizados destacan los potenciómetros, los capacitivos y los resistivos.

⁸ TORRES F. Libro "Robots y Sistemas Sensores". Editorial Prentice Hall. 2002

- Sensores de velocidad. Permiten determinar la velocidad con la que se mueve un objeto o con la que gira una determinada articulación. Los más utilizados son los tacos generadores.
- Sensores de fuerza. La mayoría de las aplicaciones de este sensor están destinadas a la robótica especialmente para determinar la fuerza con la que interactúa el extremo de un robot al coger un objeto. Los más utilizados son los sensores piezoeléctricos.
- Sensores de aceleración. Tiene una gran implantación dentro del campo de la robótica. Puede suponerse el caso de que un brazo robot transporta una determinada carga con una pinza en su extremo. A lo largo de su trayectoria el objeto transportado sufrirá sucesivas aceleraciones, lo que conllevará unos cambios de fuerza. El ejemplo más importante de este tipo de sensor son los acelerómetros, que se basan en la utilización de componentes piezoeléctricos. Estos materiales generan una pequeña cantidad de energía eléctrica cuando son deformados.
- Sensores de luz. Permiten medir la presencia de luz utilizando las células fotoeléctricas. Existen muchas aplicaciones en las que se encargan de medir la intensidad de luz incidente de manera que algunos de estos dispositivos tiene la posibilidad de enfocarse y

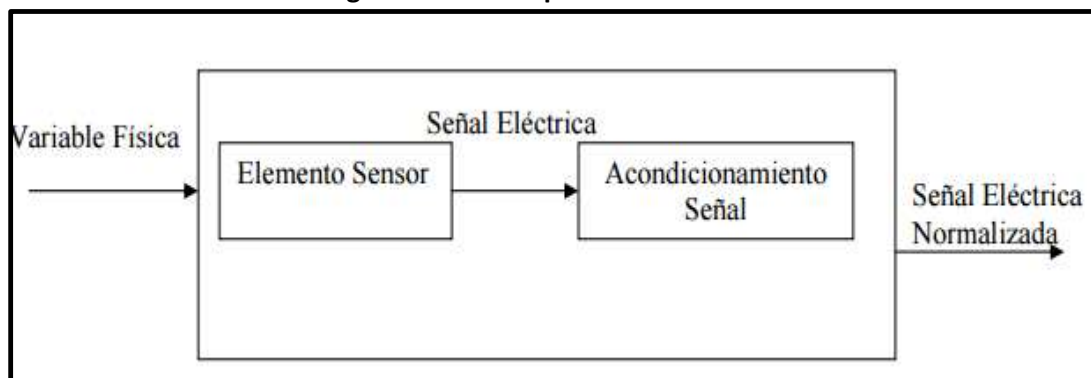
orientarse para facilitar su colocación. El ejemplo más importante de esta clase son los sensores infrarrojos.

- Sensores neumáticos. Se utilizan comúnmente para la detección de desplazamiento y proximidad sin contacto, utilizando para ello instalaciones de aire comprimido. Su funcionamiento se basa en la presencia o no de objetos en el camino realizado por el aire comprimido. La ausencia de objetos provoca que no exista un aumento de la presión. Este tipo de sensores no son sensibles a señales electromagnéticas, lo que les hace robustos ante interferencias de ruidos externos de este tipo.
- Sensores táctiles. Este tipo de sensores permiten detectar la presión que ejerce un dedo sobre la superficie táctil, en muchos casos se utilizan para la construcción de manos mecánicas. En robótica son muy útiles para detectar el contacto de la mano con un objeto.
- Sensores ópticos. Los más importantes son las cámaras de vídeo. Estos elementos se encargan de captar la información luminosa procedente de la escena y transformarla en una señal digital o analógica que conforman una imagen digital. Las cámaras de video llevan incorporadas dos tipos de

sensores ópticos. Los dispositivos de acoplamiento de carga (CCD) y los de inyección de carga (CID)

Mandado (2005), en su libro “Autómatas Programables: Entorno y Aplicaciones”, definen sensor como un dispositivo que posee un parámetro dependiente de alguna de las variables físicas del medio. Un sensor convierte una variable física en otra variable diferente por esta razón se le llama transductor. A continuación se muestra un esquema resumen de la definición de sensor.⁹

Figura N° 01: Componentes de un sensor



MANDADO. E. Libro “Autómatas Programables: Entornos y Aplicaciones”.

2.2.1.2 ACTUADORES

García (2000), define actuador como aquel dispositivo que actúa como regulador de la potencia de la planta. Existen multitud de actuadores como por ejemplos los destinados a movimientos (motores, cilindros), los

⁹ MANDADO. E. Libro “Autómatas Programables: Entornos y Aplicaciones”. Editorial Thompson Learning. 2005.

térmicos (hornos, intercambiadores) etc. Los actuadores se pueden clasificar según el tipo de energía empleada en el accionamiento.

- Accionamientos eléctricos. Permiten la conexión o desconexión de un circuito eléctrico de potencia al producir la excitación de una bobina de mando.
- Accionamientos hidráulicos y neumáticos. Se aplican de forma masiva en los automatismos industriales gracias a su robustez y facilidad de control. Entre sus funciones destacan: establecer o cortar la conexión hidráulica o neumática entre dos o más conductos o vías, también se encargan de regular la presión o caudal de los circuitos hidráulicos.
- Accionamientos térmicos. El movimiento se realiza utilizando la energía producida en el proceso de explosión.

Montellano (2003), en su libro “Sistemas Servo controlados: Elección y Cálculo de accionamientos, Automática e Instrumentación”, profundiza en el campo de los actuadores ampliando las teorías de otros autores y define actuadores o accionamientos como el elemento que permiten el movimiento de la carga según unos parámetros de estabilidad. Los movimientos deben realizarse a partir de unas condiciones previas

establecidas por el usuario.¹⁰Esta autor establece 4 tipos de tecnologías que se aplican en los actuadores.

- Control Vectorial
- Servo controladores de CC
- Brusshless estándar
- Brusshless de baja inercia

En estudios recientes define un actuador como el dispositivo que conmuta la señal de un tipo de energía eléctrica a otra. Siguiendo este criterio se establece la siguiente clasificación de los actuadores

Figura N° 02: Ora clasificación de los Actuadores

| Tipos de Actuadores | |
|------------------------------|--|
| Alimentación Continua | Salido Tipo Relé PNP |
| | Salido Tipo Transistor NPN |
| | Salida Tipo Transistor |
| Alimentación Alterna | Salida Tipo Relé |
| | Salida en estado Sólido (triac, Tiristor) |

MONTELLANO, F. Libro "Sistemas Servo controlados"

2.2.1.3 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES

La automatización de una planta industrial es una tarea muy compleja que requiere tener en cuenta una gran cantidad de elementos. El nivel más bajo de entradas y salidas se encarga de suministrar la información a los

¹⁰ MONTELLANO, F. Libro "Sistemas Servo controlados: Elección y Cálculo de accionamientos, Automática e Instrumentación". Editorial Marcombo. 2003

PLC'S (Programmable Logic controller), para poder ejecutar las instrucciones de los programas.

Los PLC's forman parte de un nivel superior que se llama nivel de campo, según lo expuesto en las investigaciones de Ros (2003), el objetivo principal de los PLC's se centra en activar el conjunto de válvulas, actuadores neumáticos etc necesarios para poder realizar las acciones que se indican en el programa.¹¹

Erickson (1996), en sus estudios define una serie de características para describir a estos elementos.¹²

- + Facilidad de programación en ambiente industrial.
- + El mantenimiento y reparación debe ser rápida y sencilla.
- + Capacidad de trabajo en plantas industriales
- + Permitir la comunicación con la central de datos
- + Reducido tamaño y de bajo coste

Estos criterios sirven para definir de forma general en que consiste un PLC y realizar una clasificación de los distintos grupos que existen.

¹¹ Ros, R. "Monitorización de una red industrial", Rev. Automática e Instrumentación, Nov 2003, pag. 135-140.

¹² Erickson K.T. "Programmable Logic Controller" Potentials, IEEE, Volume 15, Feb-Mar 1996, pag:14 - 17

De acuerdo a sus características internas tales como memoria capacidad de procesamiento y de acuerdo a la cantidad de señales de entrada / salida que manejan, estos se pueden clasificar en NANO PLC's, MICRO PLC's y PLC's.

✚ NANO PLC's:

1. No efectúan Operaciones Matemáticas
2. Poseen menor número de entradas/salidas Digitales y Analógicas.

Figura N° 03: Ejemplos de Nano PLC's comerciales

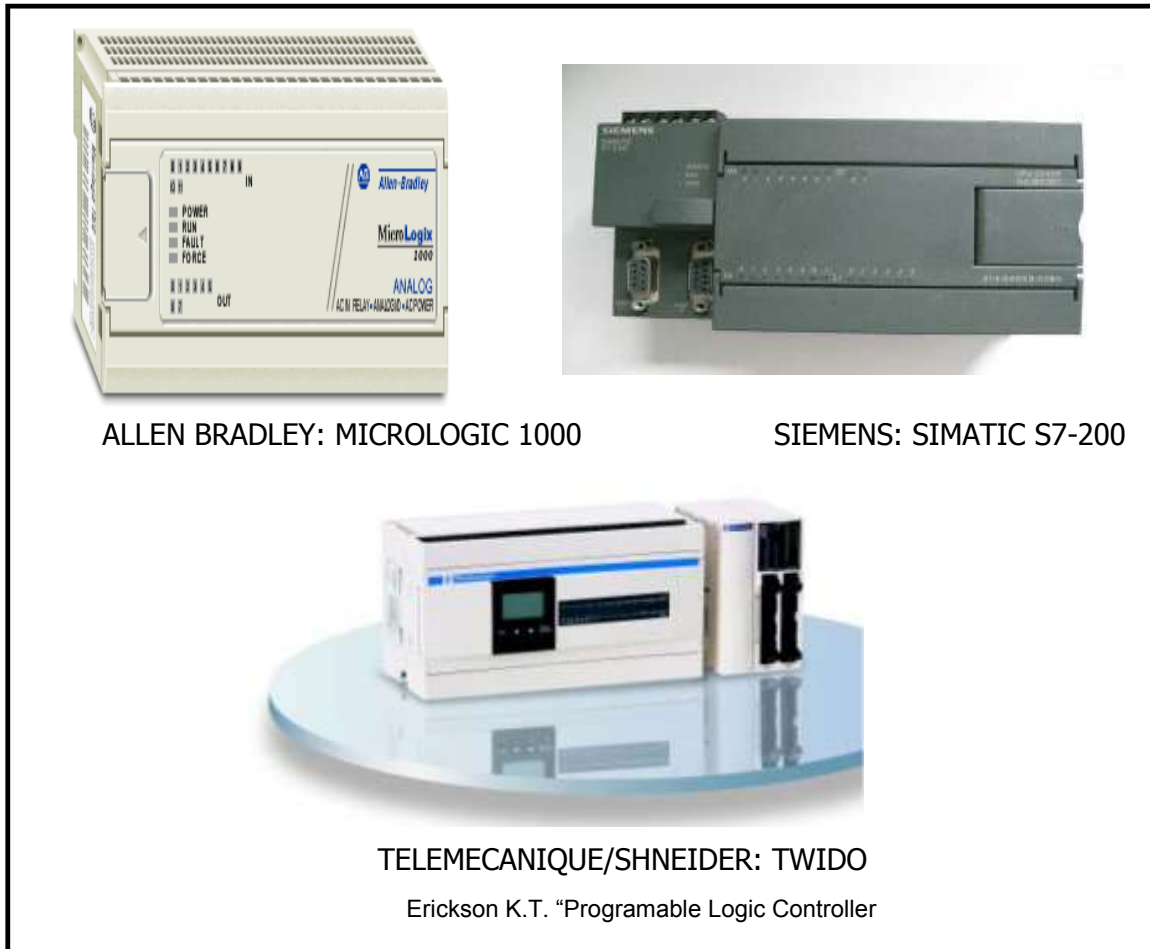


Erickson K.T. "Programable Logic Controller"

✚ MICRO PLC's:

1. Efectúan Operaciones Matemáticas
2. Poseen mayor número de entradas/salidas Digitales y Analógicas.
3. Poseen más memoria que los Nano PLC's.

Figura N° 04: Ejemplos de Micro PLC's comerciales



✚ PLC's.

1. Presentan característica Modular.
2. Permiten expandir sus entradas/salidas analógicas y digitales.
3. Poseen mayor cantidad de memoria que los MICRO PLC's.

Figura N° 05: Ejemplos de PLC's comerciales

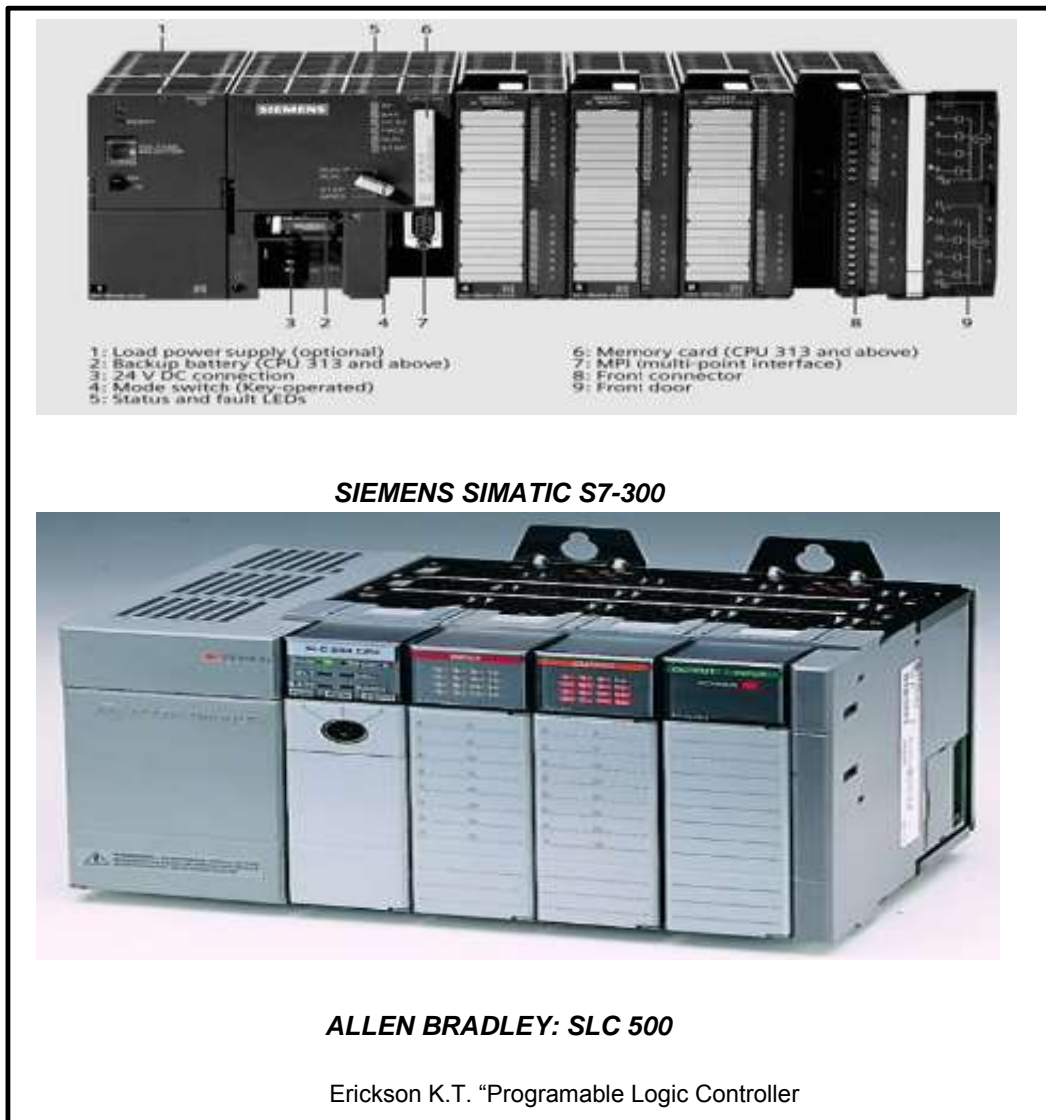


Tabla N° 01: Marcas de los PLC's más difundida

| MARCA | PROCEDENCIA | MODELO | SOFTWARE |
|---------------------------------------|-------------|-----------------------------------|---|
| ALLEN BRADLEY | EEUU | MICROLIX | RSLOGIX/Logix Pro |
| GENERAL ELECTRIC | EEUU | FANUC | Versa Pro |
| SIEMENS | ALEMANIA | S7-200 , S7-300, S7-1200 LOGO! | Step 7 – Micro Win Logo Soft/ Logo Confort |
| MOLLER | ALEMANIA | EASY | Easy soft |
| SCHNEIDER ELECTRIC / TELEMECANIQUE | FRANCIA | TWIDO TSX-07/ZELIO | Twido Soft PL7 07/ Zelio Soft |
| OMRON | JAPON | ZEN | Zen - Soft |
| MITSUBISHI | JAPON | ALPHA | VLS Visual Logic |

Erickson K.T. "Programmable Logic Controller"

2.2.1.3.1 VENTAJAS DE LOS PLC's

Las ventajas de los controladores lógicos programables son las que a continuación se detallan:

✚ Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos debido a que:

1. No es necesario dibujar el esquema de contactos.
2. No es necesario simplificar las ecuaciones lógicas, ya que, por lo general, la capacidad de almacenamiento del módulo de memoria es lo suficientemente grande
3. La lista de materiales queda sensiblemente reducida, y al elaborar el presupuesto correspondiente eliminaremos parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores, distintos plazos de entrega, etc.
4. Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado y añadir aparatos.

- ✚ Mínimo espacio de ocupación.
- ✚ Menor coste de mano de obra de la instalación.
- ✚ Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismo autómatas pueden detectar e indicar averías.
- ✚ Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómata.
- ✚ Menor tiempo para la puesta de funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado.

2.2.1.3.2 DESVENTAJAS DE LOS PLC's

A continuación se describe algunas desventajas del controlador Lógico Programable:

- En primer lugar, de que hace falta un programador, lo que obliga a adiestrar al personal para su manejo, pero hoy en día ese inconveniente está solucionado porque las universidades y/o institutos superiores ya se encargan de dicho adiestramiento.
- Pero hay otro factor importante como el costo inicial que puede o no ser un

inconveniente, según las características del automatismo en cuestión. Dado que el PLC cubre ventajosamente en amplio espacio entre la lógica cableada y el microprocesador, es preciso que el proyectista lo conozca tanto en su actitud como en sus limitaciones. Por tanto, aunque el coste inicial debe ser tenido en cuenta a la hora de decidirse por uno u otro sistema, conviene analizar todos los demás factores para asegurarnos una decisión acertada.

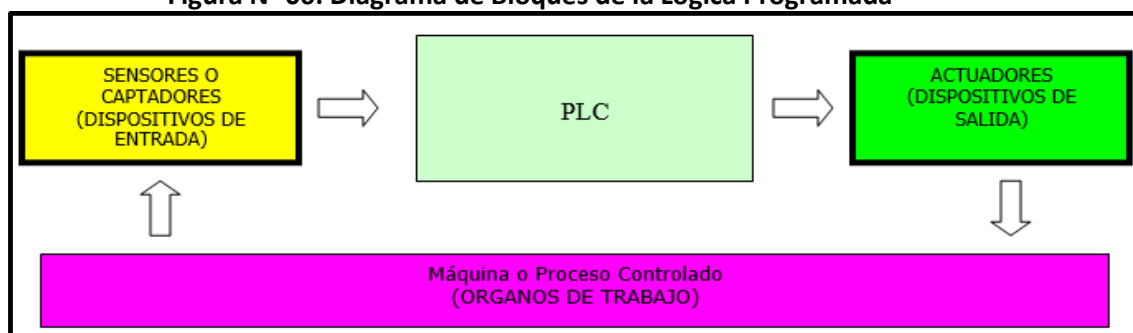
2.2.1.3.3 LÓGICA PROGRAMADA

Se entiende a los mecanismos con capacidad de realizar las principales funciones lógicas necesarias para la conducción de una máquina o un proceso industrial, de acuerdo a un determinado programa memorizado y con un grado de flexibilidad extremadamente elevado.

El avance de la tecnología y el descenso de los costos permitió el desarrollo de controladores, capaces de suplantar en los sistemas de automatización de contactos la lógica cableada por la lógica programada (Programmable Logic Controller: PLC).

Existen PLC's que ofrecen la más variadas prestaciones en principio solo podían manejar módulos de entrada/ salida digital y reemplazaban los mandos a contactores, a medida que fueron popularizándose, comenzaron a manejar otro tipo de información, por medio de módulos de entrada / salida Analógicos, contadores, controladores de periféricos, redes, módulos de visión como el panel HMI KTP 600 PN del PLC SIEMENS SIMATIC S7- 1200.

Figura N° 06: Diagrama de Bloques de la Lógica Programada



Erickson K.T. "Programmable Logic Controller

2.2.1.3.4 CONFIGURACIÓN DIRECCIONES DE ENTRADAS Y SALIDAS

2.2.1.3.4.1 Direccionamiento Digital:

- Las direcciones de entradas y salidas comienzan con la dirección 0 para el primer módulo del rack.

- A cada módulo se le asignan 4 bytes (se usen o no).
- Para hacer ampliaciones de entradas y salidas en otro rack, se debe colocar un módulo IM para comunicar ambos racks.

Figura N° 07: Distribución de direcciones de Entradigitales

| | | | | | | | | | | |
|----------------|-----|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| FUENTE ALIMEN. | CPU | IM emisor | 0.0 a 3.7 | 4.0 a 7.7 | 8.0 a 11.7 | 12.0 a 15.7 | 16.0 a 19.7 | 20.0 a 23.7 | 24.0 a 27.7 | 28.0 a 31.7 |
| | | IM receptor | 32.0 a 35.7 | 36.0 a 39.7 | 40.0 a 43.7 | 44.0 a 47.7 | 48.0 a 51.7 | 52.0 a 55.7 | 56.0 a 59.7 | 60.0 a 63.7 |

Erickson K.T. "Programable Logic Controller"

2.2.1.3.4.2 Direccionamiento Analógico

- Las direcciones analógicas para entradas y salidas empiezan con la dirección 256 en el rack 0, estas direcciones dependen del tipo de CPU.
- Cada módulo analógico, se le asignan 16 bytes (se usen o no).
- Cada entrada analógica ocupa 2 bytes.

Figura N° 08: Distribución de direcciones de Entrada Analógica

| | | | | | | | | | | |
|----------------|-----|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| FUENTE ALIMEN. | CPU | IM emisor | 256 a 271 | 272 a 287 | 288 a 303 | 304 a 319 | 320 a 335 | 336 a 351 | 352 a 367 | 368 a 383 |
|----------------|-----|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|

Erickson K.T. "Programable Logic Controller"

2.2.1.3.5 TIPOS DE REGISTROS

2.2.1.3.5.1 Registro tipo Bit:

- Un bit, es la unidad básica para trabajar con dígitos binarios.
- Es la unidad más pequeña de información
- Únicamente tiene dos estados: 0 y 1.
- Pueden agruparse formando registros mayores

Un bit se identifica de la siguiente manera:

Figura N° 09: Especificación de un registro tipo Bit



Erickson K.T. "Programable Logic Controller

2.2.1.3.5.2 Registro tipo Byte:

- Un byte es un grupo de 8 bits.
- Se utilizan para representar valores numéricos de 8 dígitos binarios.

Figura N° 10: Especificación de un registro tipo Byte

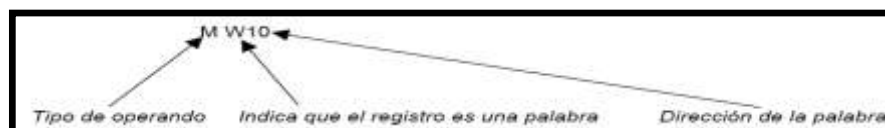


Erickson K.T. "Programable Logic Controller

2.2.1.3.5.3 Registro tipo Palabra (Word):

- Una palabra está formada por dos bytes es decir 16 bits.

Figura N° 11: Descripción de la palabra MW10 en Bytes



Erickson K.T. "Programable Logic Controller"

- La palabra MW10, está formada por los Bytes MB10 y MB11.
- También podemos decir que está formada por los bits:

Figura N° 12: Descripción de la palabra MW10 en bits



Erickson K.T. "Programable Logic Controller"

2.2.1.3.5.4 Registro tipo Doble palabra (Doble Word):

- Una doble palabra está formada por dos palabras, es decir 4 bytes o 32 bits.
- Es la unidad más grande que puede ser procesada por el PLC.

Figura N° 13: Especificación de la doble palabra MD10 en bits



Erickson K.T. "Programable Logic Controller"

Esta doble palabra está formada por los Bytes MB10, MB11, MB12 y MB13

- En MB10 están los bits que dentro de MD10 ocupan la posición de la 24 a la 31

- En MB11 están los bits que dentro de MD10 ocupan la posición de la 16 a la 23

- En MB12 están los bits que dentro de MD10 ocupan la posición de la 8 a la 15

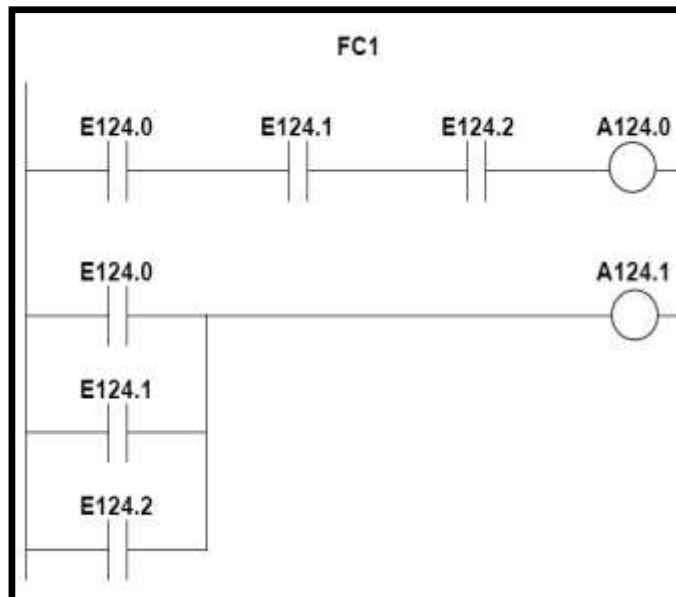
- En MB13 están los bits que dentro de MD10 ocupan la posición de la 0 a la 7

2.2.1.3.6 PROGRAMACIÓN DEL PLC

En la programación de un controlador lógico programable, existen diversas formas de programar (FUP, IWL, KOP, Grafcet). En este manual desarrollaremos la programación por diagrama de Contactos (KOP), ya que se asemeja a los circuitos de mando eléctrico, manejados comúnmente por los profesionales de Ingeniería Mecánica-Eléctrica.

Un contacto se puede repetir tantas veces como sea necesario en la programación. De este elemento repetido, solo se necesita tener una entrada física de referencia a PLC. La CPU, cada vez que se encuentra con un contacto mientras lee el programa, va a consultar el valor que tiene la entrada física (o el valor que tiene el registro de entradas) correspondiente a esa referencia.

Figura N° 14: Ejemplo de Programación de PLC - Diagrama de contactos



Erickson K.T. "Programable Logic Controller

Recordemos los pasos a seguir:

1. Abrimos el Administrador y creamos un proyecto
2. Abrimos el simulador
3. Creamos el bloque FC1

4. Hacemos doble clic en FC1 y se abre el editor
5. Programamos, guardamos y cargamos en CPU el módulo FC1
6. Entramos en el Administrador y hacemos doble clic en OB1 y se abre el editor
7. Programamos, guardamos y cargamos en CPU el módulo OB1

2.2.1.3.6.1 Operadores en la Programación del PLC mediante diagrama de contactos

Contacto Normalmente Abierto

---| |--- (Contacto normalmente abierto) se cierra si el valor del bit consultado, que se almacena en el <operando> indicado, es "1". Si el contacto está cerrado, la corriente fluye a través del contacto y el resultado lógico (RLO) es "1". De lo contrario, si el estado de señal en el <operando> indicado es "0", el contacto está abierto. Si el contacto está abierto no hay flujo de corriente y el

resultado lógico de la operación (RLO) es "0". En las conexiones en serie, el contacto ---| |--- se combina bit a bit por medio de una Y lógica con el RLO. Cuando las conexiones se realizan en paralelo, el contacto se combina con el RLO por medio de una lógica.

Figura N° 15: Descripción del Contacto Normalmente Abierto

| --- --- Contacto normalmente abierto | | | |
|---|----------------------|------------------------|--------------------|
| Símbolo | | | |
| <Operando> | | | |
| --- --- | | | |
| Parámetro | Tipo de datos | Área de memoria | Descripción |
| <Operando> | BOOL | E, A, M, L, D, T, Z | Bit consultado |

Erickson K.T. "Programmable Logic Controller"

Contacto Normalmente Cerrado

---| / |--- (Contacto normalmente cerrado) se abre si el valor del bit consultado, que se almacena en el <operando> indicado, es "0". Si el contacto está cerrado, la corriente fluye a través del contacto y el resultado lógico (RLO) es "1". De lo contrario, si el

estado de señal en el <operando> indicado es "1", el contacto está abierto. Si el contacto está abierto no hay flujo de corriente y el resultado lógico de la operación (RLO) es "0". Cuando se realizan conexiones en serie, el contacto --| / |--- se combina bit a bit por medio de una y lógica con el RLO. Si las conexiones se efectúan en paralelo, el contacto se combina con el RLO por medio de una O lógica.

Figura N° 16: Descripción del Contacto Normalmente Cerrado

| --- / --- Contacto normalmente cerrado | | | |
|--|----------------------|------------------------|--------------------|
| Símbolo | | | |
| <Operando> | | | |
| --- / --- | | | |
| Parámetro | Tipo de datos | Área de memoria | Descripción |
| <Operando> | BOOL | E, A, M, L, D, T, Z | Bit consultado |

Erickson K.T. "Programable Logic Controller"

Programación de Contactos de las Salidas

---() (Bobina de relé (salida)) opera como una bobina en un esquema de circuitos. Si la corriente fluye hasta la bobina

(RLO = 1), el bit en el <operando> se pone a "1". Si no fluye corriente hasta la bobina (RLO = 0), el bit en el <operando> se pone a "0". Una bobina de salida sólo puede colocarse dentro de un esquema de contactos en el extremo derecho de un circuito. Como máximo puede haber 16 salidas múltiples (PLC Siemens 300). Se puede crear una salida negada anteponiendo a la bobina de salida la operación ---|NOT|--- (invertir el resultado lógico).

Figura N° 17: Descripción de una Bobina

| | | | |
|-------------------------------|----------------------|------------------------|--------------------|
| ---() Bobina de relé, salida | | | |
| Símbolo | | | |
| <Operando> | | | |
| ---() | | | |
| Parámetro | Tipo de datos | Área de memoria | Descripción |
| <Operando> | BOOL | E, A, M, L, D | Bit asignado |

Erickson K.T. "Programable Logic Controller

Tener en cuenta que podemos programar contactos de las salidas, tanto normales como negadas y el valor de referencia de estos, será el mismo que su bobina. Cuando queramos tener

en un contacto el mismo valor que la bobina, pondremos un contacto abierto. Cuando queramos tener en un contacto el valor contrario al de su bobina, pondremos un contacto negado.

2.2.1.3.6.2 Documentación de programas y edición tabla de símbolos

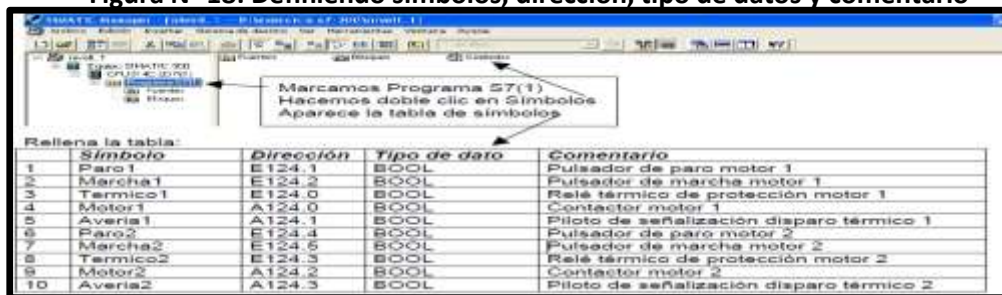
Realizaremos la documentación de un programa y editaremos la tabla de símbolos.

Documentación de un programa:

En cada módulo podemos editar:

- Título del bloque.
- Comentario del bloque.
- Título de los segmentos.
- Comentarios de los segmentos.
- Elementos comunes a todos los bloques: entradas, salidas, etc.

Figura N° 18: Definiendo símbolos, dirección, tipo de datos y comentario



Erickson K.T. "Programable Logic Controller"

Visualización de los comentarios

• Símbolos y direcciones:

Para poder visualizar una opción u otra, estando dentro de un módulo (FC, OB, etc.) Tenemos que activar simultáneamente las teclas CTRL + Q, o *Ver-Mostrar-Representación simbólica*

• Información del símbolo:

Sirve para poder ver debajo de cada segmento la información de la dirección y el comentario de todos los elementos de este segmento.

Ver – Mostrar - Información del símbolo

• Comentario de segmento o de bloque:

Sirve para visualizar los comentarios que hemos puesto en cada segmento o como cabecera de bloque.

2.2.1.3.7 FUNCIÓN TEMPORIZADORES EN EL PLC

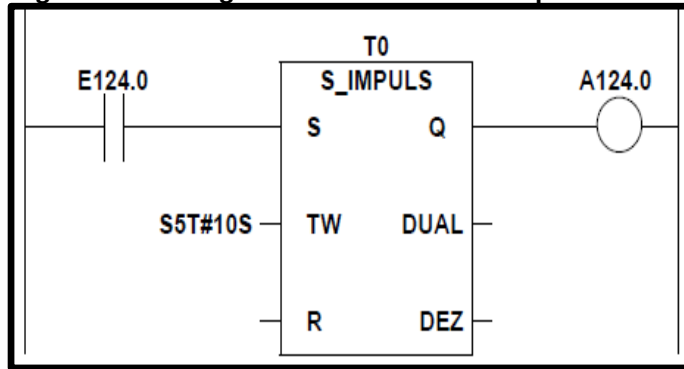
2.2.1.3.7.1 Temporizador SI (De impulso prolongado)

En la CPU 314C-2DP tenemos un total de 256 temporizadores. Por defecto todos son sin memoria. Se pueden configurar con memoria del T0 al T7. Para configurarlos con memoria, se ha de proceder igual que con la configuración de marcas remanentes.

Los temporizadores son regresivos. Van desde el valor de preselección hasta 0. El margen de tiempo es de 10 ms a 9990 s (2h, 46m, 30s).

Si al colocar el tiempo, el valor supera la unidad anterior, realiza la conversión automáticamente. Por ejemplo: S5T# 90s se convierte en S5T# 1m 30s.

Figura N° 19: Programación Básica del Temporizador



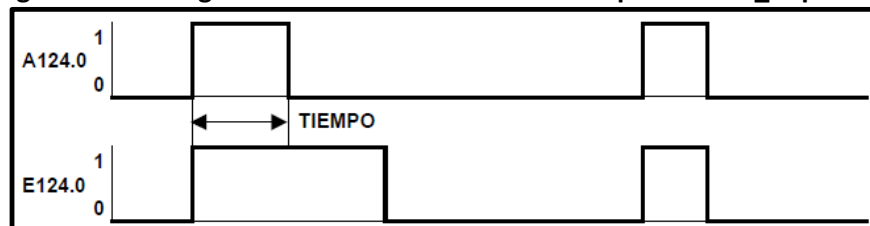
Erickson K.T. "Programable Logic Controller"

Funcionamiento del temporizador

SI:

- Al poner un 1 de manera permanente en la entrada S, se activa la salida conectada a Q.
- La salida se desconecta cuando ha transcurrido el tiempo programado, o si antes se pone a 0 la entrada S.

Figura N° 20: Diagrama de funcionamiento del Temporizador S_Impuls



Erickson K.T. "Programable Logic Controller"

2.2.1.3.7.2 Temporizador S_AVERZ

(Parametrizar y arrancar temporizador como retardo a la desconexión)

Arranca el temporizador indicado cuando hay un flanco decreciente en la entrada de arranque. Para arrancar un temporizador tiene que producirse necesariamente un cambio de señal.

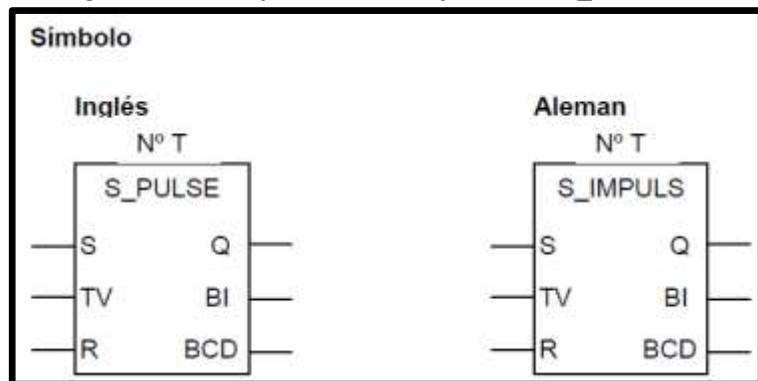
El estado de señal en la salida Q será "1" si el estado de señal en la entrada S es "1", y también mientras el temporizador esté en marcha. El temporizador se para si el estado de señal en la entrada S cambia de "0" a "1" mientras el temporizador está en marcha.

El temporizador sólo vuelve a arrancar si el estado de señal en la entrada S vuelve a cambiar de "1" a "0".

El temporizador se pone a 0 si la entrada de desactivación R se pone a "1" mientras el temporizador está en marcha.

El valor de temporización actual queda depositado en las salidas BI/DUA

Figura N° 21: Esquema del Temporizador S_AVERZ



Erickson K.T. "Programable Logic Controller"

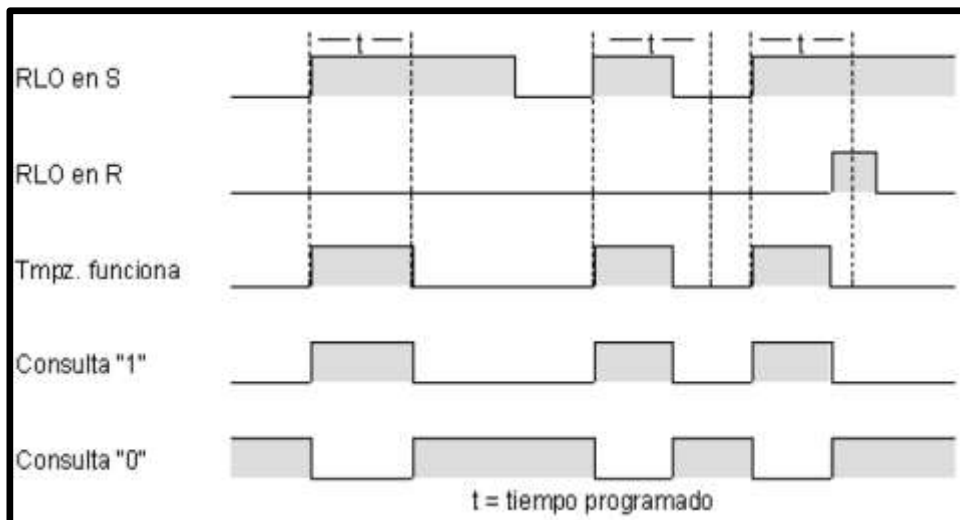
El valor de temporización en la salida BI/DUAL está en código binario, el valor en la salida BCD/DEZ está en formato decimal codificado en binario. El valor de temporización actual equivale al valor inicial de TV/TW menos el valor de temporización que ha transcurrido desde el arranque del temporizador.

Figura N° 22: Descripción de las entradas y salidas del S_AVERZ

| Parámetro Inglés N.º de T | Parámetro Aleman N.º de T | Tipo de datos TIMER | Área de memoria T | Descripción |
|------------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------|--|
| S | S | BOOL | E, A, M, L, D | Entrada de arranque |
| TV | TW | S5TIME | E, A, M, L, D | Valor de temporización predeterminado |
| R | R | BOOL | E, A, M, L, D | Entrada de desactivación |
| BI | DUAL | WORD | E, A, M, L, D | Valor de temporización actual, codificado en binario |
| BCD | DEZ | WORD | E, A, M, L, D | Tiempo restante, formato BCD |
| Q | Q | BOOL | E, A, M, L, D | Estado del temporizador |

Erickson K.T. "Programable Logic Controller

Figura N° 23: Diagrama de tiempo del Temporizador S_AVERZ



Erickson K.T. "Programable Logic Controller

2.2.2 PROCESO DE ULTRAFILTRACION

2.2.2.1 Definición

La ultrafiltración es un mecanismo de concentración, purificación y separación de partículas finas, microorganismos y gotas de emulsión, a través de membranas semipermeables. En otras palabras es la separación de sustancias en una solución por medio de su filtración, donde la separación se realiza a partir de la presión que ejerce la solución sobre el filtro.

Una de las industrias con mayor utilización de este proceso, es la industria Alimenticia, debido a las exigencias en la seguridad y calidad de los productos, la competitividad y la búsqueda de procesos verdes para el mejoramiento del medio ambiente. Este es un proceso con muchas aplicaciones industriales, y faltan algunas más por explotar debido a la poca investigación en el campo de su control.

2.2.2.2 Las Membranas

Una membrana se concibe como una fase semipermeable que restringe el paso de determinadas especies o sustancias. Esto es, esencialmente, una barrera selectiva interpuesta entre la corriente alimentada y la corriente producto de esta interposición. De este modo es posible enriquecer o empobrecer una corriente en uno o varios compuestos. La densidad de flujo de estas sustancias a través de la membrana se debe a la acción de diferentes fuerzas impulsoras, siendo las más importantes los gradientes de presión, concentración o potencial eléctrico a ambos lados de la membrana.

La American Water Works Association (AWWA) Research Foundation, definen proceso de membrana como una operación unitaria de separación donde el elemento separador es una membrana semipermeable, y donde el

proceso de separación tiene lugar debido a la existencia de una fuerza impulsora.

Los procesos de membrana se pueden clasificar, atendiendo a la fuerza impulsora, tal y como se muestra en la Tabla N° 02.

Tabla N° 02: Clasificación de los procesos de membrana

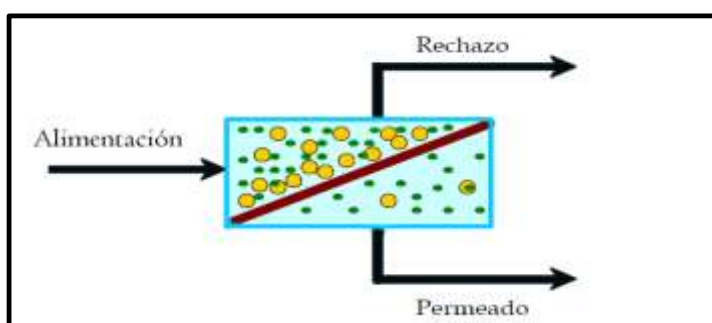
| Proceso | Fuerza Impulsora |
|------------------------|-----------------------------------|
| Ósmosis inversa (OI) | Diferencia de presión |
| Nanofiltración (NF) | idem. |
| Ultrafiltración (UF) | idem. |
| Microfiltración (MF) | idem. |
| Diálisis (D) | Diferencia de concentración |
| Electrodiálisis (ED) | Diferencia de potencial eléctrico |
| Permeado de gases (PG) | Diferencia de presión |
| Pervaporación (PV) | Diferencia de presión parcial |

La American Water Works Association (AWWA) Research Foundation

En general, los flujos participantes en el proceso de separación, ya sean de entrada o salida, pueden ser tanto líquidos como gases, o combinación de éstos, siendo la membrana capaz de transportar de forma preferencial, a través de ella, uno o más componentes de la corriente alimentada, generando el permeado de la operación. Esta selectividad mostrada es consecuencia de diferencias, o similitudes, en las propiedades físicas y/o químicas entre la membrana y las especies a separar.

Aquellos componentes que quedan sin posibilidades de atravesar esta barrera generan la corriente llamada concentrada. De esta manera, tanto la corriente de permeado como la de concentrado estarán enriquecidas en uno o más especies; permitiendo, entonces, definir a la membrana como “una región de discontinuidad interpuesta entre dos fases”. Tomando en cuenta este razonamiento, una membrana puede ser gaseosa, líquida, sólida o combinación de estas. En la Figura N° 21 se muestra el esquema básico un proceso de membrana.

Figura N° 24: Esquema de un Proceso básico de Membrana



La American Water Works Association (AWWA) Research Foundation

Hasta la fecha, el grupo de procesos de membrana más estudiados son aquellos en los que la fuerza impulsora es el gradiente de presión, y en él se incluyen la microfiltración (MF), la ultrafiltración (UF), la nanofiltración (NF) y la ósmosis inversa (OI).

Tabla N° 03: Rangos de operación de los procesos de Membrana

| Proceso | Presión (Bar) | Flujo (L/m^2h) |
|-----------------|---------------|--------------------|
| Ósmosis inversa | 0.1 - 5 | 100 - 1000 |
| Nanofiltración | 1 - 10 | 10 - 200 |
| Ultrafiltración | 5 - 20 | 10 - 100 |
| Microfiltración | 10 - 100 | 5 - 100 |

La American Water Works Association (AWWA) Research Foundation

En la Tabla N° 03, se muestran los rangos de operación de los procesos de membrana por gradiente de presión. Se observa que mientras la microfiltración ofrece altos flujos de permeado a bajas presiones (0.1 a 5 bar), la osmosis inversa requiere presiones entre 10 y 100 bar para dar flujos de permeado del orden de 100 L/m²h. En filtración con membranas, el término flujo (“flux” en inglés) se refiere al flujo volumétrico de permeado por unidad de superficie de membrana.

Las diferentes geometrías de las membranas (planas, tubulares, de arrollamiento en espiral, de fibras huecas, etc.) así como la naturaleza de las mismas (orgánica e inorgánica) y sus principales aplicaciones se encuentran detalladas en libros especializados.

2.2.2.3 Ventajas e inconvenientes

- Las ventajas de los procesos de separación por membrana frente a otros procesos de separación son las siguientes:
- Posibilidad de operar bajo condiciones suaves. Por ejemplo, mediante los procesos de membrana es posible separar compuestos sin necesidad de trabajar a altas temperaturas.

- Posibilidad de llevar a cabo el proceso de separación en continuo.
- Adaptabilidad a la capacidad de producción, ya que se trata de equipos modulares.
- Se pueden utilizar en aplicaciones muy diversas, gracias a que las propiedades de las membranas son variables.
- No se necesita incorporar ningún producto químico ajeno a la disolución o suspensión a tratar.
- Los equipos suelen ser relativamente pequeños.
- Bajo consumo energético. Normalmente el gasto energético principal es el bombeo de sustancias.
- Facilidad de instalación, desinstalación y operación.
- Cambio de escala sencillo debido a la utilización de configuraciones modulares.

Pese a las numerosas ventajas de los procesos de membrana, también podemos encontrar inconvenientes como los siguientes:

✚ Problemas de ensuciamiento y degradación de las membranas, lo que afecta a sus propiedades físicas, químicas y mecánicas, haciendo que la membrana pierda eficacia a lo largo de la operación y reduciendo considerablemente su vida útil.

✚ Gestión de las corrientes concentradas, cuando no son el objeto de la separación, así como las de limpieza en determinadas situaciones.

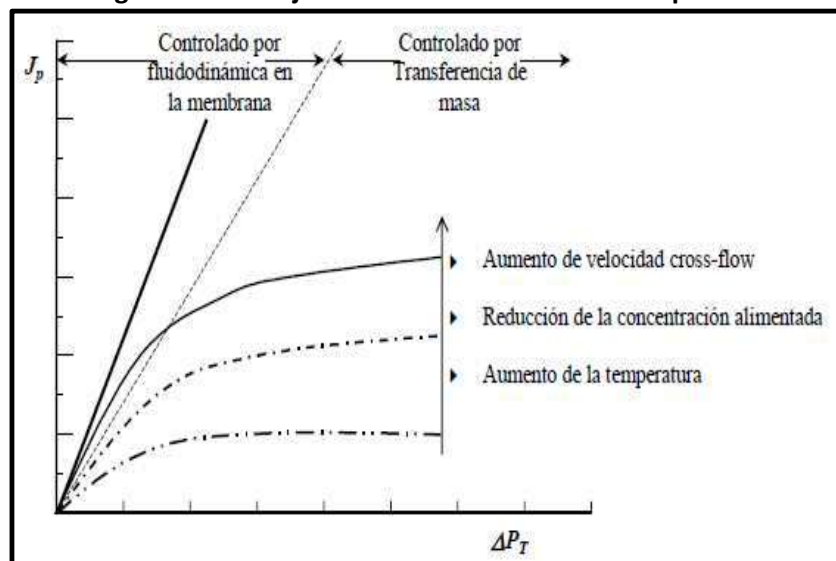
2.2.2.4 Ensuciamiento de membranas de Ultrafiltración

Uno de los mayores obstáculos que dificulta la aplicación de los procesos de ultrafiltración es el fenómeno de descenso de la densidad de flujo de permeado con el tiempo. Este fenómeno se denomina comúnmente ensuciamiento, como traducción directa del término “fouling”, haciendo referencia a una serie de mecanismos que representan una resistencia adicional al paso de líquido a través de la membrana.

El ensuciamiento, al disminuir la velocidad de producción de permeado, incrementa la complejidad de las operaciones con membranas, dado que el sistema ha de ser detenido frecuentemente para someterlo a operaciones de limpieza que restablezcan la densidad de flujo de permeado. El elevado coste de estas operaciones hace que la ultrafiltración sea, algunas veces, menos viable económicamente para muchos de los problemas de separación.

Es claro que la presión solo puede aumentarse hasta un cierto valor debido a consideraciones de resistencia mecánica del equipo y también por consideraciones de transporte de materia en el líquido debido a que un mayor flujo de permeado aumenta la compactación de materiales depositados en la membrana, induciendo su gelificación.

Figura N° 25: Flujo de volumen vs Gradiente de presión



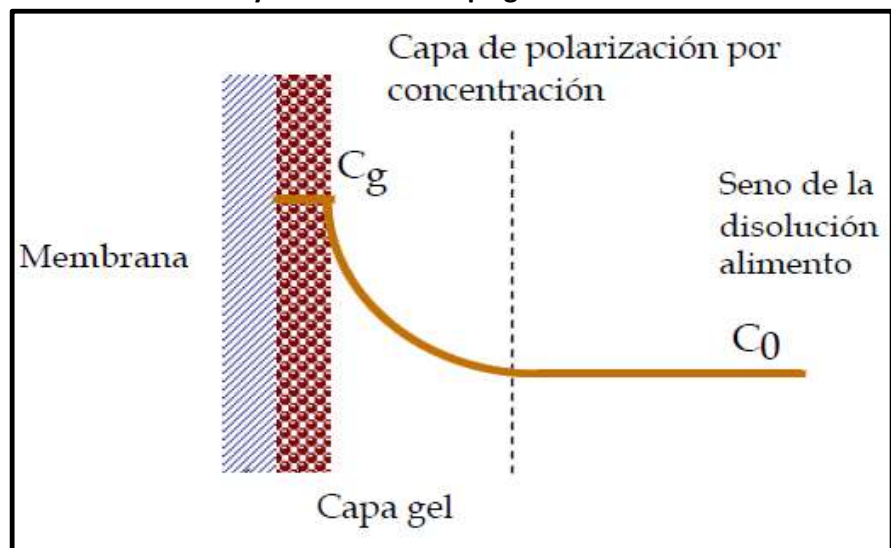
La American Water Works Association (AWWA) Research Foundation

El ensuciamiento de las membranas de ultrafiltración se debe a varios mecanismos que pueden actuar juntos o por separado en las distintas etapas del proceso de ultrafiltración. Estos mecanismos son:

Taponamiento de los poros de la membrana, tanto a nivel superficial como en el interior de los mismos, debido a que el tamaño de las moléculas de soluto es similar al de los poros de la membrana.

Formación de capa gel, debida al establecimiento de una red tridimensional entre las macromoléculas de soluto y el disolvente. La concentración en la capa gel es constante para unas determinadas condiciones experimentales; pero varia con la velocidad tangencial y la concentración de la alimentación para un mismo soluto adsorción de moléculas sobre la superficie de membrana, debido a afinidades químicas entre la membrana y el soluto. La adsorción puede producirse también en el interior de los poros, reduciendo así el diámetro efectivo de los mismos.

Figura N° 26: Representación de los procesos de polarización por concentración y formación de capa gel



La American Water Works Association (AWWA) Research Foundation

Formación de depósitos sobre la superficie de la membrana o en el interior de la misma por precipitación de las moléculas de soluto o sedimentación de materia en suspensión.

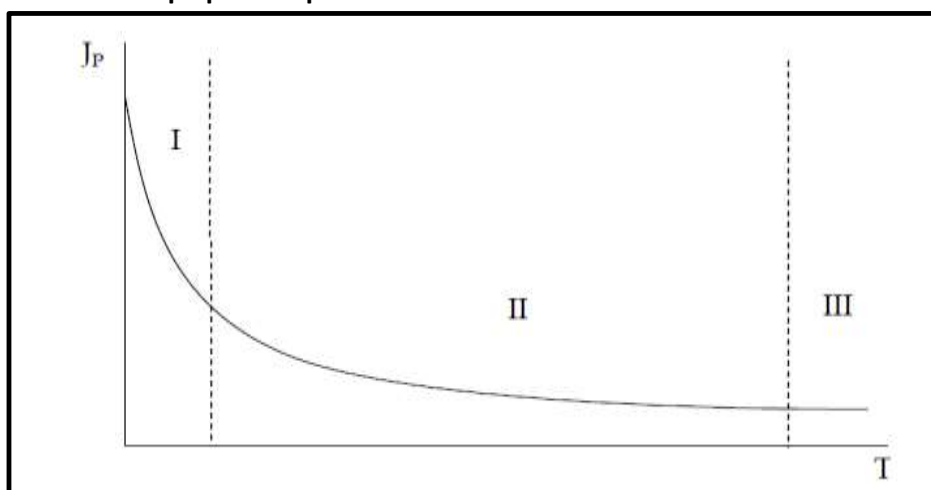
De todos estos mecanismos, los dos primeros, taponamiento de los poros de la membrana y formación de capa gel, son los mecanismos esenciales que explican el ensuciamiento de las membranas de ultrafiltración. Los dos restantes pueden afectar a uno o ambos de los mecanismos esenciales.

Otro fenómeno que también contribuye al descenso de la densidad de flujo de permeado con el tiempo es la polarización por concentración (ver representación esquemática en la Figura N° 22). Dicho fenómeno consiste en el incremento de la concentración del soluto que no es capaz de atravesar la membrana en las cercanías de la superficie de la misma. Este incremento de la concentración de soluto se debe al transporte convectivo del mismo causado por la presión transmembranal.

La polarización por concentración no se considera como un mecanismo de ensuciamiento, ya que es un fenómeno intrínseco al proceso de concentración y no afecta a las propiedades de la membrana. El ensuciamiento requiere limpieza para su eliminación, mientras que la polarización por concentración desaparece al parar el proceso.

La Figura N° 23 se muestra una curva típica de la evolución de la densidad de flujo de permeado con el tiempo para un proceso de ultrafiltración. La zona I se corresponde con un rápido descenso inicial de la densidad de flujo de permeado. La zona II representa un descenso gradual que se prolonga durante un tiempo significativamente más largo que la zona I. Finalmente la zona III corresponde a la densidad de flujo de permeado estacionaria.

Figura N° 27: curva típica de la evolución de la densidad de flujo de permeado con el tiempo para un proceso de ultrafiltración



La American Water Works Association (AWWA) Research Foundation

La zona II existe en todos los procesos de ensuciamiento de membranas de ultrafiltración; mientras que las zonas I y III puede que en ocasiones no se observen debido a varias razones. Por ejemplo, si la PTM es lo suficientemente elevada y la concentración del alimento es lo suficientemente baja, la densidad de flujo de

permeado estacionaria solo puede alcanzarse después de un largo periodo de operación.

El rápido descenso inicial de la densidad de flujo de permeado se debe al taponamiento repentino de los poros de la membrana. Al principio de la ultrafiltración la densidad de flujo de permeado es máxima porque ningún poro de la membrana está obstruido. La densidad de flujo de permeado comienza a descender cuando los poros de la membrana empiezan a ser taponados por las moléculas de soluto de la alimentación.

2.3 MARCO CONCEPTUAL

- **Filtración por cartuchos:** consiste en hacer circular, mediante presión, un fluido por el interior de un porta cartuchos en el que se encuentran alojados los cartuchos filtrantes. El fluido atraviesa el cartucho filtrante dejando en éste retenidos todos los contaminantes seleccionados.
- **Floculación:** Se logra mediante la Floculación, operación consistente en la introducción en el agua de un producto químico denominado "floculante", capaz de agrupar partículas muy pequeñas (coloidales) de materiales que enturbian el agua, introducidas por el aire y/o los bañistas, en partículas de mayor tamaño y peso, las cuales pueden ser retenidas por los filtros con facilidad, o bien decantarse en el fondo de la piscina, facilitándose con ello su posterior eliminación.

- **Membranas:** Las membranas son utilizadas como elementos separadores, y abarca desde partículas sólidas hasta solutos disueltos en forma líquida.
- **Membranas de microfiltración:** Las membranas de microfiltración se fabrican con diseños diferentes. Las membranas enrolladas en espiral están compuestas con varias láminas de membrana plana alrededor de una tubería central que suministra el agua que recibirá el tratamiento.
- **Membranas de Osmosis Inversa:** La membrana de osmosis inversa es una película de acetato de celulosa parecido al celofán usado para envolver la comida. Estas membranas pueden ser formuladas para dar grados variantes de rechazo de sal. Algunas membranas tienen una habilidad de rechazo de 50 a 98%. La palabra rechazo es usada para describir la repulsión de los iones por la membrana.
- **Membranas de Ultrafiltración:** Las membranas de ultrafiltración se fabrican con diseños diferentes. Las membranas enrolladas en espiral están compuestas con varias láminas de membrana plana alrededor de una tubería central que suministra el agua que recibirá el tratamiento. Las configuraciones de fibra fina hueca utilizan un grupo de miles de tubos huecos que están construidos con material de la membrana. Los ultrafiltros, como los microfiltros usualmente se encuentran en una configuración de fibra hueca.

- **Actuador:** Dispositivo que transforma señales eléctricas en diferente tipo de energía, produciendo un efecto sobre un proceso (normalmente bajo un esquema de control).
- **Analógica:** Representación continua de variables físicas, como la tensión o la intensidad. Algunas computadoras y una gran cantidad de equipos de prueba y de medición usan circuitos analógicos.
- **Autómata:** Mecanismo artificial que imita comportamientos de la vida real (del griego automatos = actuar por sí mismo).
- **Automatización industrial:** Aplicación de sistemas mecánicos, eléctricos o electrónicos, dentro de un sistema autogobernado, a tareas normalmente realizadas por un ser humano o que no pueden ser realizadas por él. Ejecución automática de tareas industriales, administrativas o científicas haciendo más ágil y efectivo el trabajo y ayudando al ser humano
- **Base de datos:** Colección de datos organizada de tal modo que el computador pueda acceder rápidamente a ella. Una base de datos relacional es aquella en la que las conexiones entre los distintos elementos que forman la base de datos están almacenadas explícitamente
- **Bus de campo:** Arquitectura de control que usa comunicación digital, serial, multidrop y de doble vía entre dispositivos de campo inteligentes y sistemas de control y monitoreo.
- **Codificador:** Dispositivo de realimentación que convierte un movimiento mecánico en señales eléctricas, las cuales indican la posición de un actuador. Se tiene codificadores incrementales y

absolutos, dependiendo de si sus salidas indican cambios incrementales o absolutos de la posición

- **Control:** Selección de las entradas de un sistema de manera que los estados o salidas cambien de acuerdo con una manera deseada.
- **Control lógico:** Control en el cual, de acuerdo con unos eventos que se dan en una secuencia determinada, se toma una acción de un número limitado de posibilidades (por lo general, de encendido o apagado: on-off).
- **Diagrama de bloques:** Método gráfico de representación de un sistema dinámico, el cual utiliza bloques para representar un subsistema y flechas para indicar la dirección del flujo de señales
- **Entorno:** Conjunto de todos los factores externos o fuerzas que están más allá de la influencia de un sistema, pero que no obstante afectan las consecuencias de sus acciones.
- **Entrada:** Cualquier evento externo (dato, conocimiento u opinión) que se provee a un sistema para modificar el sistema de cualquier manera.
- **FIFO:** Acrónimo de “First In First Out” (Primero en entrar primero en salir). Representa el orden en el que se procesa la información en un “buffer” o cola.
- **Firmware:** Los programas que funcionan dentro del ordenador relacionados íntimamente con el hardware. El firmware puede alterarse, hasta cierto punto, por medio del software

- **Información:** Conjunto de DATOS organizados y correlacionados que se generan, almacenan, analizan, interpretan o transmiten para formar un mensaje que cambia el estado de conocimiento del sistema que recibe el mensaje.
- **Interfaz:** “Interface”. Conexión mecánica o eléctrica que permite el intercambio de información entre dos dispositivos o sistemas. Habitualmente se refiere al software y hardware necesarios para unir dos elementos de proceso en un sistema.
- **Lógica:** Del griego clásico “logos” (la razón, principio que gobierna al universo). Conjunto de reglas usadas para gestionar inferencias creíbles
- **Máquina:** Artificio o conjunto de aparatos combinados para recibir cierta forma de energía, transformarla y restituirla en otra más adecuada o para producir un efecto determinado
- **Memoria:** Área de almacenamiento temporal para información y aplicaciones. Dispositivo de un ordenador que almacena datos y programas. Mecanismo o mecanismos utilizados por el ordenador para guardar la información y los programas que se procesan
- **Optimización:** Actividad que intenta la búsqueda de la mejor (óptima) solución a un problema
- **Periférico:** Dispositivo externo o interno que se conecta al ordenador
- **PLC:** “Programmable Logic Controller”. Controlador Lógico Programable. Computador digital apto para ambientes industriales que se utiliza para la automatización de los procesos

- **Procesamiento de datos:** Técnicas eléctricas o mecánicas usadas para manipular datos para el empleo humano o de máquinas.
- **PWM:** “Pulse-width modulation” (modulación por ancho de pulso). Método de transmisión de una señal de forma binaria usado amplificadores y controladores de voltaje y corriente, logrando mayor eficiencia que una transmisión continua.
- **Regulador:** Sistema que determina (selecciona) y hace cumplir (mantiene) los parámetros operativos de otro sistema. El regulador puede ser o no un subsistema del sistema que está siendo regulado.

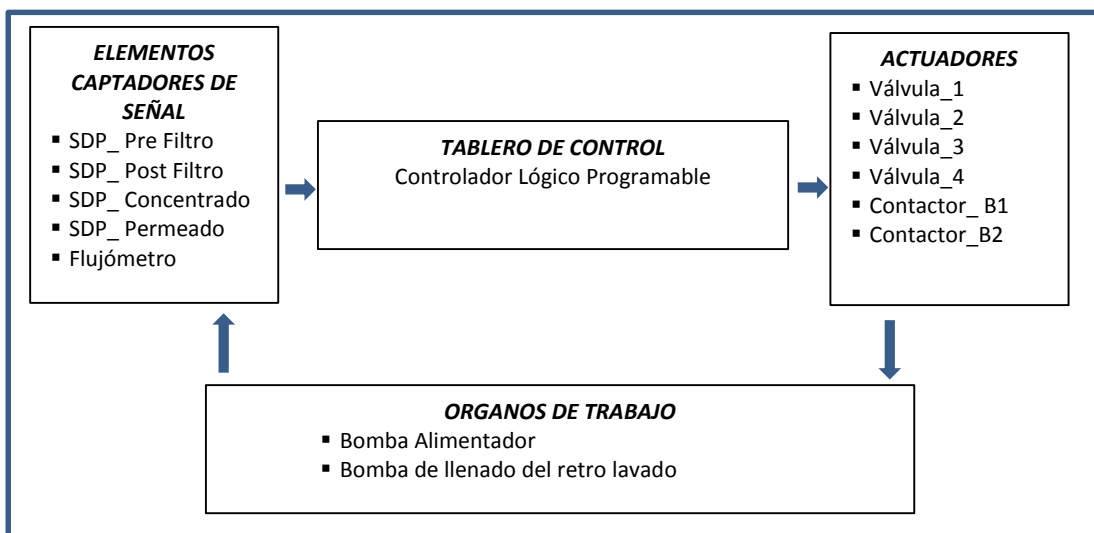
CAPÍTULO III

DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

3.1 ANÁLISIS DEL PROCESO DE ULTRAFILTRACIÓN A AUTOMATIZAR

Tomando como referencia el modelo de un sistema de control basado en lógica programada, el sistema propuesto correspondiente a la automatización del proceso de ultrafiltración automatizado es el siguiente:

Figura N° 28: Modelo del sistema basado en la Lógica Programada



Los elementos captadores de señal en su mayoría serán sensores de presión los cuales nos garantizará lo siguiente:

- DSP_ Pre Filtro
- SDP_ Post Filtro
- SDP_ Concentrado
- SDP_ Permeado
- Flujómetro

El controlador Lógico Programable establece la relación entre los elementos captadores de señal y los actuadores. Esta relación estará definida en un programa sobre el PLC Siemens 314C-2DP, para lo cual utilizaremos una dirección de entrada analógica (PEW752) para el SDP_ Post Filtro y una dirección de salida analógica (PAW752) para el variador de frecuencia, este último permitirá controlar los RPM de la Bomba alimentadora, garantizando un óptimo proceso de ultrafiltración.

Las cinco válvulas serán de apertura y cierre (llamadas también válvulas ON /OFF), las cuales se accionaran bajo una secuencia temporizada, para lo cual utilizaremos la función temporizador con retardo a la conexión del PLC.

Las bombas de Alimentación y de Retro lavado garantizan la presión óptima para los procesos de Pre – Filtrado y de limpieza de membranas respectivamente. Cabe señalar que las membranas son componentes del proceso de ultrafiltración.

3.2 DISEÑO DEL AUTOMATISMO BASADO EN EL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

El diseño del automatismo está basado en la secuencia de accionamiento de las válvulas, el cual responderá a una secuencia lógica en el programa del PLC. En sentido mi diseño se sustenta en la siguiente descripción del proceso:

PASO 1. (Llenado de agua para retro lavado)

El paso 1 es el llenado de agua para el retro lavado donde la bomba 1 – S1 – S2 – S3 y el flujometro estarán en funcionamiento.

Las válvulas estarán en esta disposición

| | |
|----|---------|
| V1 | abierto |
| V2 | Abierto |
| V3 | cerrado |
| v4 | Cerrado |
| V5 | cerrado |

Todo el proceso de llenado dura 60 segundos

PASO 2. (Proceso de Filtrar los relaves)

En este proceso se ultifiltrará los relaves mineros donde la Bomba 1 - S1 – S2 – S4 estarán en funcionamiento.

Las válvulas estarán en ésta disposición

| | |
|----|---------|
| V1 | abierto |
| V2 | cerrado |
| V3 | cerrado |
| v4 | Cerrado |
| V5 | abierto |

El proceso de ultrafiltración durará 20 min.

PASO 3. (Proceso de Retro lavado)

En este proceso el flujo será inverso utilizando el agua almacenada para el retro lavado donde la bomba 2 – S3 estarán en funcionamiento.

Las válvulas estarán en esta disposición

| | |
|----|---------|
| V1 | cerrado |
| V2 | cerrado |
| V3 | abierto |
| v4 | abierto |
| V5 | cerrado |

Este proceso de retro lavado durará 60 segundos y sirve para permeabilizar las membranas ya que después de 20 min de ultrafiltrar los relaves presentan obstrucciones por lo que la presión aumenta en (S1 – S2)

El PLC recibirá la señal de las 5 válvulas y del sensor de presión PRE FILTRO (S3), este sensor me controlará los RPM de la BOMBA 1 mediante un variador de frecuencia (VFD).

Los parámetros de presión son

$P_{\min} = 5 \text{ Bar}$

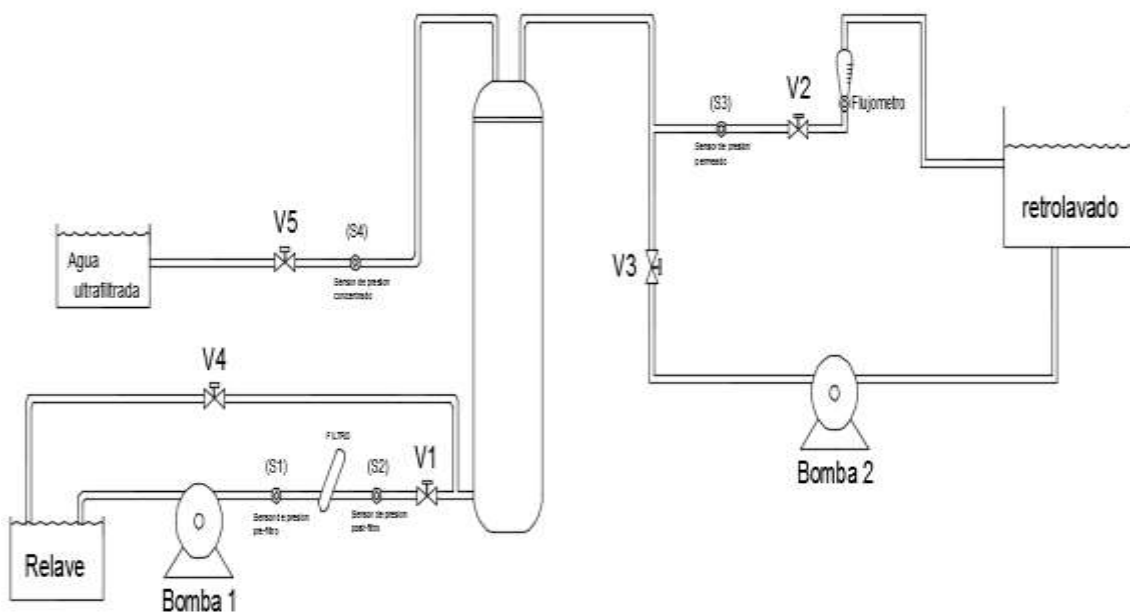
$P_{\text{trabajo}} = 12.5 \text{ Bar}$

$P_{\max} = 20 \text{ Bar}$

Si esta supera a P_{\max} o está por debajo de P_{\min} se apaga automáticamente el sistema.

A continuación se adjunta el diseño del sistema de ultrafiltración considerando la ubicación de los sensores actuadores y órganos de trabajo

Figura N° 29: Sistema de ultrafiltración considerando sensores, Actuadores y órganos de trabajo

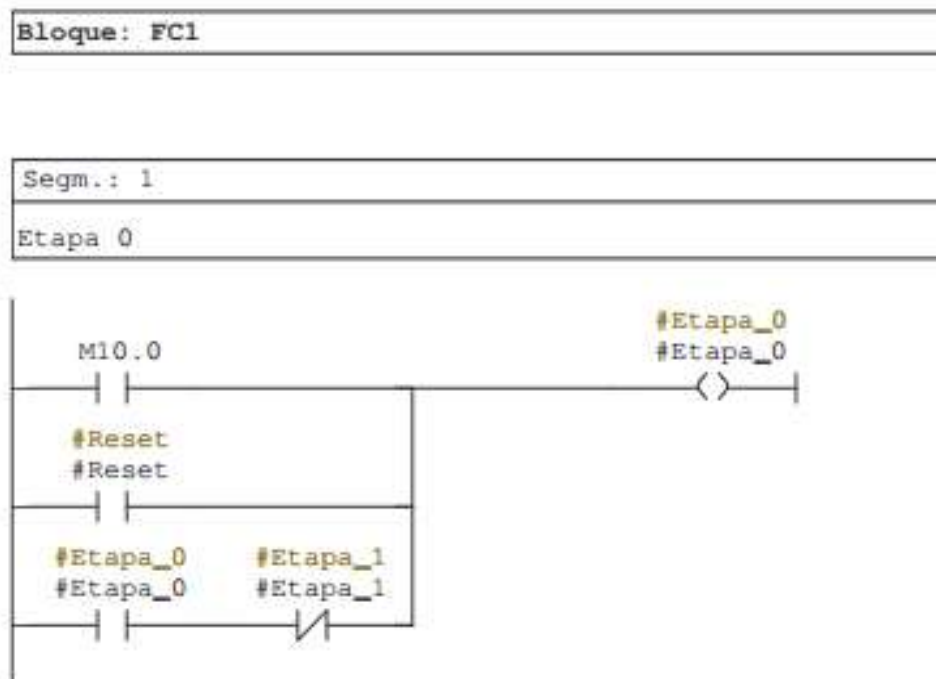


3.3 REVISIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS

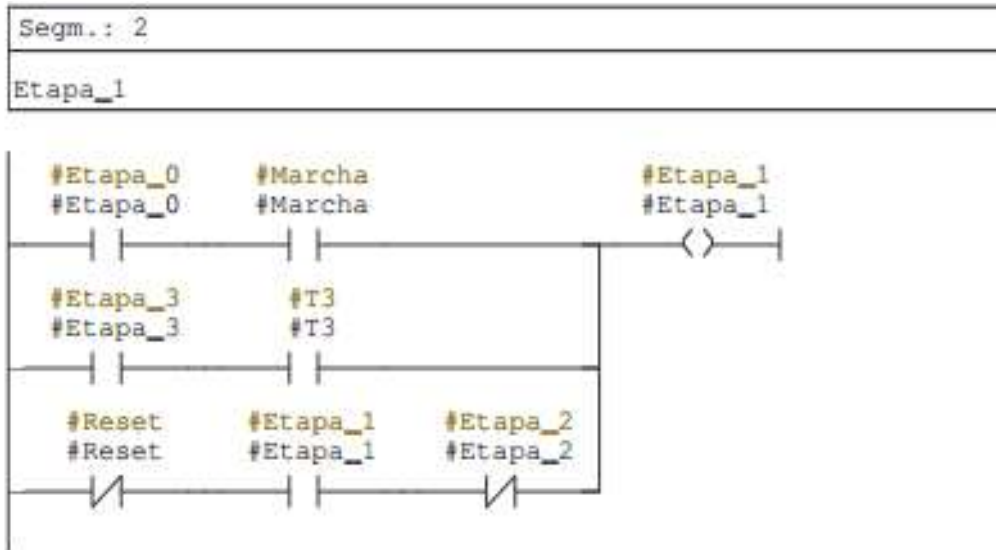
Como parte de lo obtenido como resultado, se muestra a continuación la programación del PLC y su descripción:

FC1

Segmento 1: las condiciones necesarias para poder antes de iniciar con la etapa 1 (llenado del tanque para el retro lavado) donde tenemos a la memoria M10.0 (para hacer posible el ciclo) y # reset



Segmento 2: La lógica de la etapa 1 y etapa 3, ya que ambas son temporizados a 60seg. que una vez culminado nuevamente da inicio al conteo de la etapa 1 para así continuar con el ciclo .



Segmento 3: es el comienzo del conteo de los 60 segundos de la etapa 1 (llenado del tanque para el retro lavado) y termina dando inicio a la etapa 2.

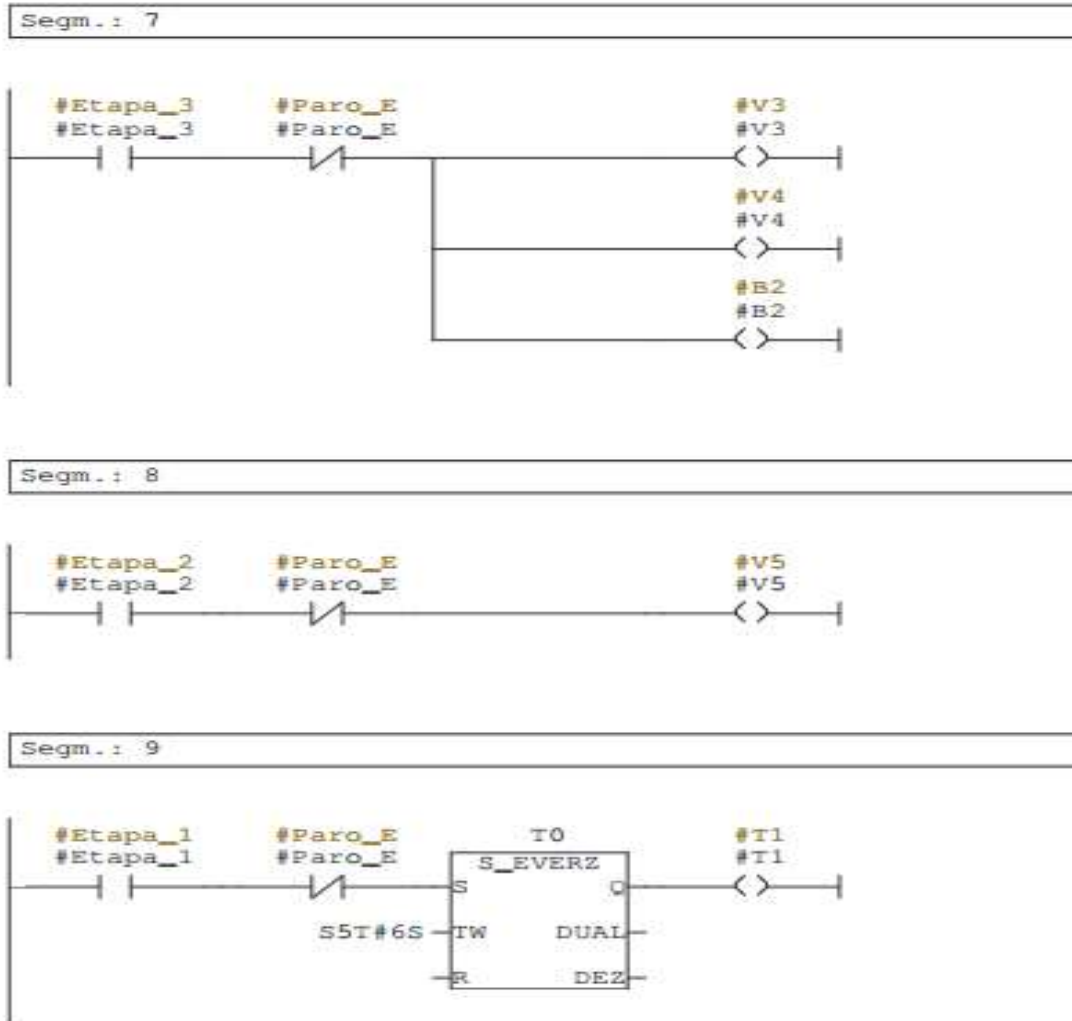
Segmento 4: es el comienzo del conteo de los 20 minutos de la etapa 2 (proceso de ultrafiltrado), y termina dando inicio a la etapa 3.

Seg5: la bomba 1 y la válvula 1 funcionaran exclusivamente en las etapas 1 y etapa 2.

Segmento 7: La válvula 4 y la bomba 2 solamente funcionaran en la etapa 3

Segmento 8: La válvula 5 solamente funcionará en la etapa 3

Segmento 9: El conteo de 60 segundos de la etapa 1

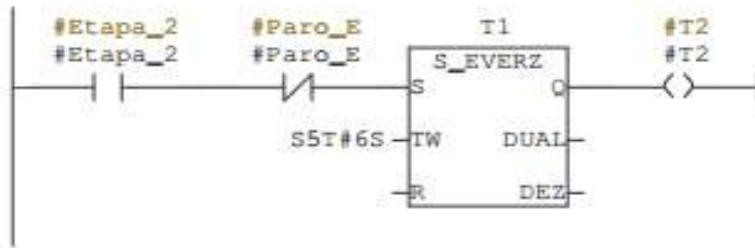


Segmento 10: el conteo de 20 min de la etapa 2

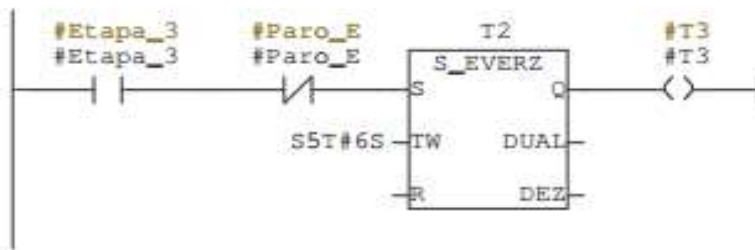
Segmento 11: el conteo de 60seg de la etapa 3

Segmento 12: al momento de dar pare, nuestro sistema va quedar en la etapa donde se le pulso pare, al momento de dar inicio nuevamente comenzara donde se quedo

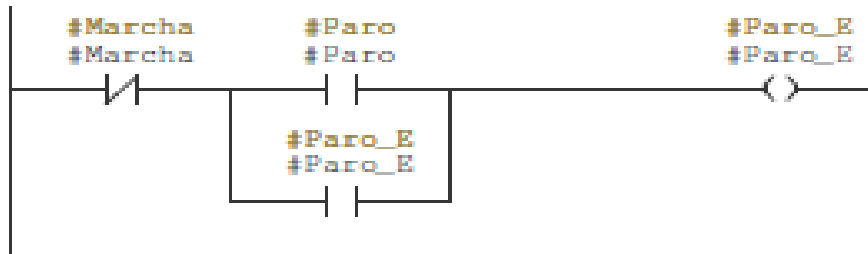
Segm.: 10



Segm.: 11



Segm.: 12



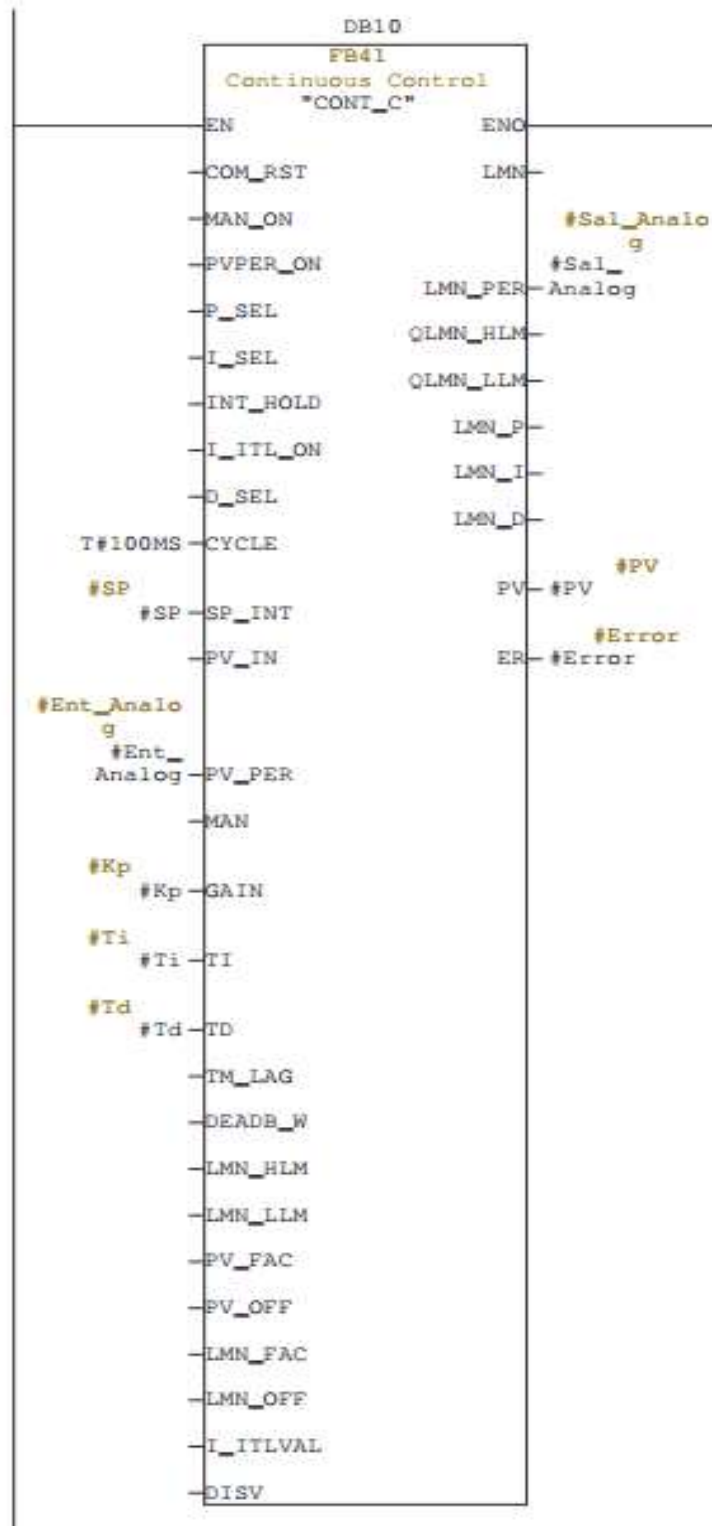
Segmento 13: es la memoria para hacer posible el reseteo del sistema, como requisito para dar inicio a la etapa 0 necesario para comenzar la etapa 1.

Segm.: 13



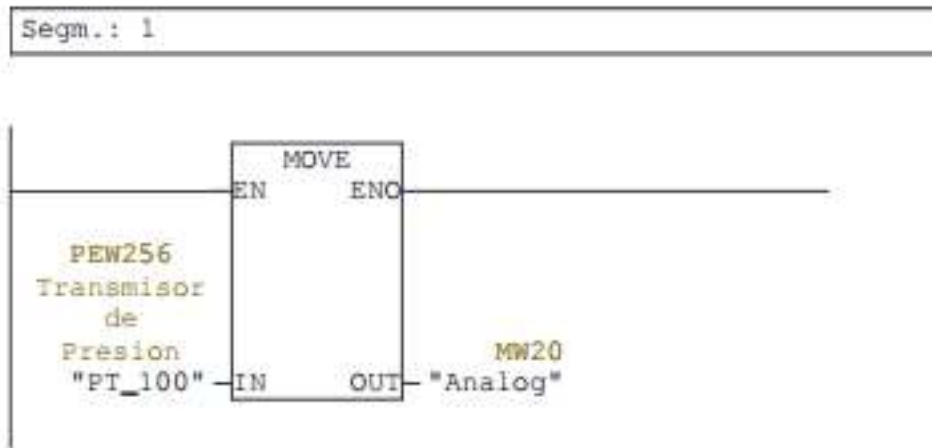
FC2

Segmento 1: nuestros parámetros de entradas analógicas (sensor diferencial de presión), kp, ti y td para tener nuestras salidas analógicas como salidas del sensor, paro variador y error o alarma

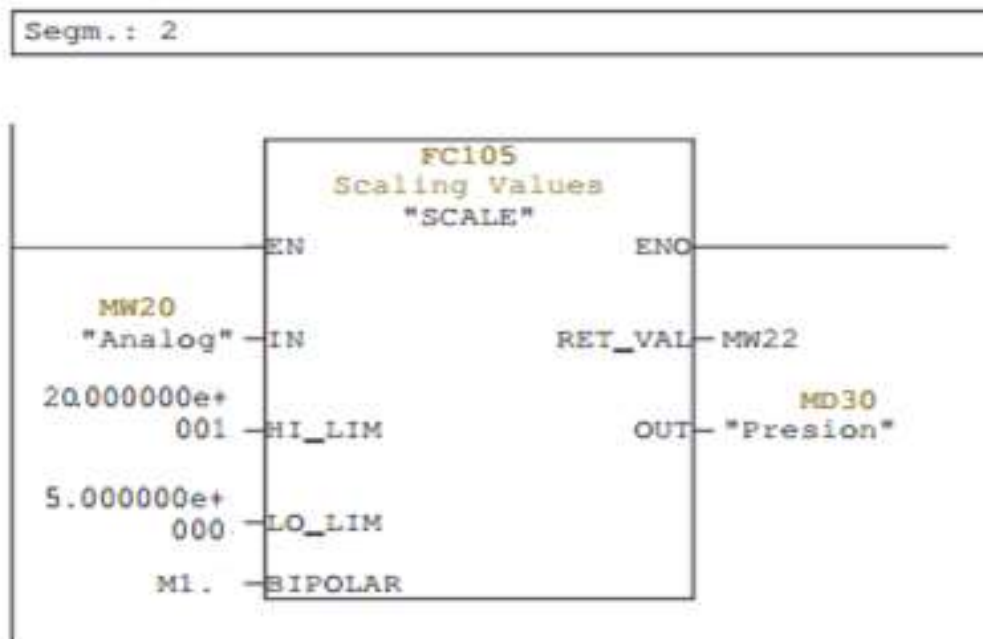


FC3

Segmento 1: bloque analógico de entrada y salida



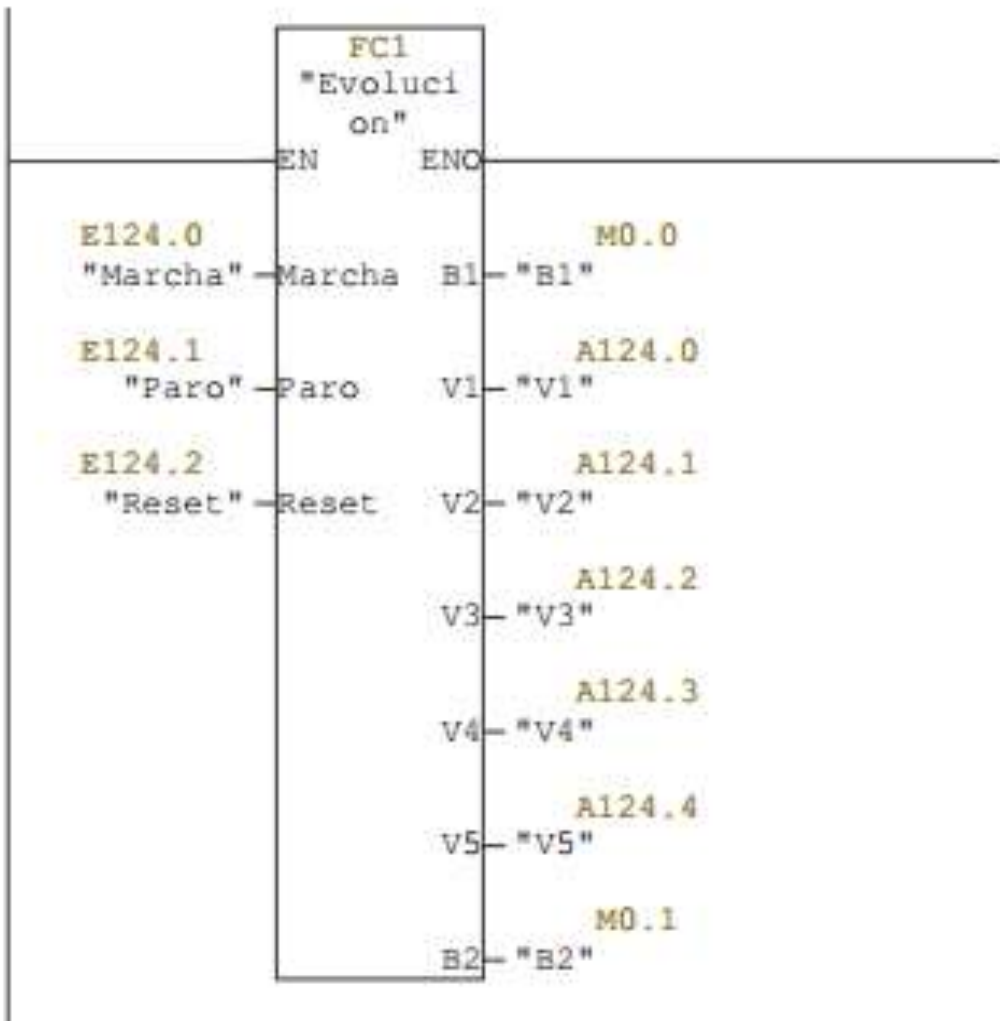
Segmento 2: bloque de entrada de presión máxima y mínima para tener la presión media o de trabajo como salida



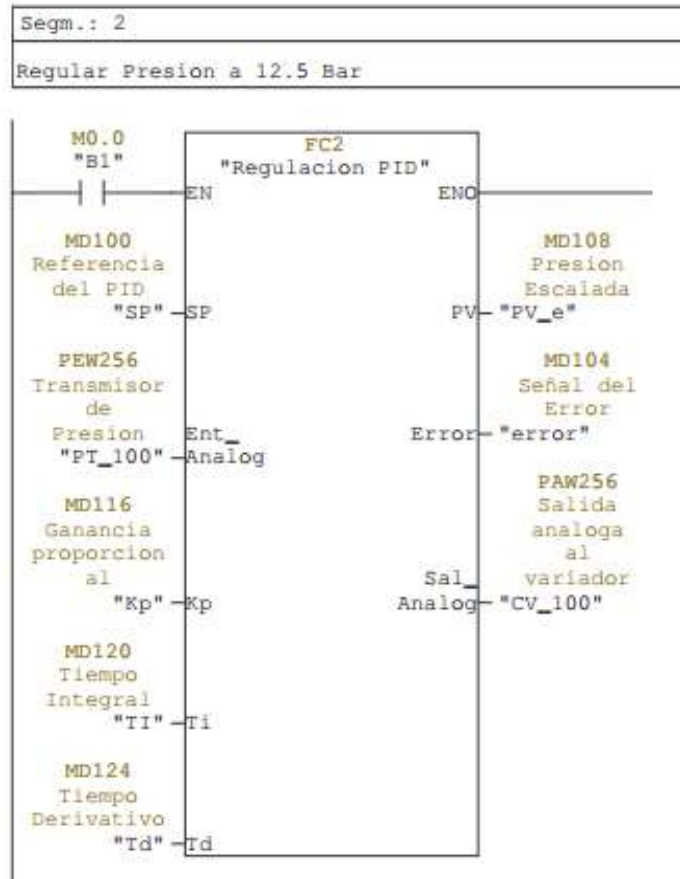
OB1

Segmento 1: tenemos todas nuestras entradas y salidas discretas

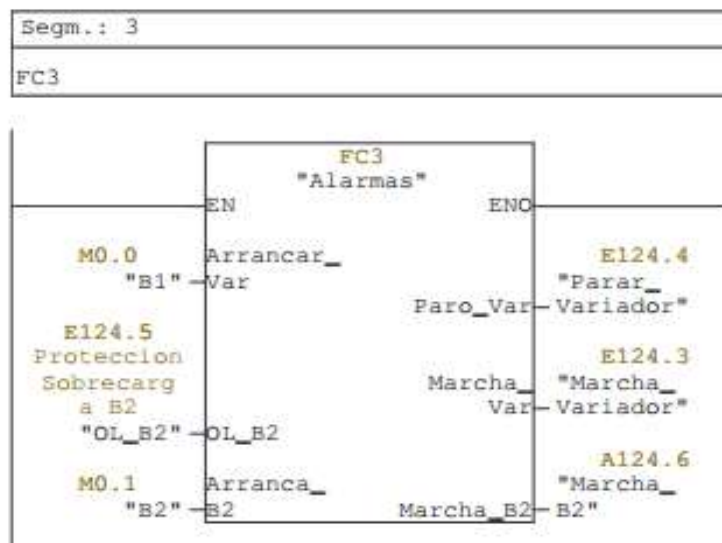
Segm.: 1



Segmento 2: bloque donde se regula la presión a 12.5 bares que vendría a ser nuestra presión de trabajo



Segmento 3: bloque de alarmas



CONCLUSIONES

- Se concluye que es posible controlar el proceso de ultrafiltración como reductor de relaves mineros utilizando un controlador lógico Programable.
- Se concluye que existe una relación entre los elementos captadores de señal y los actuadores del proceso de tal manera que es posible establecer el control del accionamiento de estos últimos a través de un controlador lógico programable.
- Se concluye que es posible diseñar un automatismo basado en el uso de un controlador lógico programable, los elementos captadores de señal y los actuadores eléctricos mediante la simulación del software SIMATIC.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a partir de este proyecto determinar experimentalmente el tiempo de vida de las membranas del ultrafiltrador, con la finalidad de prever a tiempo acciones adecuadas que permitan un óptimo proceso de purificación del agua.
- Se recomienda implementar este proceso en empresas mineras con la finalidad de mejorar el proceso de reutilización de agua.
- Se recomienda automatizar otros procesos mediante la utilización del controlador lógico programable, tales como oxidación avanzada y osmosis inversa.

BIBLIOGRAFÍA

1. **BAUTISTA ROSAS**, Ana Laura. Tesis: “Incrementación de envasado de Agua y propuesta de Automatización de Planta Purificadora”. México. Universidad Tecnológica de Querétaro. 2012.
2. **ROMERO GONZALES**, Jorge Francisco. Tesis: “Control Avanzado en Procesos Industriales de microfiltración u ultrafiltración Tangencial”. Universidad Politécnica de Valencia. 2010.
3. **CARREÑO MARTINEZ**, Yeny Minery. Tesis: “Modelado del Proceso de ultrafiltración en Birreactor de Membranas utilizando Redes neuronales”. España. Universidad Politécnica de Valencia. 2009.
4. **JUDDS**. “Principles and applications off menbrane Bioreactors in water and wastewater treadment”. USA. Elsevier Oxford. 2007.
5. **VILLÉ H.**, “Maquinas Automatizadas para procesos industriales”. México. Editorial: Cengage Learning. 2007
6. **VALLEJO, M.B.** Libro: “Aspectos generales de la Automatización en el sector químico”. Editorial: Mc Graw Hill. 2006.
7. **GARCIA. N.M.** Libro: “Autómata Programable”. Departamento de Ingeniería Sistemas y Automática. Universidad de Elche. 2000

8. **TORRES F.** Libro “Robots y Sistemas Sensores”. Editorial Prentice Hall.
2002
9. **MANDADO. E.** Libro “Autómatas Programables: Entornos y Aplicaciones”. Editorial Thompson Learning. 2005.
10. **MONTELLANO, F.** Libro “Sistemas Servo controlados: Elección y Cálculo de accionamientos, Automática e Instrumentación”. Editorial Marcombo. 2003
11. **Ros, R.** “Monitorización de una red industrial”, Rev. Automática e Instrumentación, Nov 2003.pag. 135-140.
12. **Erickson K.T.** “Programmable Logic Controller” Potentials, IEEE, Volume 15, Feb-Mar 1996.pag:14 – 17
13. La American Water Works Association (AWWA) Research Foundation

ANEXOS

ANEXO 1

FC1 - <offline>

Evolucion

Nombre: Familia:
 Autor: Versión: 0.1
 Versión del bloque: 2
 Hora y fecha Código: 11/08/2016 17:51:18
 Interface: 11/08/2016 17:30:48
 Longitud (bloque / código / datos): 00432 00280 00002

| Nombre | Tipo de datos | Dirección | Comentario |
|---------------|---------------|-----------|------------|
| IN | | 0.0 | |
| Marcha | Bool | 0.0 | |
| Paro | Bool | 0.1 | |
| Reset | Bool | 0.2 | |
| OUT | | 0.0 | |
| B1 | Bool | 2.0 | |
| V1 | Bool | 2.1 | |
| V2 | Bool | 2.2 | |
| V3 | Bool | 2.3 | |
| V4 | Bool | 2.4 | |
| V5 | Bool | 2.5 | |
| B2 | Bool | 2.6 | |
| IN_OUT | | 0.0 | |
| TEMP | | 0.0 | |
| Etapa_0 | Bool | 0.0 | |
| Etapa_1 | Bool | 0.1 | |
| Etapa_2 | Bool | 0.2 | |
| Etapa_3 | Bool | 0.3 | |
| T1 | Bool | 0.4 | |
| T2 | Bool | 0.5 | |
| Paro_f | Bool | 0.6 | |
| T3 | Bool | 0.7 | |
| RETURN | | 0.0 | |
| RET_VAL | | 2.0 | |

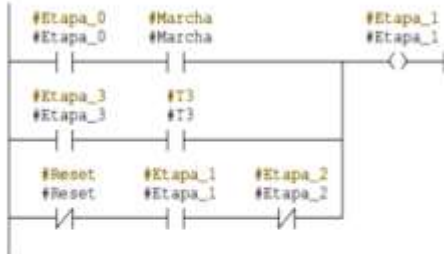
Bloque: FC1

Segn.: 1

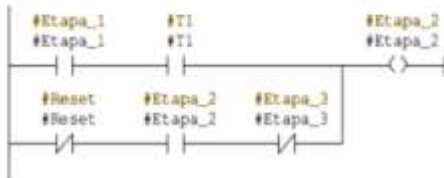
Etapa 0



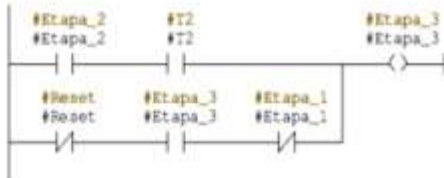
Segm.: 2
Etapa_1



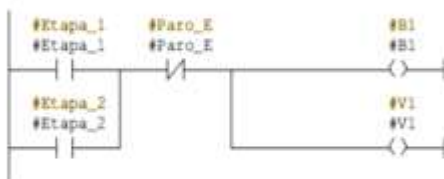
Segm.: 3
Etapa_2



Segm.: 4
Etapa_3



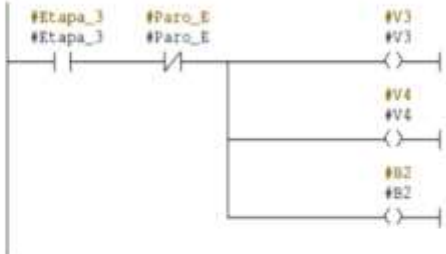
Segm.: 5



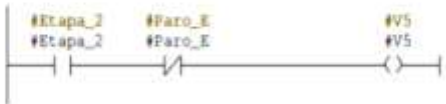
Segm.: 6



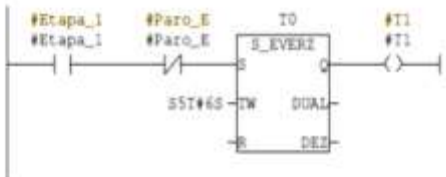
Segn.: 7



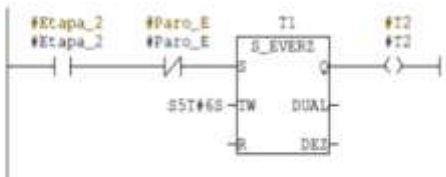
Segn.: 8



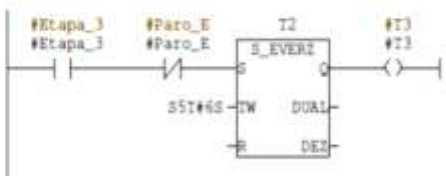
Segn.: 9



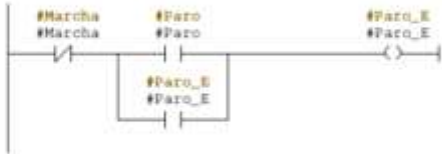
Segn.: 10



Segn.: 11



Segm.: 12



Segm.: 13



ANEXO 2

FC2 - <offline>

"Regulacion PID"

Nombre:

Familia:

Autor:

Versión: 0.1

Versión del bloque: 2

Hora y fecha Código:

11/08/2016 18:09:57

Interface:

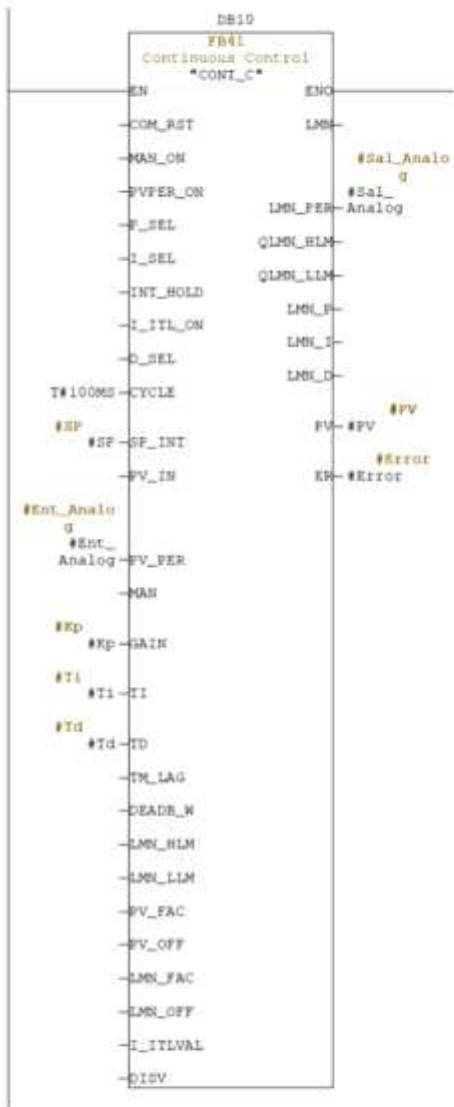
11/08/2016 18:05:04

Longitud (bloque / código / datos): 00216 00110 00006

| Nombre | Tipo de datos | Dirección | Comentario |
|------------|---------------|-----------|------------|
| IN | | 0.0 | |
| SP | Real | 0.0 | |
| Ent_Analog | word | 4.0 | |
| Kp | Real | 6.0 | |
| Ti | Time | 10.0 | |
| Td | Time | 14.0 | |
| OUT | | 0.0 | |
| PV | Real | 18.0 | |
| Error | Real | 22.0 | |
| Sal_Analog | Word | 26.0 | |
| IN_OUT | | 0.0 | |
| TEMP | | 0.0 | |
| RETURN | | 0.0 | |
| SET_VAL | | 0.0 | |

Bloque: FC2

Segm.: 1



ANEXO 3

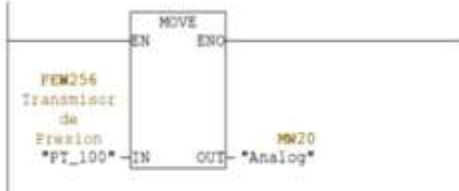
FC3 - <offline>

Alarmas
Nombre: Familia:
Autor: Versión: 0.1
 Versión del bloque: 2
Hora y fecha Código: 11/08/2016 18:37:25
Interface: 11/08/2016 18:37:25
Longitud (bloque / código / datos): 00242 00130 00010

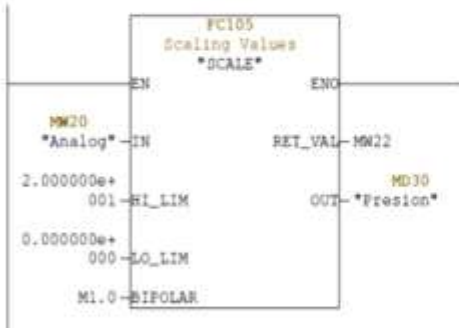
| Nombre | Tipo de datos | Dirección | Comentario |
|--------------|---------------|-----------|------------|
| IN | | 0.0 | |
| Arrancar_Var | Bool | 0.0 | |
| OL_B2 | Bool | 0.1 | |
| Arranca_B2 | Bool | 0.2 | |
| OUT | | 0.0 | |
| Paro_Var | Bool | 2.0 | |
| Marcha_Var | Bool | 2.1 | |
| Marcha_B2 | Bool | 2.2 | |
| IN_OUT | | 0.0 | |
| TEMP | | 0.0 | |
| RETURN | | 0.0 | |
| RET_VAL | | 0.0 | |

Bloque: FC3

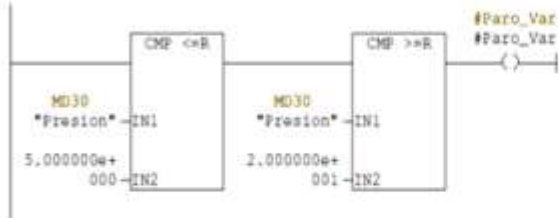
Segm.: 1



Segm.: 2



Segn.: 3 Transmisor de Presion



Segn.: 4



Segn.: 5



ANEXO 4

OB1 - <offline>

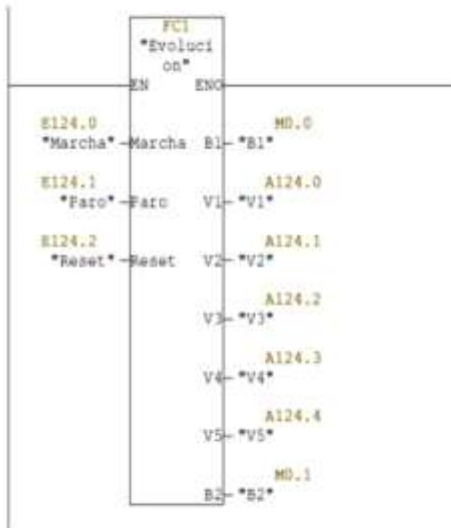
**

Nombre: Familia:
Autor: Versión: 0.1
Hora y fecha Código: 11/08/2016 18:25:54
Interface: 15/02/1996 16:51:12
Longitud (bloque / código / datos): 00290 00172 00022

| Nombre | Tipo de datos | Dirección | Comentario |
|----------------|---------------|-----------|---|
| TEMP | | 0.0 | |
| OB1_EV_CLASS | Byte | 0.0 | Bits 0-3 = 1 (Coming event), Bits 4-7 = 1 (Event class 1) |
| OB1_SCAN_1 | Byte | 1.0 | 1 (Cold restart scan 1 of OB 1), 3 (Scan 2-n of OB 1) |
| OB1_PRIORITY | Byte | 2.0 | Priority of OB Execution |
| OB1_OR_NUMBER | Byte | 3.0 | 1 (Organization block 1, OB1) |
| OB1_RESERVED_1 | Byte | 4.0 | Reserved for system |
| OB1_RESERVED_2 | Byte | 5.0 | Reserved for system |
| OB1_PREV_CYCLE | Int | 6.0 | Cycle time of previous OB1 scan (milliseconds) |
| OB1_MIN_CYCLE | Int | 8.0 | Minimum cycle time of OB1 (milliseconds) |
| OB1_MAX_CYCLE | Int | 10.0 | Maximum cycle time of OB1 (milliseconds) |
| OB1_DATE_TIME | Date_And_Time | 12.0 | Date and time OB1 started |

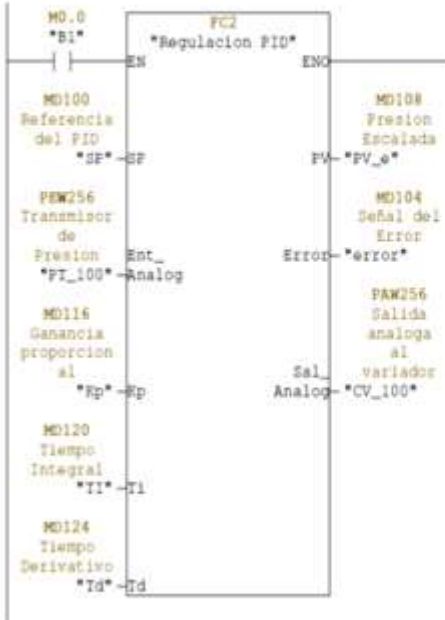
Bloque: OB1 "Main Program Sweep (Cycle)"

Segm.: 1



Segn.: 2

Regular Prestion a 12.5 Bar



Segn.: 3

FC3

