

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



**“AUTOMATIZACIÓN MEDIANTE PLC DE UN TANQUE DE
NEUTRALIZACIÓN COMO ALTERNATIVA PARA EL CONTROL DEL PH,
EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR EL BACHILLER

ROSADO PUMAYAULI, MILDINE MICHAEL

Villa El Salvador

2017

DEDICATORIA:

Dedico mi Proyecto de Ingeniería a mis padres Socrates Rosado y Rosa Pumayauli y a mi hermana Cinthia, por su apoyo incondicional, para culminar con éxito mis estudios profesionales.

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mis padres y mis maestros de la UNTELS por sus sabios consejos y orientación 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.....	12
1.4. Formulación del Problema.....	13
1.5. Objetivos.....	13
1.5.1. Objetivo General.....	13
1.5.2. Objetivos Específicos.....	13
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	15
2.2 Bases Teóricas.....	19
2.3 Marco Conceptual.....	74
CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL PROYECTO	
3.1 Descripción del Proceso Automatizado	78
3.2 Desarrollo de la Programación del Automatismo.....	82
3.3 Revisión y Consolidación de resultados	85
CONCLUSIONES	90
RECOMENDACIONES	91
BIBLIOGRAFÍA	92
ANEXOS	94

LISTADO DE FIGURAS

- Figura N° 01: Control mediante la retroalimentación
- Figura N° 02: Lazo de control de un proceso por retroalimentación
- Figura N° 03: Control de un proceso anticipado
- Figura N° 04: Condición de la señal de error para la activación del control ON/OFF
- Figura N° 05: Controlador de dos posiciones
- Figura N° 06: Diagrama a bloques de un controlador ON/OFF
- Figura N° 07: Diagrama a bloques de un controlador ON/OFF con brecha diferencial o zona muerta
- Figura N° 08: Relación entre la salida del controlador y la señal de error en la acción proporcional
- Figura N° 09: Acción proporcional en un controlador
- Figura N° 10: Relación de control integral
- Figura N° 11: Acción integral en un controlador
- Figura N° 12: Representación del Control Proporcional Integral
- Figura N° 13: Representación del Control PID
- Figura N° 14: Acción proporcional integral - Derivativo
- Figura N° 15: Acción de control proporcional – Integral - Derivativo
- Figura N° 16: Diagrama generalizado de un PLC
- Figura N° 17: Contacto analógico NA
- Figura N° 18: Representación del comparador analógico
- Figura N° 19: Configuración del controlador analógico
- Figura N° 20: Ejemplo 1

- Figura N° 21: Conmutador analógico de valor umbral
- Figura N° 22: Función con valor diferencial Delta Negativo
- Figura N° 23: Función con valor diferencial Delta Positivo
- Figura N° 24: Función vigilancia del valor analógico
- Figura N° 25: Parámetros de vigilância del valor analógico
- Figura N° 26: Programación em diagrama de funciones (FUP)
- Figura N° 27: Programación en diagrama de contactos
- Figura N° 28: Cuadro de Mux Analógico
- Figura N° 29: Representación del modulador por ancho de pulso
- Figura N° 30: Cuadro de parâmetros del modulador por ancho de pulso
- Figura N° 31: Programación básica activando la entrada de habilitación
- Figura N° 32: Ubicación de la entrada analógica en un valor próximo a 200
- Figura N° 33: Representación del PH
- Figura N° 34: Curva de valoración ácido y base fuertes
- Figura N° 35: Control de pH de un proceso de tanque de neutralización
- Figura N° 36: Tanque de neutralización con monitoreo de PH
- Figura N° 37: Conexion de sensores y actuadores con el PLC
- Figura N° 38: Programación – Definición de la señal de consigna
- Figura N° 39: Programación – Conversión aritmética
- Figura N° 40: Programación – Parametrización de valor máximo y mínimo
- Figura N° 41: Programación – Parametrización del valor máximo y mínimo
- Figura N° 42: Inicio de la programación de control de un proceso de tanque de neutralización simulando com el programa LOGO! SOFT.
- Figura N° 43: Ejecución de la programación - Ingreso del PH de consigna
- Figura N° 44: Ejecución de la programación – Activación de la válvula de ácido

Figura N° 45: Ejecución de la programación – Desactivación de las válvulas

Figura N° 46. Ejecución de la programación – Activación de la válvula de base

LISTADO DE TABLAS

Tabla N° 01: Grado de fijación de los colorantes

Tabla N° 02: Calidad del agua residual conteniendo diferentes tipos de colorantes

Tabla N° 03: Relaciones entre pH, pOH, $[H^+]$ Y $[OH^-]$

Tabla N° 04: Entradas del proceso

Tabla N° 05: Salidas del proceso

Tabla N° 06: Direccionamiento de entradas

Tabla N° 07: Direccionamiento de salidas

INTRODUCCIÓN

Las características de las aguas residuales generadas en una planta textil dependen de las operaciones específicas que se realicen, principalmente del tipo de fibra tratada y de la maquinaria utilizada. A pesar de la gran variedad de procesos y de productos químicos utilizados, las aguas residuales producidas en la industria textil se caracterizan por un gran contenido de materias en suspensión y coloidales.

Dentro del sector textil, se encuentran dos grupos bien diferenciados de empresas según el curso receptor de sus vertidos: empresas que vierten sus aguas residuales a una red de desagüe y empresas que reutilizan el agua en otros procesos propios de la industria textil.

Independientemente de la localización del vertido, una misma empresa puede llevar a cabo diferentes operaciones de acabado que darán lugar a aguas residuales muy variantes en su caudal y composición. Esta variación dificulta su depuración posterior. Por este motivo es conveniente recoger y retener los efluentes procedentes de los diferentes procesos en un gran depósito de neutralización donde se amortigua el efecto predominante de un efluente concreto.

La neutralización es el proceso de ajuste de pH del agua por medio de la adición de un ácido o una base, dependiendo del pH objetivo y de otros

requerimientos de proceso. La mayor parte de los efluentes pueden ser neutralizados a un pH de 6 a 9 de forma previa a su vertido.

En la mayoría de los procesos industriales es muy importante el control de los niveles de pH que presenten los productos que son elaborados o las soluciones que serán utilizadas para alguna parte del proceso. Su medición se emplea normalmente como indicador de calidad, es por ello que su regulación es muy importante.

En la actualidad las industrias textiles realizan un control manual de pH, que resta eficiencia y productividad a la planta. Hay que tener en cuenta que un valor distinto de la consigna puede causar acidez de la solución o activación de bacterias y por ello es necesario que se trabaje con rechazo a disturbios, y así evitar variaciones en las consignas buscadas en el proceso.

En ese sentido y con la finalidad de aportar para el desarrollo de alternativas automatizadas, con el propósito de integrar la tecnología de la automatización industrial a procesos químicos es que he dividido mi proyecto de Ingeniería en 3 capítulos.

En el Capítulo I, se describe el planteamiento del problema, que está relacionado con la falta de tecnología en la etapa de neutralización en el tratamiento de efluente, que permita garantizar un óptimo proceso de dosificación de sustancias ácidas o bases, ya que actualmente se realiza de forma manual.

En el Capítulo II, se describe el marco teórico en la cual se sustenta la propuesta de solución, referente a la automatización de procesos de tratamiento de efluente, mediante Controlador Lógico Programable.

Finalmente en el Capítulo III, se describe el desarrollo de la propuesta, que consiste en realizar el direccionamiento del PLC, circuito de conexión al PLC 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

Actualmente en la empresa Textil Jordana SAC, los tejidos una vez fabricados se someten a una serie de procesos húmedos englobados bajo los términos de preparación, tintura y acabados. Estos procesos son el origen de la mayor parte de los efluentes acuosos que genera esta empresa.

Con el propósito de reutilizar el agua presente en los efluentes, es que la empresa Textil Jordana cuenta con un Tanque de Neutralización carente de tecnología que permita garantizar un correcto proceso de tratamiento de efluente.

Esto se ve reflejado en la forma de dosificar las sustancias ácidas o bases ya que actualmente se realiza de forma manual, apoyándose en válvulas de apertura y cierre que son accionadas manualmente.

Lo dicho en el punto anterior establece que actualmente la calidad de tratamiento del efluente no es óptima, esto conlleva principalmente a que la calidad de los productos de los procesos que hacen uso del agua tratada no presenten condiciones de calidad y que hasta en algunos casos implica pérdidas económicas ya que se generan que toda una mezcla se deseche ya que el agua a reutilizar no presenta condiciones óptimas para su uso.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se justifica en que a partir de la automatización mediante PLC de un Tanque de Neutralización se podrá monitorear el PH en tiempo real del proceso de tratamiento de efluentes de la industria textil, de tal forma que mediante un sensor analógico de corriente, sensará el PH, generándose una señal que será procesada por el PLC del sistema automatizado, para entonces ordenar la dosificación controlada ya sea de ácido o sosa cáustica en forma automática, para conseguir la neutralización de los efluentes garantizando que el valor del PH siempre se encuentre dentro del rango pre establecido como valor óptimo para el proceso.

1.3 DELIMITACIÓN DEL PROYECTO

1.3.1 ESPACIAL

El proyecto se desarrollará en la Empresa Textil Jordana SAC, ubicado en la Avenida Las Torres, 495 - Urb. Los Sauces Ate Vitarte - Lima.

1.3.2 TEMPORAL

El proyecto de ingeniería comprende el mes de Octubre y Noviembre de 2016.

1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo controlar el PH de un Tanque de neutralización para el tratamiento de efluentes de la industria textil, con la finalidad de dosificar la aplicación de ácido o base en forma automática?

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Controlar el PH de un Tanque de neutralización para el tratamiento de efluentes de la industria textil, con la finalidad de dosificar la aplicación de ácido o base en forma automática.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar si es posible y de qué manera los sensores y actuadores se acoplan a un controlador lógico programable a fin de controlar el PH de un Tanque de neutralización para el tratamiento de efluentes de la industria textil, con la finalidad de dosificar la aplicación de ácido o base en forma automática
- Desarrollar la programación del controlador lógico programable y verificar si el sensor analógico del PH

establece una acción de control sobre los actuadores que permiten dosificar la aplicación de ácido o base de forma automática.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Cano (2011), en su tesis titulada “Diseño e implementación de estrategias de mejoramiento del sistema automatizado de estabilización del pH de agua residual industrial, en un tanque de neutralización de la planta DPA en Valledupar” para optar el Título de Ingeniero en Ingeniería Mecánica y Eléctrica en la Universidad Tecnológica de Bolívar de Cartagena, concluye que: “De acuerdo a lo establecido, a través de la observación del proceso pudimos constatar que el proceso de neutralización inicia cuando la capacidad del tanque se encuentra en un 70% de su capacidad. Debido a la estrategia implementada, se hace un mejor aprovechamiento de la línea debido a que la ocupación del tanque de neutralización disminuyó, lo cual aumenta la disponibilidad y la productividad de la línea. Toda intención de automatización debe partir del buen conocimiento del proceso que se requiere mejorar. Las mejoras en el área de control avanzado son las que más impacto pueden causar en un proceso

automatizado”¹

Brenes (2009), en su tesis titulada “Control de pH constante en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Sigma Alimentos” para optar el Título de Ingeniero en Ingeniería Mecánica y Eléctrica en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, concluye que: “El estudio detallado genera un modelo flexible ya que puede funcionar en otras plantas de tratamiento o sistema de neutralización de pH. La implementación del sistema de control en un PLC genera confiabilidad en el sistema debido a que la programación en escalera ofrece versatilidad al facilitar modificaciones.

Las simulaciones facilitaron el montaje del sistema y generaron resultados óptimos en la puesta en marcha”.²

Sánchez (2009), en su tesis titulada “Evaluación técnica y económica de una planta piloto de efluentes industriales”, para optar el Título de Ingeniero en Ingeniería Industrial en la Universidad Nacional de Ingeniería de Lima, concluye que: “El sistema de tratamiento con el controlador ON - OFF cumple con las exigencias establecidas. La eficiencia del sistema de tratamiento puede alcanzar hasta un 97% de depuración de la materia orgánica. El equipo ocupara un área inferior a los establecidos por otros sistemas de tratamiento como son las lagunas de oxidación. Se puede

¹CANO, J. (2011). Diseño e implementación de estrategias de mejoramiento del sistema automatizado de estabilización del PH de agua residual industrial, en un tanque de neutralización de la planta DPA en Valledupar. (Tesis de Pre Grado). Universidad Tecnológica de Bolívar. Cartagena, Colombia.

²BRENES, N. (2009). Control de PH constante en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Sigma Alimentos. (Tesis de Pre Grado). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.

calcular datos reales de consumo de energía de los equipos instalados en el diseño final. Se obtuvo la data necesaria para realizar los cálculos de dimensionamiento de los equipos del diseño final, así como, los datos de operación óptimos”.³

López (2008), en su tesis titulada “Diseño de un sistema de control de temperatura on/off para aplicaciones en invernadero utilizando energía solar y gas natural” para optar el Título de Ingeniero en Ingeniería Mecánica y Eléctrica en la Pontificia Universidad Católica del Perú de Lima, concluye que: “El sistema de control de temperatura, sumado al acondicionamiento de la señal mediante el amplificador operacional INA126P con ganancia de 8 y al algoritmo del control ON/OFF, proveen al sistema de control de temperatura diseñado de un rango de operación de 2°C a 63°C y una resolución del sistema +/-1°C. El diseño del sistema de control reúne las condiciones necesarias para la implementación del sistema de control de temperatura. Resulta de suma importancia en el sistema de control de temperatura la estrategia a seguir para con los diferentes valores de temperatura obtenidos por los sensores”.⁴

Reinoso (2003), en su libro titulado “Apuntes de Sistemas de Control”, señala que: “En un sistema de Control on/off, el actuador solo tiene dos posiciones fijas que, en la mayoría de los casos, son de encendido y

³SANCHEZ, P. (2009). Evaluación técnica y económica de una planta piloto de efluentes industriales. (Tesis de Pre Grado). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

⁴LOPEZ, A. (2008). Diseño de un sistema de control de temperatura on/off para aplicaciones en invernadero utilizando energía solar y gas natural. (Tesis de Pre Grado). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

apagado. El control on/ off es relativamente simple y barato, razón por la cual su uso es extendido en sistemas de control. Si denotamos la señal de la salida del regulador como $u(t)$ y la entrada como $e(t)$, en el control on/off la señal $u(t)$ permanece en un determinado valor dependiendo de si la entrada $e(t)$ es positiva o negativa”.⁵

Carrillo (2003), en su libro titulado “Aplicaciones de Manual Media a sectores Industriales” señala que: “La industria textil utiliza una gran cantidad de productos químicos diferentes, originando por tanto aguas residuales con características distintas, que habitualmente son vertidas a cauce, y en menor medida tratadas en la depuración instalada en la propia fábrica. La opción propone la segregación de efluentes según sus características básicas para ser sometidos a pre tratamiento antes de entrar en el sistema de depuración de la fábrica. Entre los procesos a que se han de someter se pueden citar, la neutralización de aguas acidas, filtrado de aguas con sólidos en suspensión, etc.”⁶

Kuo (2010), en su libro titulado “Sistemas de control Automático”, señala que: “En la industria, los proceso de manufactura tienen un sin número de objetivos para productos que satisfacen requerimientos de precisión y costo. La búsqueda para alcanzar tales “objetivos” requiere normalmente utilizar un sistema de control que implante ciertas estrategias de control.

En años recientes, los sistemas de control han asumido un papel cada

⁵REINOSO, O. (2003). Apuntes de Sistemas de Control. Alicante, España: ECU

⁶CARRILO, D. (2003). Aplicaciones de Manual Media a sectores Industriales. Madrid, España: Fundación EOI

vez más importante en el desarrollo y avance de la tecnología. Los sistemas de control se encuentran en gran cantidad en todos los sectores de la industria, tales como control de calidad de los productos manufacturados, línea de ensamble automático, control de máquinas y herramienta y muchos otros”.⁷

2.2. BASES TEORICAS

2.2.1 SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO

El control automático de procesos es una de las disciplinas que se ha desarrollado a una velocidad vertiginosa, dando las bases a lo que hoy algunos autores llaman la segunda revolución industrial.

El uso intensivo de las técnicas del control automático de procesos tiene como origen la evolución y tecnificación de las tecnologías de medición y control aplicadas al ambiente industrial.

Su estudio y aplicación ha contribuido al reconocimiento universal de sus ventajas y beneficios asociados al ámbito industrial, que es donde tiene una de sus mayores aplicaciones debido a la necesidad de controlar un gran número de variables, sumado esto a la creciente complejidad de los sistemas. El control automático de procesos se usa fundamentalmente porque reduce el costo asociado a la generación de bienes y servicios, incrementa la calidad y volúmenes de producción de una planta industrial entre

⁷ KUO, B. (2010). Sistemas de control Automático. Barcelona, España: PEARSON

otros beneficios asociados con su aplicación. La eliminación de errores y un aumento en la seguridad de los procesos es otra contribución del uso y aplicación de esta técnica de control.

En este punto es importante destacar que anterior a la aplicación masiva de las técnicas de control automático en la industria, era el hombre el que aplicaba sus capacidades de cálculo e incluso su fuerza física para la ejecución del control de un proceso o máquina asociada a la producción. En la actualidad, gracias al desarrollo y aplicación de las técnicas modernas de control, un gran número de tareas y cálculos asociados a la manipulación de las variables ha sido delegado a computadoras, controladores y accionamientos especializados para el logro de los requerimientos del sistema.

El principio de todo sistema de control automático es la aplicación del concepto de realimentación o feedback (medición tomada desde el proceso que entrega información del estado actual de la variable que se desea controlar) cuya característica especial es la de mantener al controlador central informado del estado de las variables para generar acciones correctivas cuando así sea necesario. Este mismo principio se aplica en campos tan diversos como el control de procesos químicos, control de hornos en la fabricación del acero, control de máquinas herramientas, control

de variables a nivel médico e incluso en el control de trayectoria de un proyectil militar.



FIGURA Nº 01: CONTROL MEDIANTE LA RETROALIMENTACION

Es de vital importancia la aplicación del denominado control adaptativo cuya principal característica es su capacidad de modificar los parámetros del sistema de control en respuesta a cambios en la dinámica y/o perturbaciones del sistema. Esta fue la principal razón para introducir este tipo de reguladores, es decir, los cambios internos que puede sufrir la dinámica de la planta a controlar por factores ambientales u otros inherentes a los sistemas como el envejecimiento, desgaste y los cambios en el entorno del conjunto regulador-planta, como por ejemplo, cambios en la presión y temperatura entre otros.

En este punto es importante plantear la pregunta sobre qué es el control automático, siendo la respuesta a esta inquietud la siguiente: "El control automático es el mantenimiento de un valor deseado para una cantidad o condición física, midiendo su valor actual, comparándolo con el valor referencia, y utilizando la

diferencia para proceder a reducirla mediante una acción correctiva. En consecuencia, el control automático exige un lazo cerrado de acción y reacción que funcione sin intervención humana”. El elemento más importante de cualquier sistema de control automático es el lazo de control realimentado, que no es más que una trayectoria cerrada formada por un sensor, un controlador y un elemento final de control.

En un proceso químico algunas variables como la temperatura, presión, flujo o nivel de líquido en un tanque son determinantes para su operación, de tal manera que se hace necesario mantener regulados sus valores deseados para garantizar la estabilidad y seguridad del mismo. Esto se realiza mediante dispositivos (controladores) diseñados para desarrollar una acción sobre las desviaciones que se observen en los valores de dichas condiciones. Lo anterior requiere del acoplamiento con un mecanismo de medición y transmisión (Sensor/Transmisor) de la variable de proceso como fuente de información para la acción correctiva junto con otro mecanismo de ejecución de la acción reguladora decidida por el controlador.

Por acción básica se entiende que el controlador amplifique, integre o derive la información de entrada o desarrolle una suma entre algunas de estas acciones. De acuerdo a esto, los controladores que usualmente se incluyen dentro de un proceso

son los de acciones proporcional (P), proporcional-integral (PI), proporcional-derivativo (PD) y proporcional-integral-derivativo (PID). Para algunas situaciones se justifica un control denominado de dos posiciones o de encendido y apagado (On/Off) Casi todos los controladores industriales emplean como fuente de energía la electricidad o la presión de un fluido como el aire.

Los controladores también pueden clasificarse, de acuerdo con el tipo de energía que utilizan en su operación, como neumáticos, hidráulicos o electrónicos. El tipo de controlador que se use debe decidirse con base en la naturaleza de la planta y las condiciones operacionales, incluyendo consideraciones tales como seguridad, costo, disponibilidad, confiabilidad, precisión, peso y tamaño.

2.2.1.1 ESTRUCTURA DE UN SISTEMA DE CONTROL

El control de una variable de proceso requiere de una estructura que incluye cuatro elementos (Proceso, Sensor, Controlador, Elemento de Control Final) conectados de tal manera que se establece un flujo de información que si es recirculada se describe como un lazo de control retroalimentado (Feedback).

Si el controlador desarrolla su acción sin alimentarse de la información que se observa en la variable de

proceso, se dice que es un control anticipatorio (Feedforward).

Lazo de control por retroalimentación (Feedback)

Es un lazo cerrado donde la variable de salida del proceso se mide y retroalimenta al controlador quien determina el error de dicha medida con su valor de referencia y genera una acción que ejecuta el elemento de control final para ajustar la variable de control al valor deseado.

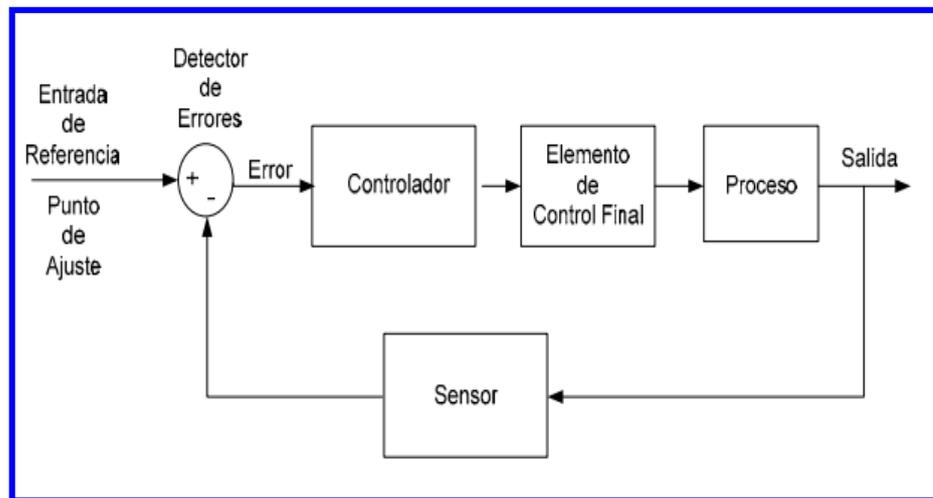


FIGURA Nº 02: LAZO DE CONTROL DE UN PROCESO POR RETROALIMENTACIÓN

El controlador detecta la señal de error, que por lo general está en un nivel muy bajo, y la amplifica a un nivel lo suficientemente alto. La salida del controlador automático se alimenta a un elemento de control final como un motor hidráulico o eléctrico o una válvula

neumática. Este elemento de control final es un dispositivo de potencia que produce la entrada al proceso de acuerdo con la señal de control, a fin de que la señal de salida se aproxime a la señal de entrada de referencia.

El sensor o elemento de medición es un dispositivo que convierte la variable de salida en otra variable manejable, tal como un desplazamiento, una presión o un voltaje que pueda usarse para comparar la salida con la señal de entrada de referencia. Este elemento está en la trayectoria de retroalimentación del sistema en lazo cerrado. El punto de ajuste del controlador debe convertirse en una entrada de referencia con las mismas unidades que la señal de retroalimentación del sensor o del elemento de medición.

Control por Anticipado (Feedforward)

Se mide una variable sobre una corriente de entrada y dicha información es comparada con la de referencia lo que se alimenta al controlador para que ejecute su acción, a través del elemento de control final, quien modifica la variable manipulada para mantener estable la variable de proceso.

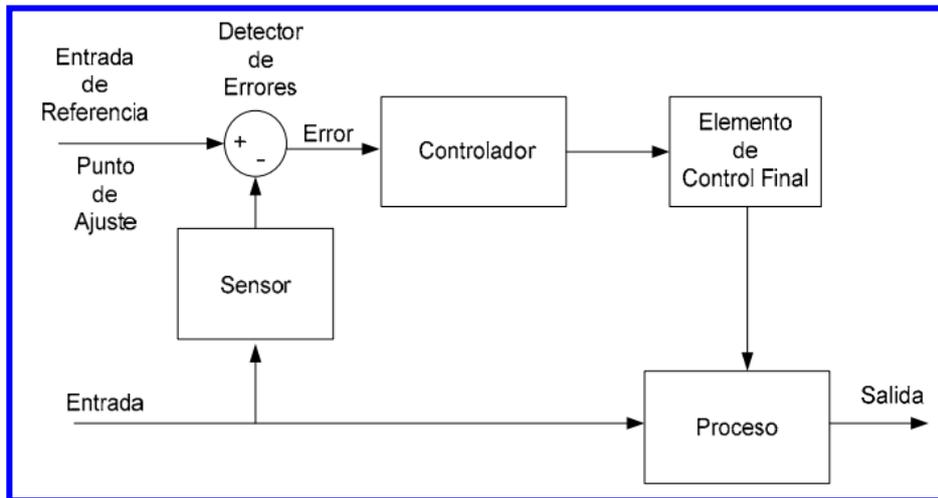


FIGURA Nº 03: CONTROL DE UN PROCESO ANTICIPADO

2.2.1.2 ACCIONES DE LOS CONTROLADORES

Las acciones que realiza un controlador son las decisiones que se requieren para compensar las perturbaciones observadas en la variable de proceso y que son transmitidas al elemento de control final para que las ejecute. A continuación se estudian las acciones de los controladores PID, además de la acción de dos posiciones.

Acción de dos posiciones o de encendido y apagado (On/Off)

En un sistema de control de dos posiciones, el elemento de control final sólo tiene dos posiciones fijas que es, en muchos casos, encendido o apagado. En el control de dos posiciones, la señal de salida, $m(t)$ permanece en un valor ya sea máximo o mínimo,

dependiendo de si la señal de error, $e(t)$, es positiva o negativa. De este modo,

$$\begin{aligned} m(t) &= M_1, & e(t) > 0 \\ m(t) &= M_2, & e(t) < 0 \end{aligned}$$

FIGURA Nº 04: CONDICION DE LA SEÑAL DE ERROR PARA LA ACTIVACION DEL CONTROL ON/OFF

En donde M_1 y M_2 son constantes. Es común que los controladores de dos posiciones sean dispositivos eléctricos, en cuyo caso se usa extensamente una válvula eléctrica operada por solenoides.

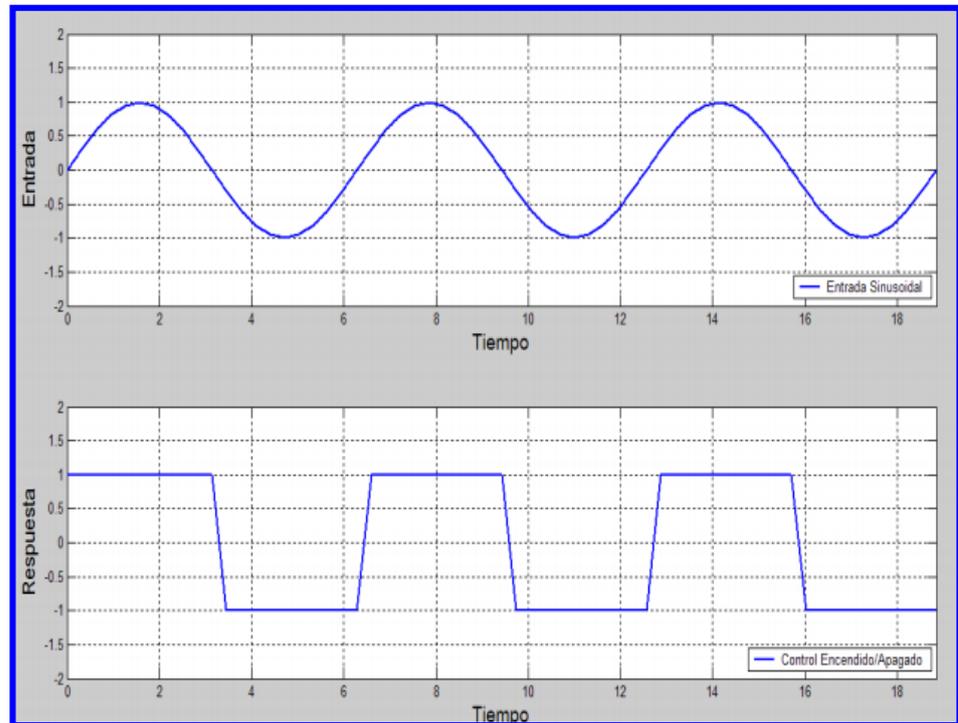


FIGURA Nº 05: CONTROLADOR DE DOS POSICIONES

El control de posición ON-OFF es relativamente simple y económico, por tal razón es el tipo más común de

control usado en la industria a así como en una gran cantidad de aparatos domésticos. Sin embargo si la medición del proceso es más sensible a los cambios en el suministro, la amplitud y frecuencia del ciclo comienza a incrementarse, en algún punto el ciclo se volverá inaceptable y alguna forma de control proporcional deberá ser aplicada.

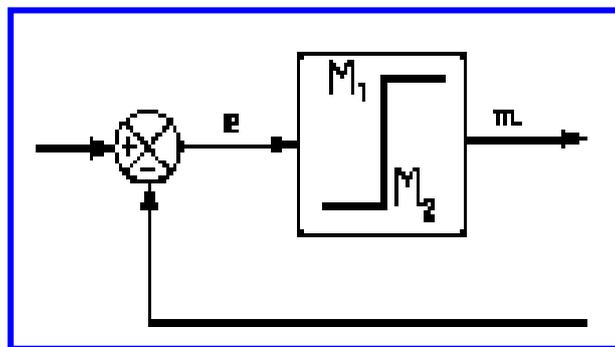


FIGURA Nº 06: DIAGRAMA A BLOQUES DE UN CONTROLADOR ON/OFF

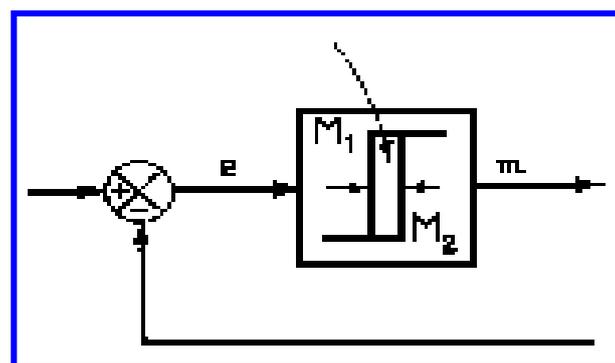


FIGURA Nº 07: DIAGRAMA A BLOQUES DE UN CONTROLADOR ON/OFF CON BRECHA DIFERENCIAL O ZONA MUERTA

La brecha provoca que la salida del controlador $u(t)$ conserve su valor presente hasta que la señal de error se haya desplazado ligeramente más allá de cero. En

algunos casos, la brecha diferencial es el resultado de una fricción no intencionada y de un movimiento perdido; sin embargo, con frecuencia se provoca de manera intencional para evitar una operación demasiado frecuente del mecanismo de encendido y apagado.

La acción de control del modo de dos posiciones es discontinua, trayendo como consecuencias oscilaciones de la variable controlada en torno a la condición requerida debido a retrasos en la respuesta del controlador y del proceso. Se utiliza cuando los cambios son lentos. La salida es una señal de encendido o apagado sin importar la magnitud del error.

Acción de control proporcional, P

Para una acción de control proporcional, la relación entre la salida del controlador, $m(t)$ y la señal de error, $e(t)$ es:

$$m(t) = K_c e(t)$$

FIGURA N° 08: RELACION ENTRE LA SALIDA DEL CONTROLADOR Y LA SEÑAL DE ERROR EN LA ACCION PROPORCIONAL

Para el estudio de la acción proporcional se considera un lazo cerrado de control retroalimentado de una variable de un sistema de segundo orden con ganancia de $1/8$ y dos polos con valores de $-1/2$ y $-1/4$. La ganancia del controlador proporcional es de 2 y se considera tanto a la válvula como el sensor como sistemas de ganancia pura con valores de 2 y 1, respectivamente.

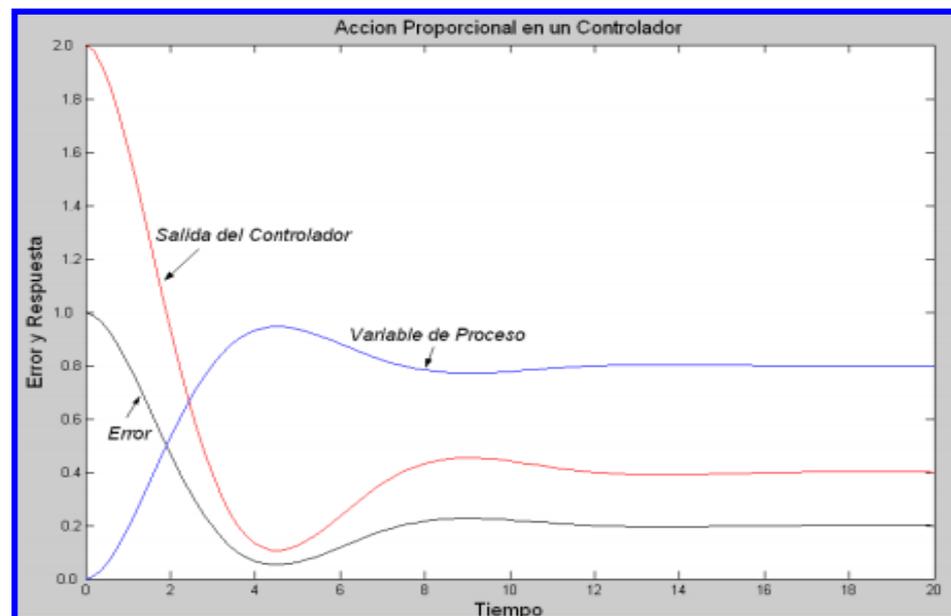


FIGURA Nº 09: ACCIÓN PROPORCIONAL EN UN CONTROLADOR

Se muestra la variación del error que se alimenta al controlador proporcional y la amplificación que hace éste de dicha información de acuerdo al valor de la ganancia; y que la variable de proceso se estabiliza con el control proporcional después de un período de perturbación.

Lo anterior quiere decir que en la respuesta del control proporcional hay un error en estado estable o desplazamiento (offset) para una entrada con un cambio paso. Este desplazamiento se elimina si se incluye la acción de control integral en el controlador.

Acción de control integral, I

En una acción de control integral, la rapidez de cambio en la respuesta del controlador, $m(t)$ es proporcional al error, $e(t)$, es decir,

$$\frac{dm(t)}{dt} = K_c e(t)$$

FIGURA N° 10: RELACION DEL CONTROL INTEGRAL

A partir de la figura N°9 se deduce que si, por ejemplo, se duplica el valor de $e(t)$, el valor de $m(t)$ varía dos veces más rápido. En ocasiones, la acción de control integral se denomina Control de Reajuste (Reset).

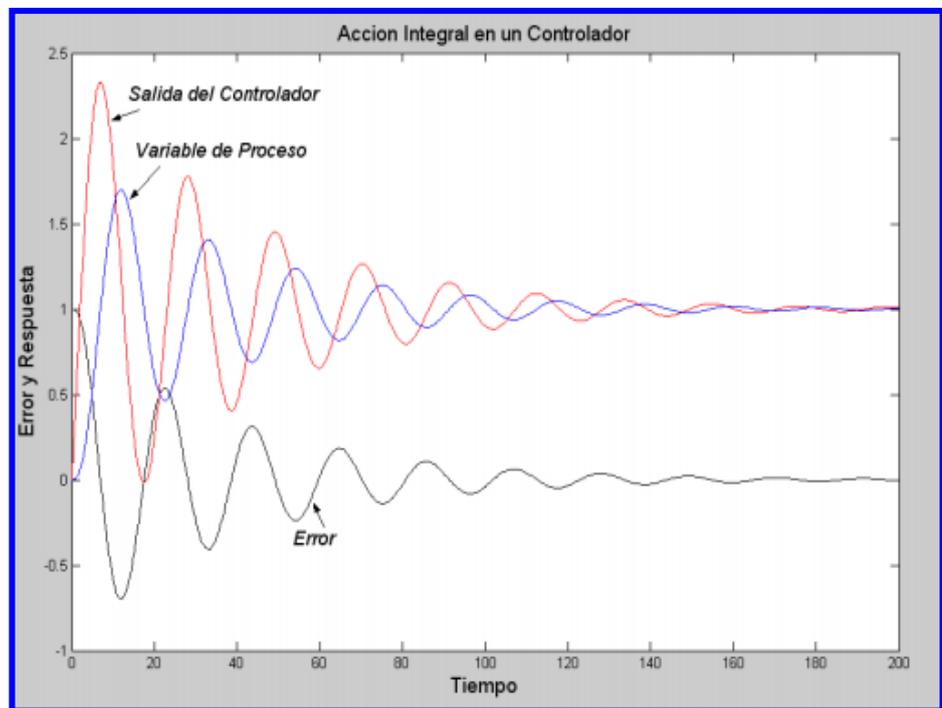


FIGURA Nº 11: ACCIÓN INTEGRAL EN UN CONTROLADOR

Acción de control Proporcional – Integral, PI

La acción de control proporcional – integral, PI, se define mediante la ecuación

$$m(t) = K_c e(t) + \frac{K_c}{\tau_I} \int_0^t e(t) dt$$

FIGURA Nº 12: REPRESENTACION DEL CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL

Acción de control proporcional – integral – derivativa, PID

La combinación de una acción de control proporcional, una acción de control integral y una acción de control derivativa se denomina acción de control proporcional – integral – derivativo o PID. Esta acción combinada tiene las ventajas de cada una de las tres acciones de

control individuales. La ecuación de un controlador con esta acción combinada se obtiene mediante:

$$m(t) = K_c e(t) + \frac{K_c}{\tau_I} \int_0^t e(t) dt + K_c \tau_d \frac{de(t)}{dt}$$

FIGURA N° 13: REPRESENTACION DEL CONTROL PID

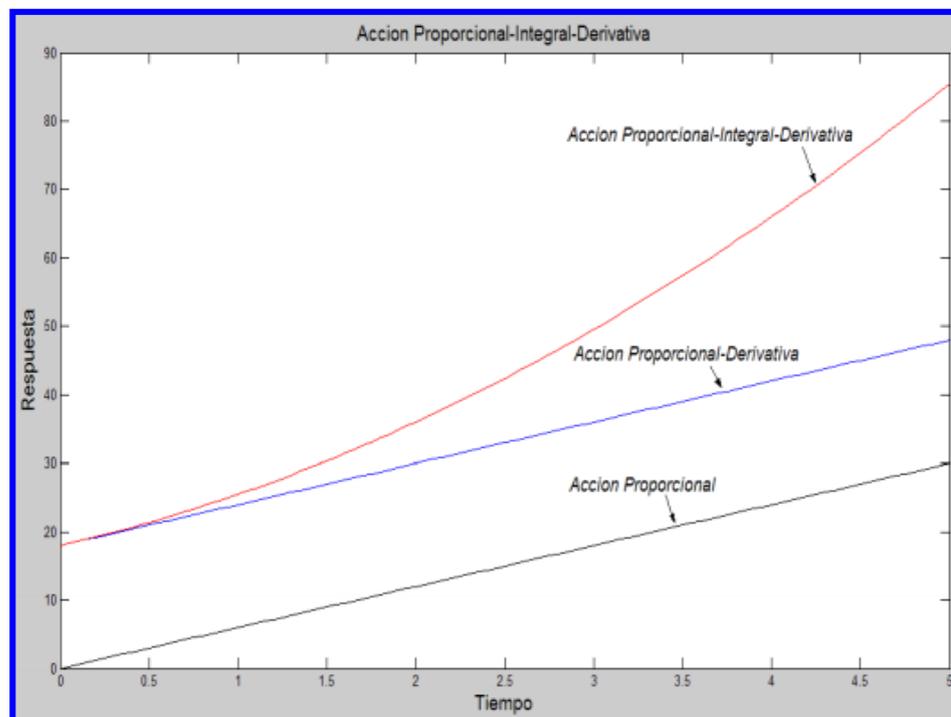


FIGURA N° 14: ACCION PROPORCIONAL INTEGRAL- DERIVATIVO

Si la señal de error es una función rampa unitaria, la salida del controlador PID es una combinación de amplificación, reajuste y anticipación, propios de las acciones proporcional, integral y derivativa.

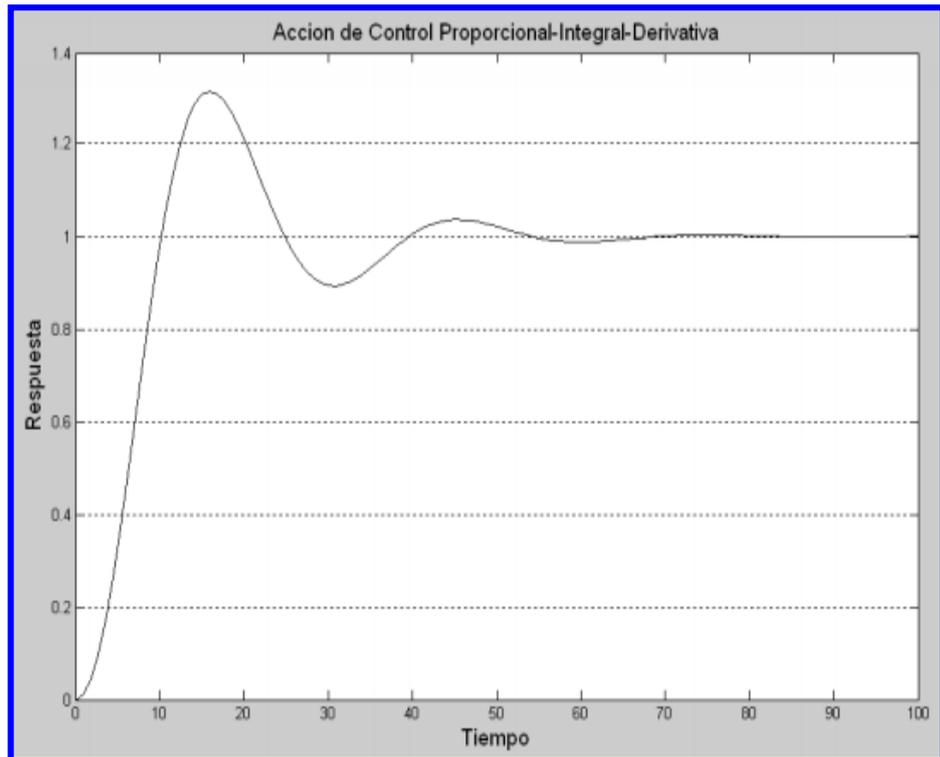


FIGURA Nº 15: ACCIÓN DE CONTROL PROPORCIONAL – INTEGRAL – DERIVATIVO

2.2.2 CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE (PLC)

El Controlador Lógico Programable (PLC) fue inventado en los años 1960 para reemplazar los Circuitos de Relevador secuenciales tradicionalmente utilizados para controlar máquinas.

Un PLC es un dispositivo electrónico de estado sólido que controla la operación de una máquina. Utiliza funciones Lógicas, que son programadas en su memoria a través de un software.

Los PLCs fueron introducidos a finales de los años 1960 para reemplazar los relevadores secuenciales en el control de

máquina. Los Relevadores se colocan en un simple panel para proporcionar un circuito de control especial conocido como lógica o lógica de relevador. El propósito de un circuito lógico es permitir que ocurra un evento como por ejemplo el arranque de un motor, solamente si se cumplen condiciones predeterminadas.

Aun cuando los circuitos de relevador desempeñaran bien su función, podrían ser muy costosos en cuanto a instalación y mantenimiento. De hecho, la razón primaria del diseño de los PLCs fue la eliminación del importante costo de reposición de sistemas de control de máquina basados en relevadores complicados.

Las capacidades de comunicación comenzaron a aparecer alrededor de 1973. El PLC podía ahora comunicarse con otros PLCs y podía estar alejado de la máquina que estaba controlando. Puesto que los PLCs podrían también utilizarse para enviar y recibir tensiones variables, pudieron ingresar al mundo Analógico. Pero a pesar de estos avances, la falta de estandarización junto con los cambios tecnológicos continuos seguía haciendo que las comunicaciones de los PLC fueran una pesadilla de redes físicas y protocolos incompatibles. Los años 1980, sin embargo, vieron un intento de estandarizar las comunicaciones. Los PLCs se volvieron también más pequeños y se tornaron software programable a través de una programación

simbólica en computadoras personales (previamente, los PLCs requerían de terminales de programación dedicadas o programadores manuales).

Los años 1990 vieron una reducción gradual de la introducción de nuevos protocolos, y la modernización de las capas físicas de algunos de los protocolos más populares han sobrevivido los años 1980. El estándar más novedoso (IEC 1131—3) ha intentado combinar lenguajes de programación para PLC bajo un solo estándar internacional. Ahora tenemos PLCs programables en diagramas de bloques de funciones, listas de instrucciones, C, y textos estructurados, todo al mismo tiempo. Las computadoras personales (PCs) se están utilizando también para reemplazar los PLCs en algunas aplicaciones.

El tipo de controlador más común es el PLC, el cual es un equipo electrónico basado en microprocesadores, ha ce uso de memorias programables y regrabables (RAM), en donde se almacenan instrucciones a manera de algoritmos que van a permitir seguir una lógica de control. Contiene interfaces que le permiten manejar gran número de entradas y salidas tanto analógicas como digitales.

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del

hardware y software amplía constantemente este campo, para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales. Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control y señalización.

Por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, o control de instalaciones, entre otras. Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, hace que su eficacia se aprecie principalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

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

Ejemplos de aplicaciones generales:

- ✚ Maniobra de máquinas

- ✚ Maquinaria industrial de plástico
- ✚ Máquinas transfer
- ✚ Maquinaria de embalajes
- ✚ Maniobra de instalaciones: instalación de aire acondicionado, calefacción
- ✚ Instalaciones de seguridad
- ✚ Señalización y control

2.2.2.1 ESTRUCTURA GENERAL DE LOS PLCs

La parte principal es la denominada “unidad central de procesamiento” o CPU que contiene la parte de procesamiento del controlador y está basada en un microprocesador que permite utilizar aritmética y operaciones lógicas para realizar diferentes funciones. Además, la CPU, prueba también frecuentemente el PLC para lograr encontrar errores en su debido tiempo.

Los primeros PLCs utilizaron chips que habían sido procesados mediante la técnica denominada “bit-slice”, como el AMD2901, 2903, etc.

El lugar donde se guardan los datos y las instrucciones es la memoria que se divide en memoria permanente, PM, y memoria operacional, conocida como memoria de acceso aleatorio o RAM. La primera, la PM, se basa

en las ROM, EPROM, EEPROM o FLASH; es donde se ejecuta el sistema de operación del PLC y puede ser reemplazada. Sin embargo, la RAM, es donde se guarda y ejecuta el programa en cuestión utilizado y es la de tipo SRAM la que se utiliza habitualmente.

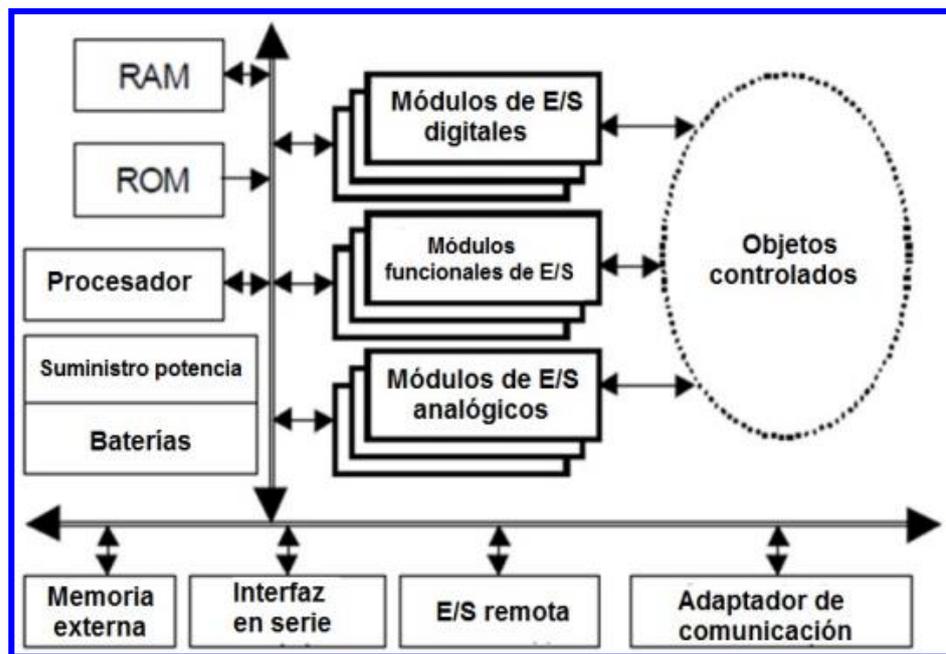


FIGURA Nº 16: DIAGRAMA GENEREALIZADO DE UN PLC

2.2.2.2 TIPOS DE PLCS

Debido a la gran variedad de tipos distintos de PLC, tanto en sus funciones, en su capacidad, en el número de I/O, en su tamaño de memoria, en su aspecto físico y otros, es que es posible clasificar los distintos tipos en varias categorías:

PLC compactos

Son aquellos que incorporan CPU, PS, módulos de entrada y salida en un único paquete. A menudo existe un número fijo de E/Ss digitales (no mayor a 30), una o dos canales de comunicación (para programar el PLC y la conexión de los buses de campo) y HMI. Además, puede haber una entrada para el contador de alta velocidad y una o dos E/Ss analógicas.

Para aumentar el número de las E/Ss de una PLC compacta individual se incrementa (además) los módulos que pueden ser conectados. Estos se colocan en un paquete, similar al del mismo PLC. Estos PLCs de tipo compacto se utilizan en automoción como substitutos de los relés.

PLC modular

Es el tipo de PLC más potente y tiene más funciones que los PLC compactos. La CPU, SM, CP y otros módulos se encuentran generalmente en paquetes separados en un riel DIN o en un riel con una forma especial y que se comunica con la CPU a través de un sistema bus. Tiene un número limitado de lugares para los módulos pero, en la mayoría de los casos, este puede aumentarse.

Además, los PLCs modulares pueden utilizar un elevado número de entradas/salidas, pueden soportar programas más grandes, guardar más datos y operar bajo el modo de multitarea. Normalmente se utilizan para el control, regulación, posicionamiento, procesamiento de datos, manipulación, comunicación, monitorización, servicios-web, etc.

PLC de tipo montaje en rack

Son aquellos que prácticamente tienen las mismas capacidades y funciones que el PLC modular. Sin embargo, existen algunas diferencias en el bus o en el rack dónde se colocan los módulos del PLC. El rack contiene ranuras para los módulos y un sistema de bus integrado para intercambiar información entre los diferentes módulos.

La mayoría de los módulos PLC no tienen sus propias cajas, disponen solamente de un panel frontal con una interfaz-HIM. La ventaja principal es que pueden permitir un intercambio más rápido de los datos entre los módulos y el tiempo de reacción por parte de los módulos es menor.

PLC con panel Operador y Controlador Lógico Programable (OPLC)

Posee una interfaz HIM para su funcionamiento y una monitorización de los procesos automáticos y las máquinas. La HMI consiste principalmente en un monitor y un teclado o una pantalla táctil. El monitor puede ser bien de tipo texto o gráfico. La ventaja principal de este sistema respecto a un PLC con un panel operador aparte es que no es necesario programar el panel de forma separada. Toda la programación se realiza por medio de una herramienta software, lo que permite economizar los gastos del desarrollo del sistema.

2.2.2.3 TIPOS DE SEÑALES UTILIZADAS POR LOS PLCs

Un PLC recibe y transfiere señales eléctricas, expresando así variables físicas finitas (temperatura, presión etc.). De este modo es necesario incluir en el SM un convertidor de señal para recibir y cambiar los valores a variables físicas. Existen tres tipos de señales en un PLC: señales binarias, digitales y analógicas.

Señales binarias

Señal de un bit con dos valores posibles (“0” – nivel bajo, falso o “1” – nivel alto, verdadero), que se

codifican por medio de un botón o un interruptor. Una activación, normalmente abre el contacto correspondiendo con el valor lógico "1", y una no-activación con el nivel lógico "0".

Los límites de tolerancia se definen con interruptores sin contacto. Así el IEC 61131 define el rango de -3 - +5 V para el valor lógico "0", mientras que 11 - 30 V se definen como el valor lógico de "1" (para sensores sin contacto) a 24 V DC. Además, a los 230 V AC, la IEC 61131 define el rango de 0 – 40 V para el valor lógico de "0", y 164 – 253 V para el valor lógico "1".

Señales digitales

Se trata de una secuencia de señales binarias, consideradas como una sola. Cada posición de la señal digital se denomina un bit. Los formatos típicos de las señales digitales son: tetrad – 4 bits (raramente utilizado), byte – 8 bits, word – 16 bits, double word – 32 bits, double long word – 64 bits (raramente utilizado).

Señales analógicas

Son aquellas que poseen valores continuos, es decir, consisten en un número infinito de valores (ej. en el

rango de 0 – 10 V). Hoy en día, los PLCs no pueden procesar señales analógicas reales. De este modo, estas señales deben ser convertidas en señales digitales y vice-versa.

La elevada resolución y precisión de la señal analógica puede conseguirse utilizando más bits en la señal digital. Por ejemplo, una señal analógica típica de 0 – 10 V puede ser con precisión (pasos para la conversión en una señal digital) desde 0.1 V, 0.01 V o 0.001 V de acuerdo al número de bits que vaya a tener la señal digital.

2.2.2.4 AUTOMATISMOS CON SEÑALES ANALÓGICAS BASADOS EN LA PROGRAMACION DEL NANO PLC LOGO

Contacto analógico:

Los contactos analógicos, al igual que los contactos normalmente cerrados y los contactos normalmente abiertos representan los bornes de entrada de un LOGO.

Cuando inserte el contacto en el programa, se abrirá una ventana. En función del LOGO utilizado, especifique el tipo de entrada en ese diálogo. Si desea

cambiar la entrada en un programa KOP, haga doble clic en el bloque en el programa. Se abrirá una ventana donde podrá realizar los cambios necesarios.

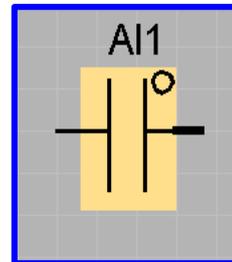


FIGURA Nº 17: CONTACTO ANALOGICO NA

Comparador Analógico:

La salida se activa y desactiva en función de la diferencia $A_x - A_y$ y de dos valores umbral configurables. La función lee el valor de la señal aplicada en la entrada analógica A_x .

Este valor se multiplica por el valor del parámetro A (Gain). El parámetro B (offset) se suma al producto, es decir:

- $(A_x * Gain) + Offset = \text{valor real } A_x$
- $(A_y * Gain) + Offset = \text{valor real } A_y$

La salida Q se activa o desactiva en función de la diferencia de los valores reales $A_x - A_y$ y de los valores umbral ajustados.

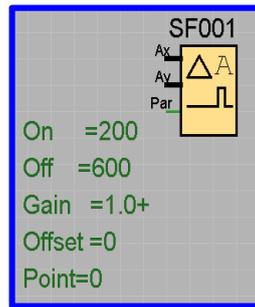


FIGURA Nº 18: REPRESENTACION DEL COMPARADOR ANALOGICO

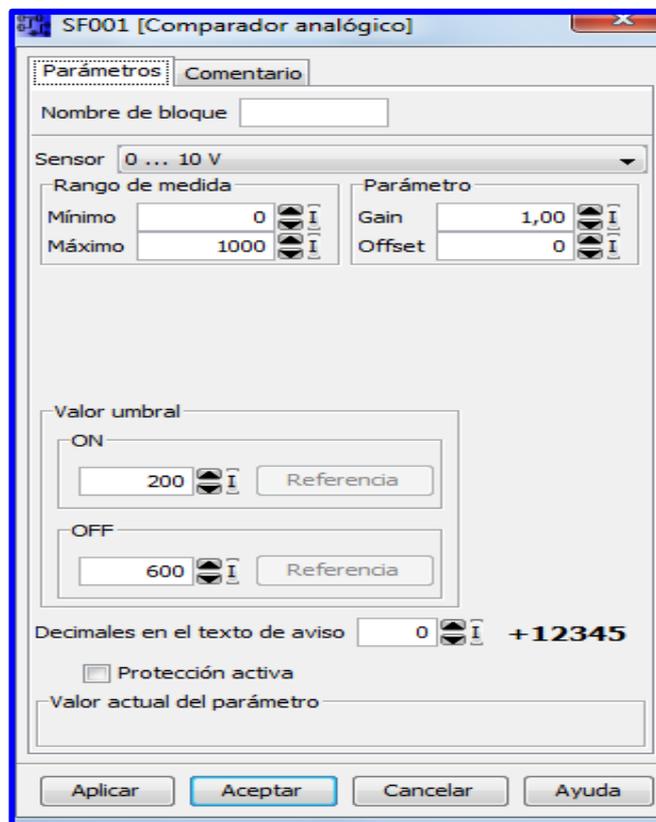


FIGURA Nº 19: CONFIGURACION DEL CONTROLADOR ANALOGICO

✚ **Ejemplo:** Utilizando el software de Simulación Logo Soft, simular el siguiente programa básico de un comparador con dos contactos analógicos.

Considerar los valores umbrales del comparador
ON=200 y OFF=600.

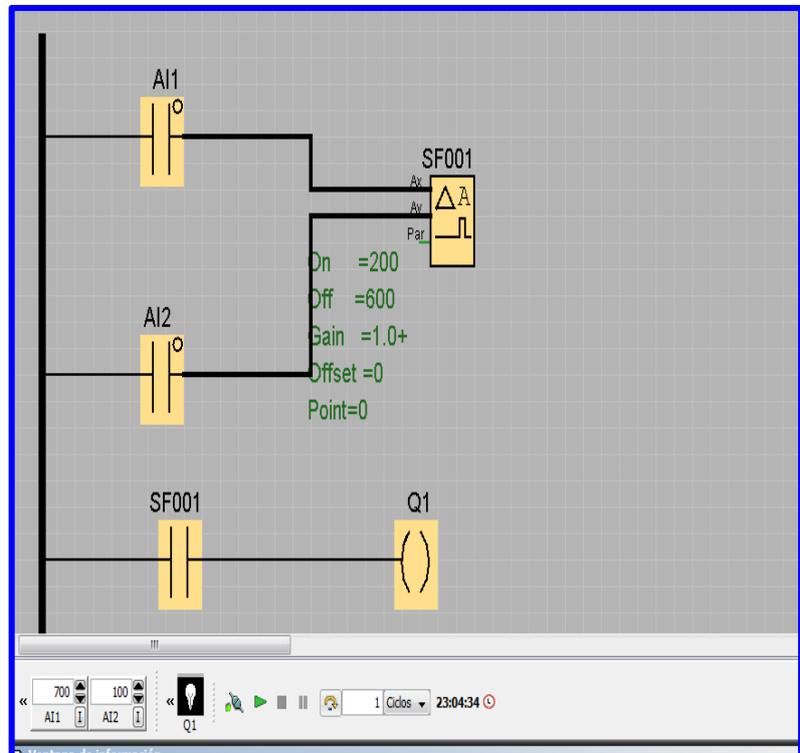


FIGURA Nº 20: EJEMPLO 1

Conmutador Analógico de valor Umbral:

La función lee la señal analógica en la entrada Ax.

Ax se multiplica por el valor del parámetro A (Gain). El valor del parámetro B (Offset) se suma al producto, es decir:

- $(Ax * Gain) + Offset = \text{valor real Ax}$

La salida Q se activa o desactiva en función del umbral de conexión (On) ajustado y del valor diferencial

(Delta). La función calcula el parámetro Off automáticamente:

- $Off = On + Delta$,

Pudiendo ser Delta un valor positivo o negativo.

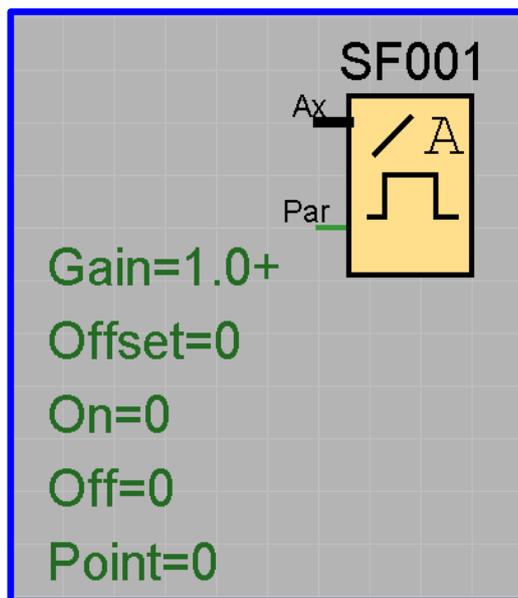


FIGURA Nº 21: CONMUTADOR ANALOGICO DE VALOR UMBRAL

✚ Regla de cálculo

Si ajusta un valor diferencial Delta negativo, el umbral de conexión \geq umbral de desconexión

Y: $Q = 1$, si el valor real $Ax > On$

$Q = 0$, si el valor real $Ax \leq Off$.

Si ajusta un valor diferencial Delta positivo, el umbral de conexión $<$ umbral de desconexión y

$Q = 1$, si: $On \leq$ si el valor real $Ax < Off$.

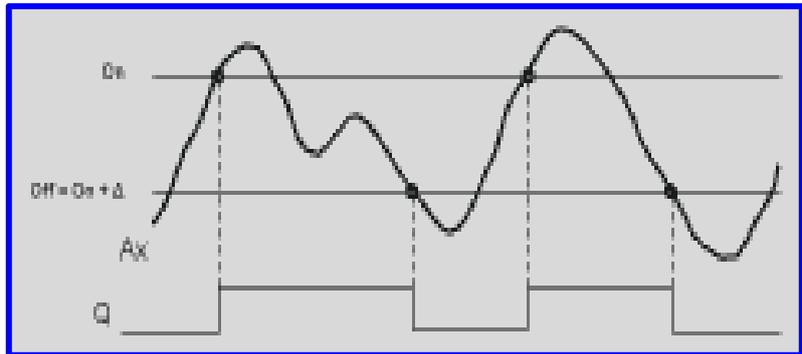


FIGURA Nº 22: FUNCION CON VALOR DIFERENCIAL DELTA NEGATIVO

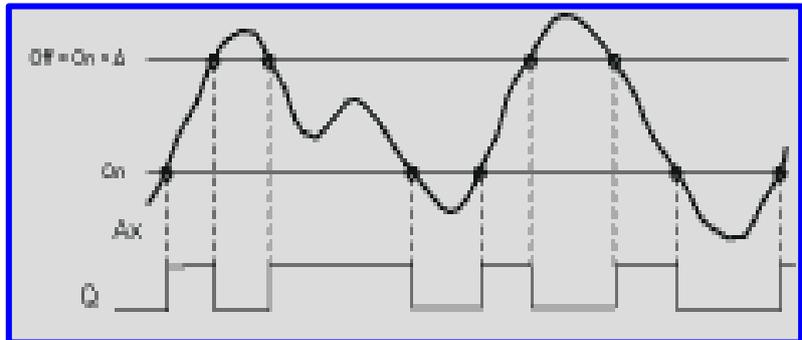


FIGURA Nº23: FUNCION CON VALOR DIFERENCIAL DELTA POSITIVO

Conmutador Analógico de valor Umbral Diferencial

La función de este conmutador es similar al bloque conmutador anterior, con la diferencia de que en este caso no se configura una entrada OFF de desconexión, sino, una entrada umbral "Delta". Es decir la salida se activará cuando el valor de la entrada analógica es mayor que el valor ON del conmutador analógico de valor umbral diferencial. Y esta salida se mantendrá en nivel alto hasta que supere el valor "ON + Delta"

Vigilancia del Valor Analógico

Esta función especial guarda la variable de proceso de una entrada analógica y activa la salida en cuanto la variable de salida es superior o inferior al valor guardado, más un offset configurable.

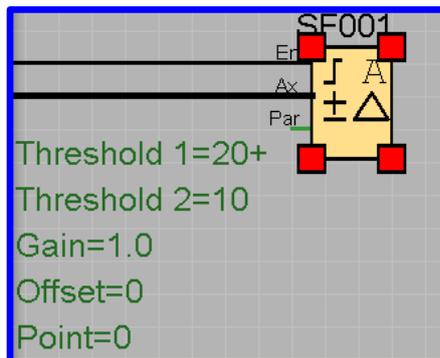


FIGURA Nº 24 FUNCION VIGILANCIA DEL VALOR ANALÓGICO

🔧 Descripción de la función

Si el estado de la entrada "En" cambia de 0 a 1, se guarda el valor de la señal en la entrada analógica Ax. Esta variable de proceso guardada se denomina "Aen". Los valores analógicos reales Ax y Aen se multiplican por el valor del parámetro A (Gain), respectivamente. El parámetro B (Offset) se suma luego al producto del siguiente modo:

- $(Ax * Gain) + Offset = \text{valor real Aen}$, si la entrada En cambia de 0 a 1, o bien
- $(Ax * Gain) + Offset = \text{valor real Ax}$.

La salida Q se activa si la entrada En = 1 y el valor real en la entrada Ax se encuentra fuera del rango $A_{en} + \text{Threshold 1}$ / $A_{en} - \text{Threshold 2}$.

La salida Q se desactiva si el valor real en la entrada Ax se encuentra dentro del rango $A_{en} + \text{Threshold 1}$ / $A_{en} - \text{Threshold 2}$, o bien si la entrada "En" cambia a cero.

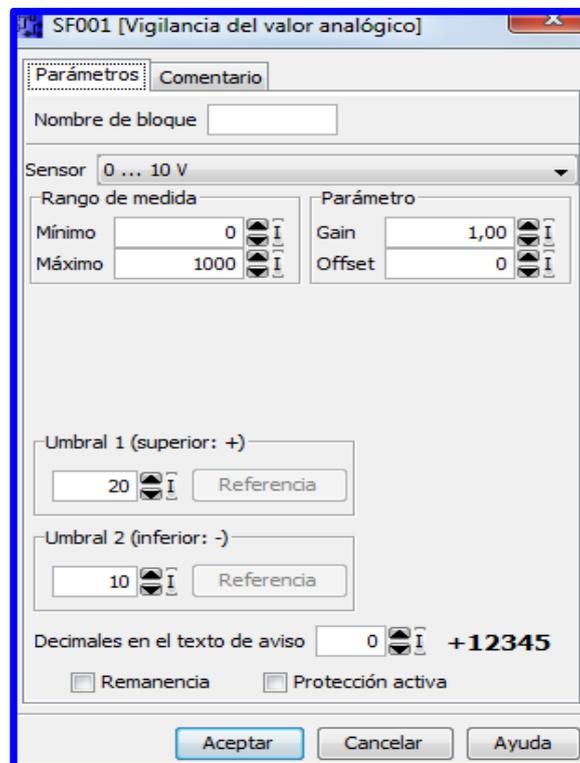


FIGURA Nº 25: PARAMETROS DE VIGILANCIA DEL VALOR ANALOGICO

Amplificador Analógico

Esta función especial amplifica un valor aplicado en la entrada analógica y lo devuelve en la salida analógica.

Descripción de la función

La función lee el valor de una señal analógica aplicada en la entrada analógica Ax.

Este valor se multiplica por el parámetro A (Gain).

El parámetro B (Offset) se suma al producto del siguiente modo:

- $(Ax * Gain) + Offset = \text{valor real Ax}$.

El valor real Ax se devuelve en la salida AQ.

Salida analógica

Si conecta esta función especial con una salida analógica real, recuerde que la salida analógica sólo puede procesar valores comprendidos entre 0 y 1000. Para hacerlo, conecte un amplificador adicional entre la salida analógica de la función especial y la salida analógica real.

Con el amplificador se normaliza el rango de salida de la función especial a un rango de valores de 0 a 1000.

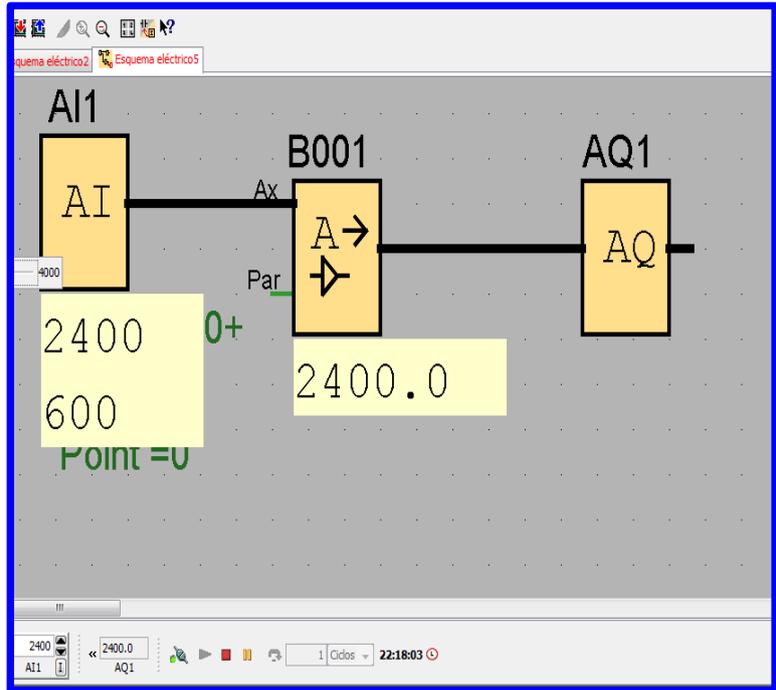


FIGURA Nº 26: PROGRAMACIÓN EN DIAGRAMA DE FUNCIONES (FUP)

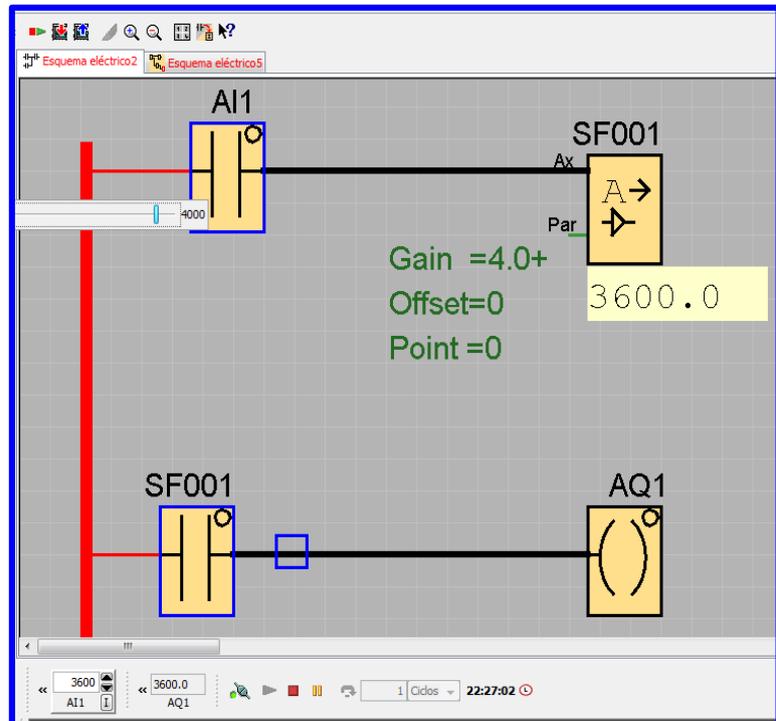


FIGURA Nº 27: PROGRAMACIÓN EN DIAGRAMA DE CONTACTOS

Mux Analógico:

Si se activa la entrada “En”, la función devuelve en la salida “AQ” uno de los cuatro posibles valores analógicos V1 a V4 en función de las entradas S1 y S2. Si la entrada “En” no se activa, la función devuelve el valor analógico 0 en la salida AQ.

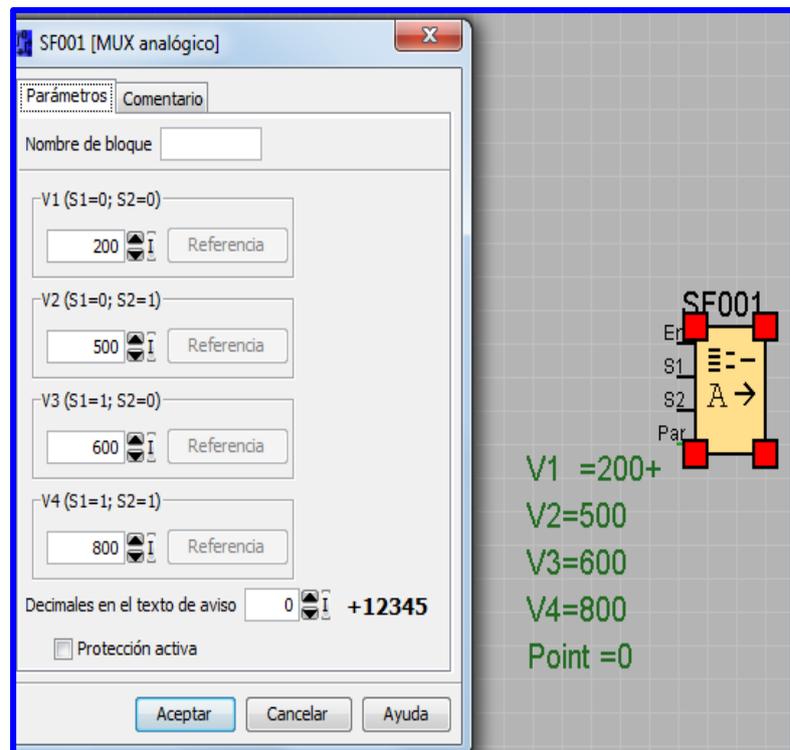


FIGURA Nº 28: CUADRO DE MUX ANALOGICO

Modulador por Ancho de Pulso:

La modulación de ancho de impulsos (PWM) modula el valor de entrada analógico Ax a una señal de salida de impulsos digital. El ancho de impulsos es proporcional al valor analógico Ax.

En otras palabras a la salida de esta función se tendrá una señal periódica, donde la duración del pulso alto es modulada por el valor de la señal analógica conectada a la entrada.

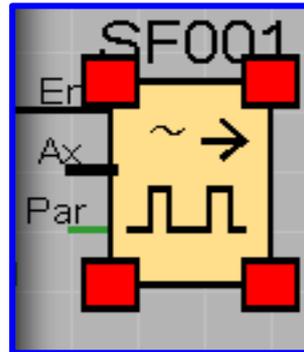


FIGURA Nº 29: REPRESENTACION DEL MODULADOR POR ANCHO DE PULSO

Rango de medida		Parámetro	
Mínimo	0	Gain	1,00
Máximo	1000	Offset	0

Rango mín.: 200

Rango máx.: 500

Tiempo periódico: 10 : 0 Segundos (s:1/100s)

Decimales en el texto de aviso: 0 +12345

Protección activa

FIGURA Nº 30: CUADRO DE PARAMETROS DEL MODULADOR POR ANCHO DE PULSO

✚ Ejemplo: Utilizando el software de Simulación Logo Soft Comfort, simular el siguiente programa básico de la función Modulación por Ancho de Pulso, considerando los siguientes parámetros:

- Rango Min = 200
- Rango Max = 500
- Tiempo periódico (Periodo) = 10 segundos.

Utilizar una entrada discreta como interruptor de habilitación del modulador por ancho de pulsos.

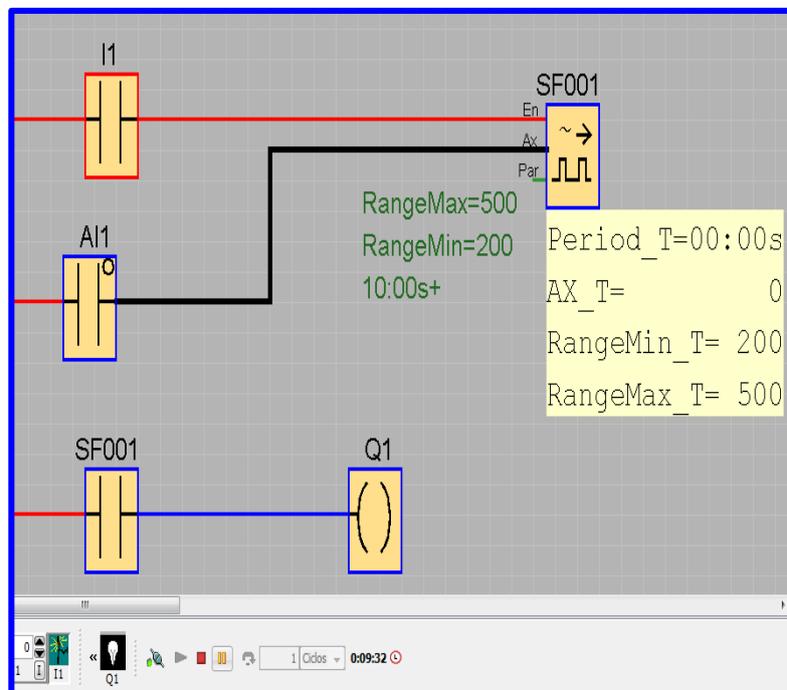


FIGURA Nº 31: PROGRAMACIÓN BÁSICA ACTIVANDO LA ENTRADA DE HABILITACIÓN

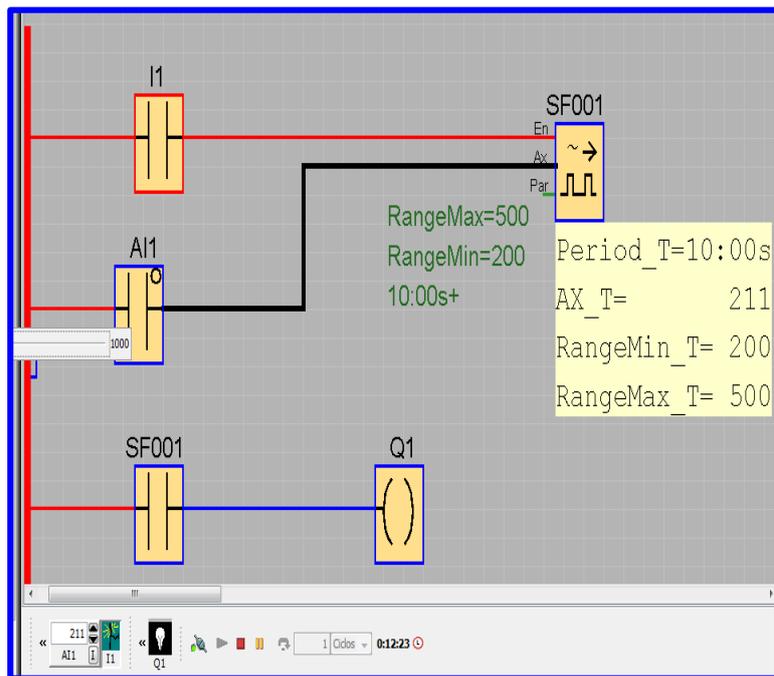


FIGURA Nº 32: UBICACIÓN DE LA ENTRADA ANALÓGICA EN UN VALOR PRÓXIMO A 200

2.2.3 TRATAMIENTO DE EFLUENTES EN LA INDUSTRIA TEXTIL

La industria textil es una industria que consume grandes cantidades de agua, energía y productos químicos auxiliares, además genera una gran cantidad de agua residual; estos efluentes poseen elevadas concentraciones de colorantes, contaminantes orgánicos refractarios, compuestos tóxicos, componentes inhibidores, tensio-activos, componentes clorados.

En la actualidad diversas industrias presentan elevado potencial contaminante debido a que sus procesos productivos generan grandes volúmenes de efluentes de naturaleza refractaria. Estos efluentes son problemáticos, principalmente, por la presencia de

compuestos recalcitrantes que son perjudiciales en plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARs) que solo utilizan sistemas biológicos. Los procesos biológicos, generalmente, no remueven compuestos refractarios. Inclusive, en la mayoría de los casos, altas concentraciones de estos pueden inhibir el rendimiento o ser tóxicos para la biota que es responsable de la remoción de los contaminantes. Por lo tanto, se constituyen en uno de los efluentes de más difícil tratamiento.

La neutralización es el proceso de ajuste de pH del agua por medio de la adición de un ácido o una base, dependiendo del pH objetivo y de otros requerimientos de proceso. La mayor parte de los efluentes pueden ser neutralizados a un pH de 6 a 9 de forma previa a su vertido. En tratamiento químico industrial, se requiere habitualmente la neutralización de la alcalinidad o acidez en exceso. La determinación de las características del agua a neutralizar se logra normalmente en experimentos a escala de laboratorio por medio de la preparación de curvas de valoración, que muestran la cantidad de material alcalino o ácido necesario para ajustar el pH en el agua.

Hay tres componentes críticos en cualquier sistema de control de pH: intensidad de mezcla o tiempo de contacto en el reactor, el tiempo de respuesta del sistema de control y la capacidad del sistema de dosificación para alcanzar los requerimientos del

proceso. Si alguno de esos componentes no está apropiadamente diseñado, se pueden prever problemas significativos en el comportamiento del sistema. Los métodos utilizados para el ajuste de pH se seleccionan en base al coste total porque los costes materiales y las necesidades de equipamiento varían ampliamente en función de los reactivos. El volumen, tipo y cantidad de ácido o álcali a ser neutralizado o parcialmente eliminado son también variables que influyen la selección de un agente químico.

Durante el proceso de teñido se producen efluentes altamente coloridos que afectan negativamente la vida acuática cuando son descargados a ríos y lagos sin tratamiento previo. El color es la cualidad que más influye en la compra de las prendas y muchos otros productos.

Los colorantes en el ambiente

Muchos colorantes son inocuos y no tóxicos a las concentraciones descargadas dentro de los cuerpos de agua receptores. Sin embargo, una gran cantidad de colorantes se sintetizan a partir de compuestos carcinogénicos tales como la bencidina y otros compuestos aromáticos, liberando al degradarse en el ambiente estos compuestos tóxicos. Además muchos efluentes textiles presentan valores elevados de temperatura, pH, conductividad y

DQO, por lo que los métodos biológicos resultan ineficaces en el tratamiento de los efluentes textiles.

Grado de fijación de los colorantes

Durante el proceso de teñido, cierta cantidad del colorante no es capaz de interactuar con el sustrato textil, permaneciendo en el baño de tintura.

Tipo de colorante	Fibra textil	Grado de fijación (%)
Dispersos	Poliéster	90-100
Directos		70-95
Cuba	Algodón	80-95
Reactivos		50-90

TABLA Nº 01: GRADO DE FIJACION DE LOS COLORANTES

Parámetros de calidad del agua

La calidad del agua puede evaluarse en términos de:

- ✚ Temperatura: elevada disminuye la solubilidad del O₂ y aumenta la de las sales.
- ✚ pH: mide la acidez o basicidad del medio acuoso.
- ✚ Color: reduce la penetración de la radiación solar en los cuerpos de agua, alterando los procesos de fotosíntesis.
- ✚ Conductividad eléctrica: indica el contenido de sales en el agua.
- ✚ Sólidos: indica la presencia de compuestos solubles e insolubles presentes en el agua.

- ✚ Demanda química de oxígeno (DQO): es una medida de la cantidad de materia orgánica presente en el agua.
- ✚ Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): es una medida de la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en el agua.

Tipo de Colorante	T (°C)	pH	Conductividad (mS/cm)	Sólidos totales (mg/L)	DQO (mg/L)
Verde Directo	50	9.2	54.8	50,330	652
Azul Directo	50	10.4	31.1	39,780	786
Azul Reactivo	40	11.5	46.9	30,290	3651
Rojo Reactivo	40	11.1	28.4	19,320	822
Gris Cuba	40	11.9	13.5	11,140	3360
Negro Cuba	40	8.7	8.6	17,590	19740

TABLA Nº 02: CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL CONTENIENDO DIFERENTES TIPOS DE COLORANTES

2.2.3.1 FUNDAMENTOS SOBRE NEUTRALIZACIÓN

La neutralización es el proceso por el cual, y mediante una reacción química, un ácido entra en contacto con una base, para formar una sal y agua.

En el proceso de neutralización puede realizarse en tanques resistentes a la corrosión, en estanques o en lechos filtrantes, generalmente de piedra caliza. La neutralización en tanque requiere de una agitación intensa para que la reacción ocurra de forma

homogénea así como para facilitar el desprendimiento de calor de estas reacciones, normalmente exotérmicas. El tiempo de residencia en el reactor, del residuo y del agente neutralizante, oscila entre 5 y 15 minutos, para que la reacción sea efectiva, siendo preciso, en los casos que formen compuestos insolubles, someter, a posteriori, el flujo residual a un proceso físico de sedimentación.

La reacción de neutralización debe controlarse de forma estricta con dosificadores de reactivos, activados mediante sensores unidos a mecanismos motorizados, para control de pH y caudal de entrada.

El pH es el indicador de referencia para la neutralización. Se define como el logaritmo negativo de la actividad del ion H^+ en disolución, siendo aproximada la actividad, en aguas de fuerza iónica baja por la concentración.

$$pH = -\log[H^+]$$

FIGURA N° 33: REPRESENTACION DEL PH

El proceso de neutralización no se haya limitado a llevar el pH a 7; no varía aunque el ajuste de pH sea

diferente dependiendo del proceso hacia el que se dirige el agua. Algunos procesos químicos importantes, en los que el pH juega un papel significativo y se requiere normalmente del uso de la neutralización son la adsorción de metales, bioadsorción, precipitación química, suavizado del agua, coagulación u oxidación.

Acidez y alcalinidad

La alcalinidad es la capacidad del agua de neutralizar ácidos, mientras que la acidez es la capacidad del agua de neutralizar bases. La cantidad de ácido o base a utilizar en el proceso de neutralización depende de la cantidad respectiva de acidez y alcalinidad.

Capacidad tampón

La palabra buffer o “tampón” significa resistente al cambio. En química medioambiental, los buffers son siempre definidos en el contexto del pH. Los buffers de pH son aquellos que resisten cambios en la solución de pH cuando se añaden un ácido o una base en la disolución. Son muy importantes en procesos de neutralización química. Los buffers se componen normalmente de una mezcla de ácido débil y su sal conjugada o bases débiles con su ácido conjugado.

En aguas naturales y residuales, la capacidad tamponante aumenta debido a la presencia de fosfatos, carbonatos, y otros ácidos orgánicos débiles. Si la capacidad tamponante del agua o del agua residual a ser neutralizada no se tiene en cuenta, la cantidad actual de reactivo neutralizante requerida puede variar ampliamente y causa problemas operacionales.

2.2.3.2 AGENTES NEUTRALIZANTES

Los reactivos que mayor utilización presentan, para la neutralización de flujos residuales de origen industrial son los siguientes:

Hidróxido cálcico

Se trata de un producto químico muy utilizado en reacciones de neutralización debido a su bajo precio, aunque presenta los inconvenientes de su baja solubilidad en agua, su lenta velocidad de reacción y la formación de precipitados, como es el caso de los residuos conteniendo ácido sulfúrico, al organizarse sulfato cálcico, lo que obligara a utilizar un decantador posteriormente.

Carbonato cálcico

Presenta los mismos inconvenientes que el reactivo anterior en cuanto a la cinética de la reacción, además de ser muy insoluble en agua. Al tratarse de reactivos de origen natural, llevan formando parte de su composición, otros elementos que provocan la aparición de gran cantidad de lodos. Su utilización está recomendada para neutralizar flujos residuales muy ácidos a través de lechos filtrantes de este material, aprovechando, también su bajo precio en el mercado. Suele producir CO_2 como resultado de la neutralización.

Soda caustica

Se considera como el agente neutralizante más efectivo para tratar flujos residuales ácidos, aunque presenta el inconveniente de su elevado coste, en comparación con los reactivos previamente estudiados.

Presenta, igualmente, una elevada velocidad de reacción que permite su empleo a grandes concentraciones, no requiriendo grandes equipos de dosificación.

Ácido sulfúrico

Es el reactivo más utilizado para la neutralización de flujos residuales alcalinos, por su coste, competitivo respecto a otros agentes neutralizantes, y su fácil manipulación. En cuanto al comportamiento químico, es de resaltar el carácter corrosivo que presenta a bajas concentraciones, aunque puede ser almacenado en tanques de acero al carbono, cuando se encuentra a altas concentraciones, así como la formación de precipitados con metales alcalino-térreos.

Ácido clorhídrico

Este reactivo neutralizante de flujos residuales alcalinos, se caracteriza por su coste, superior al anterior, una corrosividad alta a cualquier concentración y la posibilidad de formación de gases tóxicos en las reacciones donde interviene.

Gases de combustión

Estos gases, con un contenido en CO_2 de alrededor de 15%, en contacto con agua, forma H_2CO_3 (ácido carbónico), utilizable para neutralizar sustancias básicas. El proceso consiste en hacer burbujear los gases en el flujo residual líquido o mediante la

utilización de una columna con elementos de relleno, como los anillos Raschig.

2.2.3.3 IMPORTANCIA DEL pH EN LAS INDUSTRIAS

En la mayoría de los procesos industriales es muy importante el control de los niveles de pH que presenten los productos que son elaborados o las soluciones que serán utilizadas para alguna parte del proceso. Su medición se emplea normalmente como indicador de calidad, es por ello que su regulación es muy importante.

En la actualidad hay muchas industrias que realizan un control manual de pH, que resta eficiencia y productividad a la planta. Hay que tener en cuenta que un valor distinto de la consigna puede causar acidez de la solución o activación de bacterias.

Concepto de pH

El potencial Hidrógeno (pH) es una forma convencional y muy conveniente de expresar según una escala numérica adimensional, el grado de acidez o basicidad de soluciones acuosas diluidas. Es en realidad una medida de la actividad de los iones hidrógeno en una solución electrolítica.

Aplicando una definición matemática se expresan los términos con una letra 'p' minúscula que antepone al símbolo como 'logaritmo negativo del símbolo'. De esta manera el pH es el negativo del logaritmo de la concentración molar de iones hidrógeno. Hay que tener en cuenta que se trabaja con pH en lugar de pH_3O debido a que el ión H_3O es representado por H^+ . La facilidad de trabajar con esta definición radica en que se genera una escala más fácil de visualizar, de lo contrario se trabajarían con números muy pequeños.

Por ejemplo, si se dispone de una concentración de 0.0000001 moles/L de H^+ , es mucho más cómodo trabajar con el logaritmo negativo que vale 7, que con 0.0000001. La medida de pH es muy útil para medir la acidez o basicidad de una sustancia, el rango de pH se encuentra entre 0 y 14.

Siendo la zona ácida la que tiene valores de pH menores a 7 ($[\text{H}^+] > [\text{OH}^-]$) y la zona básica la que tiene valores de pH mayores a 7 ($[\text{H}^+] < [\text{OH}^-]$). Si el valor de pH es 7, la solución será neutra, lo que significa que la concentración de ácido es igual a la de base ($[\text{H}^+] = [\text{OH}^-]$).

[H ⁺]	pH	pOH	[OH ⁻]
10 ⁻¹⁴	14	0	1
10 ⁻¹³	13	1	10 ⁻¹
10 ⁻¹²	12	2	10 ⁻²
10 ⁻¹¹	11	3	10 ⁻³
10 ⁻¹⁰	10	4	10 ⁻⁴
10 ⁻⁹	9	5	10 ⁻⁵
10 ⁻⁸	8	6	10 ⁻⁶
10 ⁻⁷	7	7	10 ⁻⁷
10 ⁻⁶	6	8	10 ⁻⁸
10 ⁻⁵	5	9	10 ⁻⁹
10 ⁻⁴	4	10	10 ⁻¹⁰
10 ⁻³	3	11	10 ⁻¹¹
10 ⁻²	2	12	10 ⁻¹²
10 ⁻¹	1	13	10 ⁻¹³
1	0	14	10 ⁻¹⁴

TABLA N° 03: RELACIONES ENTRE pH, pOH, [H⁺] Y [OH⁻]

Métodos de medición del pH

El pH de una solución puede medirse de distintas maneras y usando distintos instrumentos. Entre ellos encontramos:

Papel indicador

También conocido como papel tornasol, es el método más barato e inexacto respecto a los demás. El papel está impregnado con indicador universal que al ser introducido en la solución a analizar, toma un color diferente que luego debe

compararse con un diagrama de colores para obtener el valor aproximado de pH de la solución. El más conocido es el papel tornasol o papel de litmus.

Uso de sustancias químicas

Estas sustancias adquieren un color distinto a cada valor diferente de pH. Es por ello que estas sustancias se agregan a las soluciones de pH desconocido para luego compararlas con soluciones estándar de pH conocido que también han sido afectadas por este indicador químico. Se usan frecuentemente el naranja de metilo y la fenolftaleína.

pH-metro

Es un sensor que realiza internamente una medida de la diferencia de potencial entre dos electrodos, uno de referencia (generalmente 7) y otro de medida (externo). Por lo tanto, se tiene un preciso valor de diferencia de potencial y con un amplificador se puede obtener la medida exacta del valor de pH de una solución.

Valoraciones ácido-base y cambios en el pH

Las valoraciones son importantes para los estudios cuantitativos de las reacciones ácido-base y se realiza agregando gradualmente una disolución patrón (conocida) sobre una de concentración desconocida hasta completar la reacción química. En este proceso se va graficando la variación del nivel de pH a medida en que se va a agregando más disolución patrón.

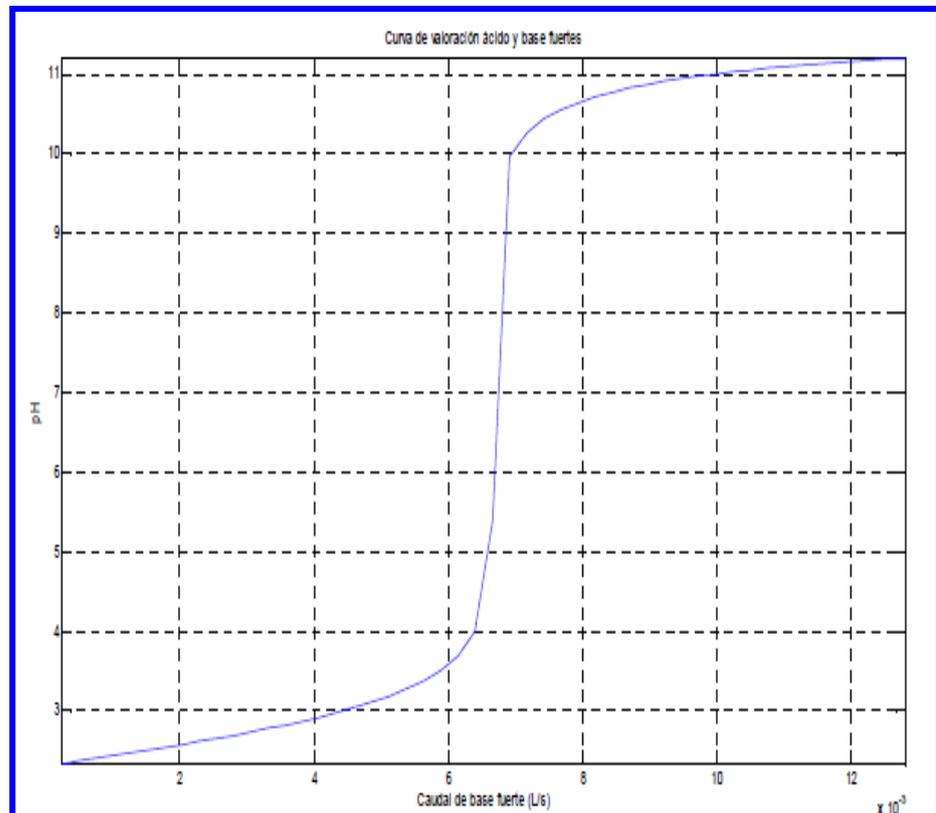


FIGURA Nº 34: CURVA DE VALORACIÓN ÁCIDO Y BASE FUERTES

Las curvas de valoración difieren en los casos que se traten reacciones de: ácido fuerte base fuerte, ácido fuerte-base débil, ácido débil-base fuerte y ácido débil y

base débil. Debido a que los productos obtenidos son sales y aguas, trataremos un poco estos tipos de sales.

Importancia del pH en aplicaciones industriales

La inspección y regulación del pH es de vital importancia en muchas de las aplicaciones industriales por su empleo constante en los subprocesos. Las aplicaciones se encuentran en muchos campos tales como: tratamiento de la pureza del agua en las entradas a las calderas, regulación de la velocidad de reacciones químicas, tratamiento y neutralización de aguas residuales para su posterior utilización, regulación de acidez y control de activación de bacterias en la cerveza, regulación del pH en la fermentación del etanol, sulfitación⁴ en el jugo de caña, entre otros.

Como aguas residuales se les conoce a los residuos líquidos provenientes de las distintas áreas y procesos de cada industria. Si esta agua fuera directamente arrojada al medio ambiente, se produciría una contaminación ambiental masiva, ya que esta agua normalmente es portadora de productos químicos muy dañinos para la persona y plantas. Por ello nace la necesidad de procesar esta agua en una planta de

tratamiento de aguas residuales o efluentes, en las que se aplican tratamientos físicos, biológicos y químicos, para arrojarla sin los residuos dañinos.

La etapa física tiene por objetivo el asentamiento de sólidos pesados, reducción de aceites, grasas y arenas. La etapa biológica, tiene por objetivo degradar las bacterias y otros contenidos biológicos de las aguas residuales. En la última etapa se aplica un proceso de desinfección cuyo objetivo es llevar el agua a los estándares aprobados por cada legislación antes de su descarga. Es para esta etapa que se emplea la medida y regulación de pH, siendo muy importante para cumplir dichos estándares.

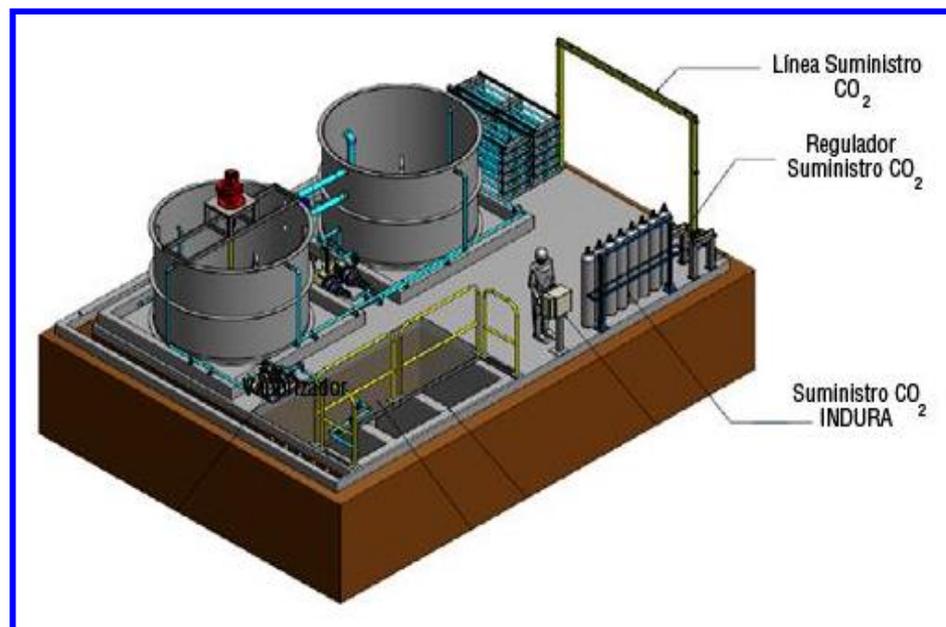


FIGURA N° 35: CONTROL DE pH DE UN PROCESO DE TANQUE DE NEUTRALIZACION

2.3 MARCO CONCEPTUAL

- ✚ ADAPTADOR: son tarjetas de circuitos impresos que se incorporan a la unidad central de procesamiento para controlar un determinado dispositivo.
- ✚ AGUA RESIDUAL: Agua que ha recibido un uso y cuya calidad ha sido degradada por la incorporación de agentes contaminantes.
- ✚ ALGORITMO: secuencia de pasos que conforman una tarea específica, usualmente en el ámbito computacional.
- ✚ AUTOMATIZACIÓN: aplicación de procedimientos automáticos a un aparato, proceso o sistema.
- ✚ BUFFER: memoria dedicada a almacenar temporalmente la información que debe procesar un dispositivo hardware para que éste pueda hacerlo sin bajar el rendimiento de la transferencia.
- ✚ CALIDAD DEL AGUA: Conjunto de atributos físicos, químicos biológicos y organolépticos que se le asignan al agua en función de su uso y que son requeridas para la protección de la salud humana, tanto en el consumo humano como en usos recreativos y productivos.
- ✚ CAUDAL: Relación del volumen de agua que pasa a través de una sección por unidad de tiempo. Puede expresarse en metros cúbicos por segundo o en litros por segundo.
- ✚ CAUDAL TRATADO: Volumen expresado en litros por segundo sometido al proceso de tratamiento de agua potable o de agua residual.
- ✚ CIRCUITO INTEGRADO: es una pastilla o chip muy delgado en el que se encuentran miles o millones de dispositivos electrónicos.

- ✚ CONTAMINACIÓN: Incorporación a un cuerpo de agua natural de cualquier sustancia que conlleve el deterioro de la calidad física, química o biológica de éste.
- ✚ CONTROLADOR P: dispositivo con una salida que varía para regular una variable de control de una manera específica en este caso de tipo proporcional.
- ✚ CONTROLADOR PI: dispositivo con una salida que varía para regular una variable de control de una manera específica en este caso de tipo proporcional – integral.
- ✚ CONTROLADOR PID: dispositivo con una salida que varía para regular una variable de control de una manera específica en este caso de tipo proporcional – integral – derivativo.
- ✚ DESINFECCIÓN: Proceso que consiste en eliminar los organismos patógenos presentes en el agua, mediante el uso de equipos especiales o sustancias químicas. Se puede emplear el cloro gaseoso, hipoclorito de sodio, dióxido de cloro, hipoclorito de calcio.
- ✚ DESINFECCIÓN DEL AGUA: Corresponde a un proceso físico químico unitario cuyo objetivo es garantizar la inactivación o destrucción de los agentes patógenos en el agua a utilizar para consumo humano.
- ✚ DRIVER: pequeño programa cuya función es controlar el funcionamiento de un dispositivo del ordenador bajo un determinado sistema operativo.
- ✚ EFLUENTE: Caudal que sale de la última unidad de tratamiento.

- ✚ ENTRADA: Excitación que se aplica a un sistema de control desde una fuente de energía externa, con el fin de provocar una respuesta.
- ✚ EXTRACTOR: dispositivo terminal de aire que se instala encima de un conducto de extracción de ventilación natural, con ayuda del cual, creando una presión negativa y dependiendo de la velocidad del viento, se puede evitar el rebufo y aumentar el caudal. Puede incluir o no partes móviles.
- ✚ FILTRACIÓN: Proceso mediante el cual se obtiene una mayor clarificación del agua.
- ✚ GESTIÓN AMBIENTAL: Estrategia que debe utilizar el prestador para lograr la sostenibilidad del servicio, así como la protección, conservación, recuperación y preservación del recurso hídrico y su entorno.
- ✚ HEXADECIMAL: se refiere al sistema numérico en base 16, que consiste de 16 símbolos: los números del 0 al 9 y letras, de la A a la F.
- ✚ INTERFASE: es el dispositivo hardware o protocolo de programación encargado de realizar la adaptación que haga posible la conexión entre dos sistemas o elementos de la unidad central de procesamiento, entre unidades o con el usuario.
- ✚ NEUTRALIZACIÓN: la neutralización es una reacción que se da entre los iones hidróxido de una base y los iones hidrógeno de un ácido, para formar moléculas de agua.
- ✚ PERTURBACIÓN: Señales no deseadas que influyen de forma adversa en el funcionamiento del sistema.

- ✚ pH: Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.
- ✚ SALIDA: Respuesta que proporciona el sistema de control.
- ✚ SIMULACIÓN: es la experimentación con un modelo de una hipótesis o un conjunto de hipótesis de trabajo.
- ✚ SISTEMA: Conjunto de elementos que relacionados entre sí ordenadamente, contribuyen a alcanzar un objetivo.
- ✚ SISTEMA DE CONTROL: es un conjunto de dispositivos de control de entrada lógicos y de salida que sirven para controlar procesos.
- ✚ SWITCH: conmutador o interruptor de un aparato eléctrico.
- ✚ TANQUE DE ALMACENAMIENTO: Depósito de agua en un sistema de acueducto cuya función es almacenar agua en horas de bajo consumo y descargar en horas de alto consumo, compensando las variaciones de consumo a lo largo del día. También acumula agua para situaciones de incendio y emergencias.
- ✚ TANQUE SÉPTICO: Unidad de tratamiento primario de aguas residuales que combina la sedimentación y la biodigestión de las aguas residuales ordinarias como solución para viviendas unifamiliares u otras actividades con caudales menores a 150 m³ /mes. Los sólidos sedimentados acumulados se remueven periódicamente y se descargan normalmente en una instalación de tratamiento de lodos.
- ✚ VERTIDO: Es la descarga final de un efluente a un cuerpo receptor o alcantarillado sanitario.

CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO AUTOMATIZADO

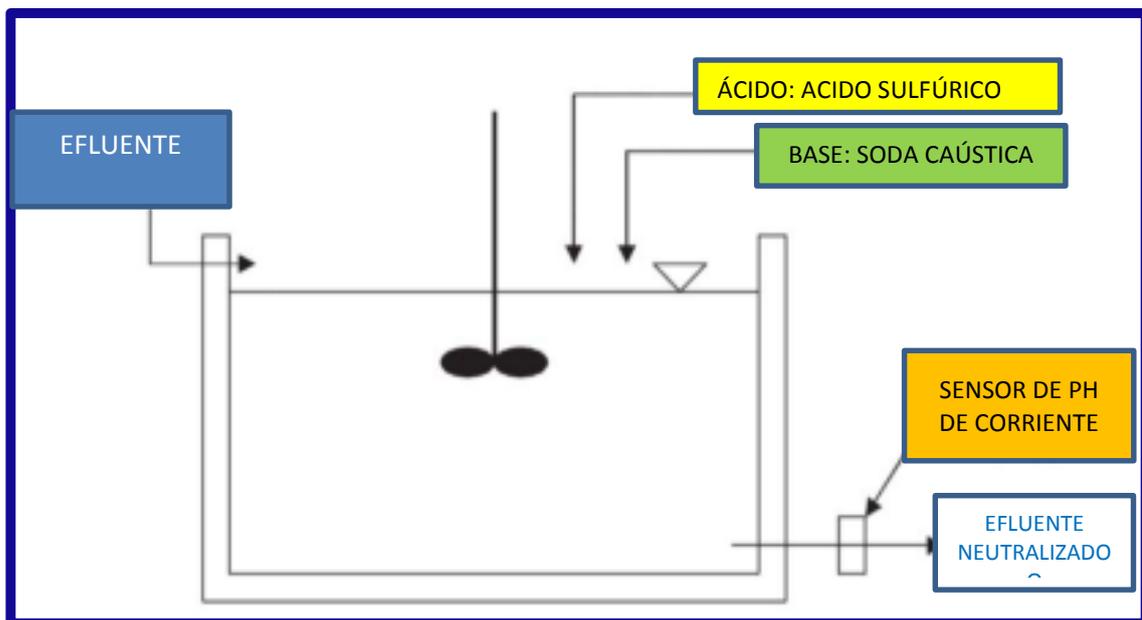


FIGURA N° 36: TANQUE DE NEUTRALIZACIÓN CON MONITOREO DE PH

El proceso a automatizar hace referencia a un tanque de neutralización, el cual utiliza dos válvulas para dosificar de ácido o base al efluente, con el propósito de mantener estable el nivel de pH. El control de pH se hace necesario controlarlo ya que determinará la calidad del tratamiento del efluente.

El sistema automatizado para el control de pH, consistirá en un sensor que suministra una corriente de 4 a 20 mA como parte de la lectura de pH comprendida entre 0 a 14.

Este sistema permitirá que se configure en el proceso el nivel de pH deseado (0 a 14) a través de un codificador binario de 4 bits conectado a las entradas I1 a I4 del controlador Lógico Programable.

Con la finalidad de automatizar la dosificación de los insumos relacionados al proceso de neutralización, es decir la cantidad de ácido (Ácido Sulfúrico) y base (Hidróxido de Sodio), es que el sistema sensorará constantemente el nivel de pH de la mezcla, identificando la diferencia con el valor de consigna deseado y el valor actual obtenido, de tal manera que haciendo un control ON – OFF, aperturará las válvulas relacionados al ácido y a la base.

Cuando el pH se encuentra un 10% sobre el valor seleccionado, activará la válvula relacionada al Hidróxido de Sodio (Q2: salida del PLC) y cuando

el pH se encuentra un 10% debajo del valor seleccionado activará la válvula relacionada al Ácido sulfúrico (Q1: Salida del PLC)

En Caso de estar dentro de los márgenes del $\pm 10\%$ del punto de consigna, ambas salidas estarán desactivadas. A continuación se identifica las entradas y las salidas del proceso:

ENTRADAS DEL PROCESO		
N°	SENSOR	DENOMINACIÓN
1	Pulsador de parada	PP
2	Entrada de consigna 1 del PH (Más Significativo)	S1
3	Entrada de consigna 2 del PH	S2
4	Entrada de consigna 3 del PH	S3
5	Entrada de consigna 4 del PH (Ms Significativo)	S4
6	Sensor Analógico	PH

TABLA N° 04: ENTRADAS DEL PROCESO

SALIDAS DEL PROCESO		
N°	ACTUADOR	DENOMINACIÓN
1	Contactador de la Válvula 1	KM1
2	Contactador de la Válvula 2	KM2

TABLA N° 05: SALIDAS DEL PROCESO

A partir de la identificación de las entradas y salidas del proceso se procederá a establecer una relación con las entradas y salidas del Controlador Lógico programable.

DIRECCIONAMIENTO DE ENTRADAS	
ENTRADAS DEL PROCESO	ENTRADAS DEL PLC
Entrada de consigna S1	I1 (1 bit)
Entrada de consigna S2	I2 (1 bit)
Entrada de consigna S3	I3 (1 bit)
Entrada de consigna S4	I4 (1 bit)
Pulsador de Parada	I5 (1 bit)
Sensor Analógico de pH	AI1

TABLA N° 06: DIRECCIONAMIENTO DE ENTRADAS

DIRECCIONAMIENTO DE SALIDAS	
SALIDAS DEL PROCESO	SALIDAS DEL PLC
KM1	Q1 (1 bit)
KM2	Q2 (1 bit)

TABLA N° 07: DIRECCIONAMIENTO DE SALIDAS

En referencia al direccionamiento de entradas y salidas, es que determino el tipo de PLC a utilizar. En este caso se requiere utilizar un PLC que posea 5 entradas discretas, una entrada analógica y 2 salidas discretas. Por lo tanto elegí utilizar el Nano PLC LOGO 230 RC.

Ahora que ya determiné el tipo de PLC, procedo a realizar la conexión de sensores y actuadores.

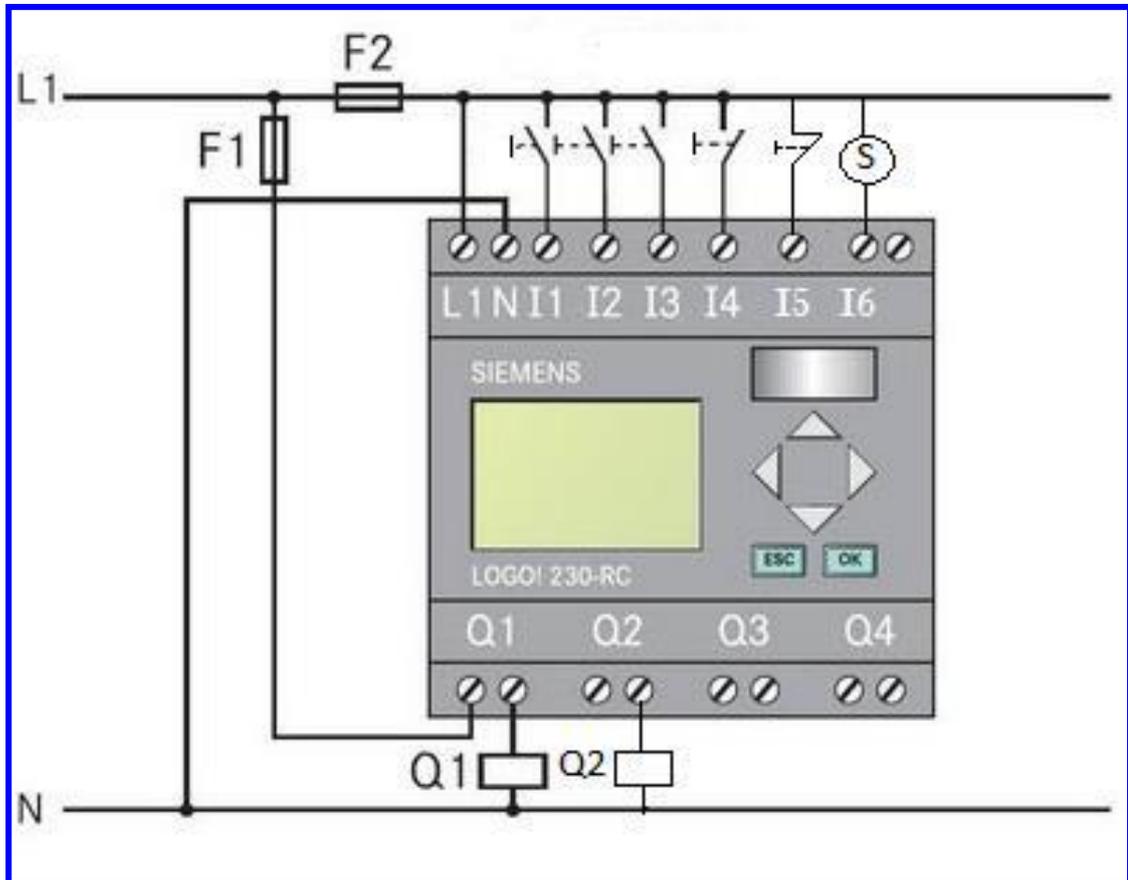


FIGURA N° 37: CONEXION DE SENSORES Y ACTUADORES CON EL PLC

3.2 DESARROLLO DE LA PROGRAMACIÓN DEL AUTOMATISMO

A continuación procederé a realizar la programación del Controlador Lógico Programable, para lo cual utilizare la programación en diagrama de contactos.

La siguiente imagen muestra la estructura del segmento de la programación relacionada con la definición del valor de consigna, referente al pH deseado.

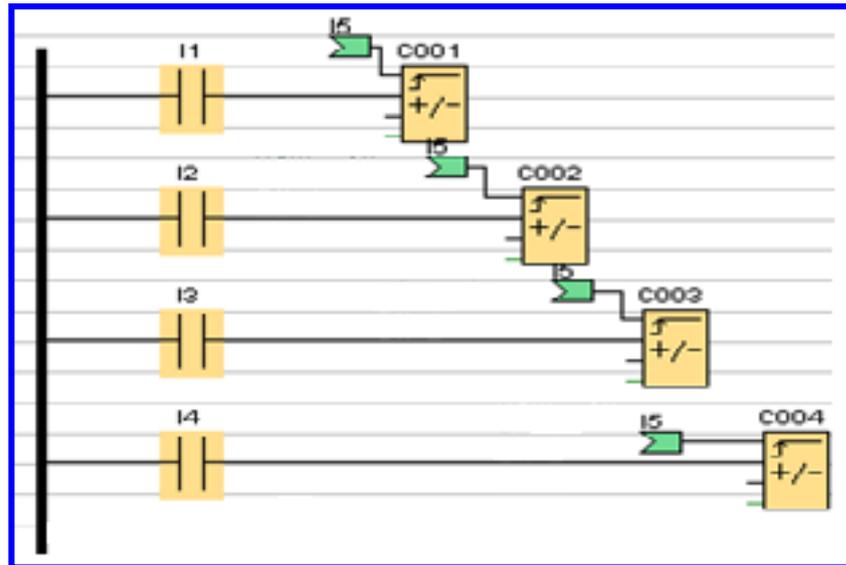


FIGURA N° 38: PROGRAMACIÓN – DEFINICION DE LA SEÑAL DE CONSIGNA

Dependiendo que número se quiera ingresar se tendrá que presionar los pulsadores codificando en número binario a partir de la entrada de I1 a I4, con el cual en el contador se quedara registrado el pulso dado.

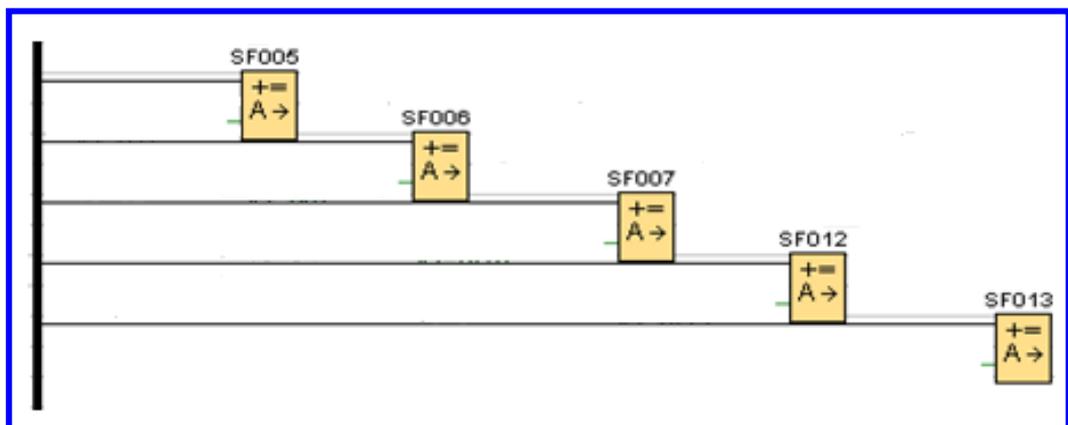


FIGURA N° 39: PROGRAMACIÓN – CONVERSIÓN ARITMÉTICA

Luego que cada contador tenga un dígito determinado se empleará una instrucción aritmética para la conversión de binario a decimal usando los bloques SF005 y SF006 colocando como resultado al Bloque SF007.

Luego los bloques SF012 y SF013 se sumaran y restaran 10% respectivamente con el valor SF007.

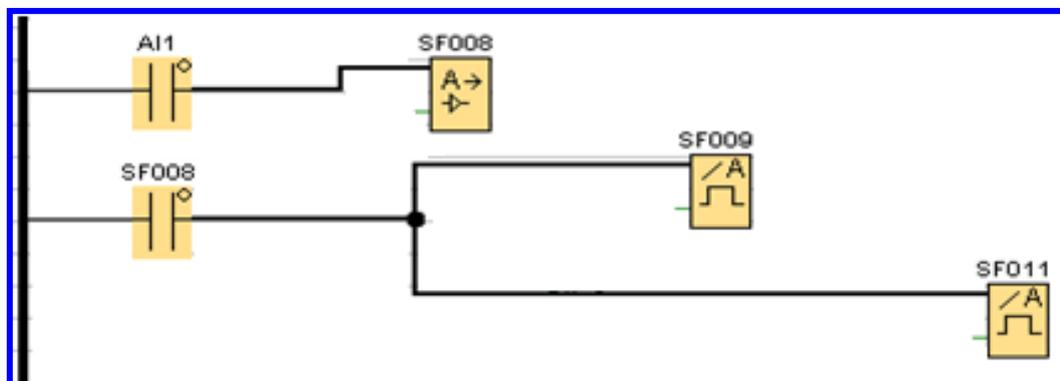


FIGURA N° 40: PROGRAMACIÓN – PARAMETRIZACIÓN DEL VALOR MAXIMO Y MÍNIMO

AI1 es la entrada analógica donde se conectara al Amplificador analógico parametrizando el valor Max y Min. Conectando el conmutador analógico de valor umbral se parametriza según como la condición definida.

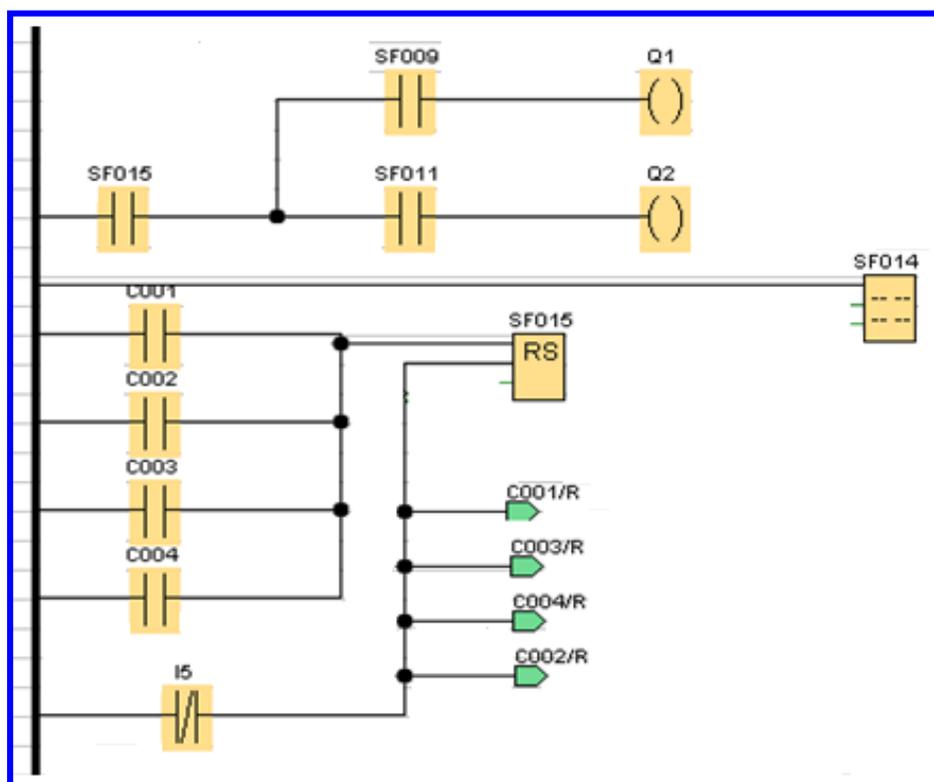


FIGURA N° 41: PROGRAMACIÓN – PARAMETRIZACIÓN DEL VALOR MAXIMO Y MÍNIMO

Dependiendo del valor que proporcione el sensor de pH, se activara Q1 si el valor es inferior al valor de consigna y se activará Q2 si el valor es superior al valor de consigna. Y si el valor se encuentra dentro del rango pre establecido las válvulas relacionadas a las salidas Q1 y Q2 del PLC estarán desactivados.

3.3 REVISIÓN Y CONSOLIDACION DE RESULTADOS

En la ejecución del programa de automatización del controlador Lógico Programable LOGO 230 RC, se tiene:

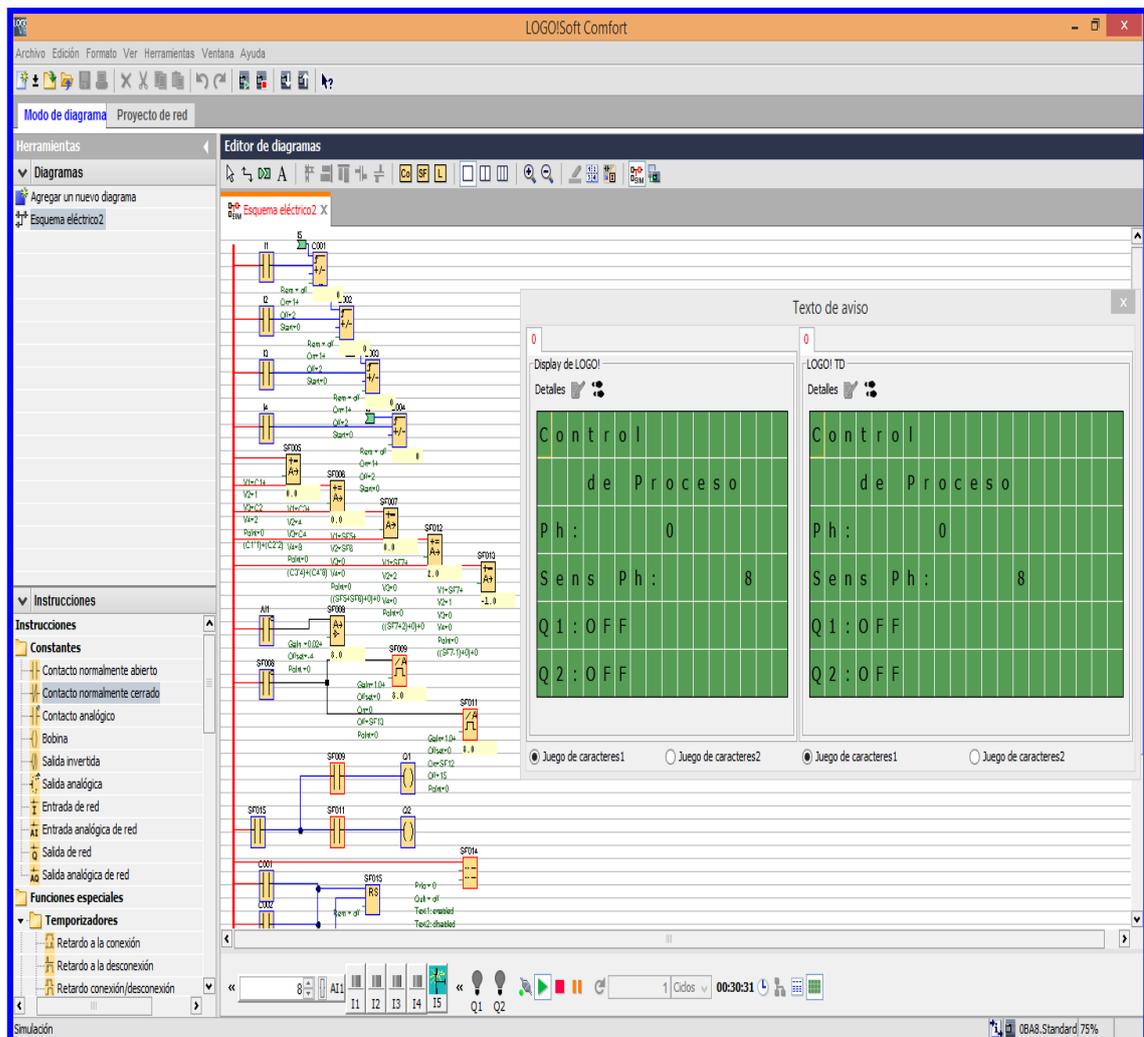


FIGURA N° 42: INICIO DE LA PROGRAMACIÓN DE CONTROL DE UN PROCESO DE TANQUE DE NEUTRALIZACIÓN SIMULANDO CON EL PROGRAMA LOGO! SOFT.

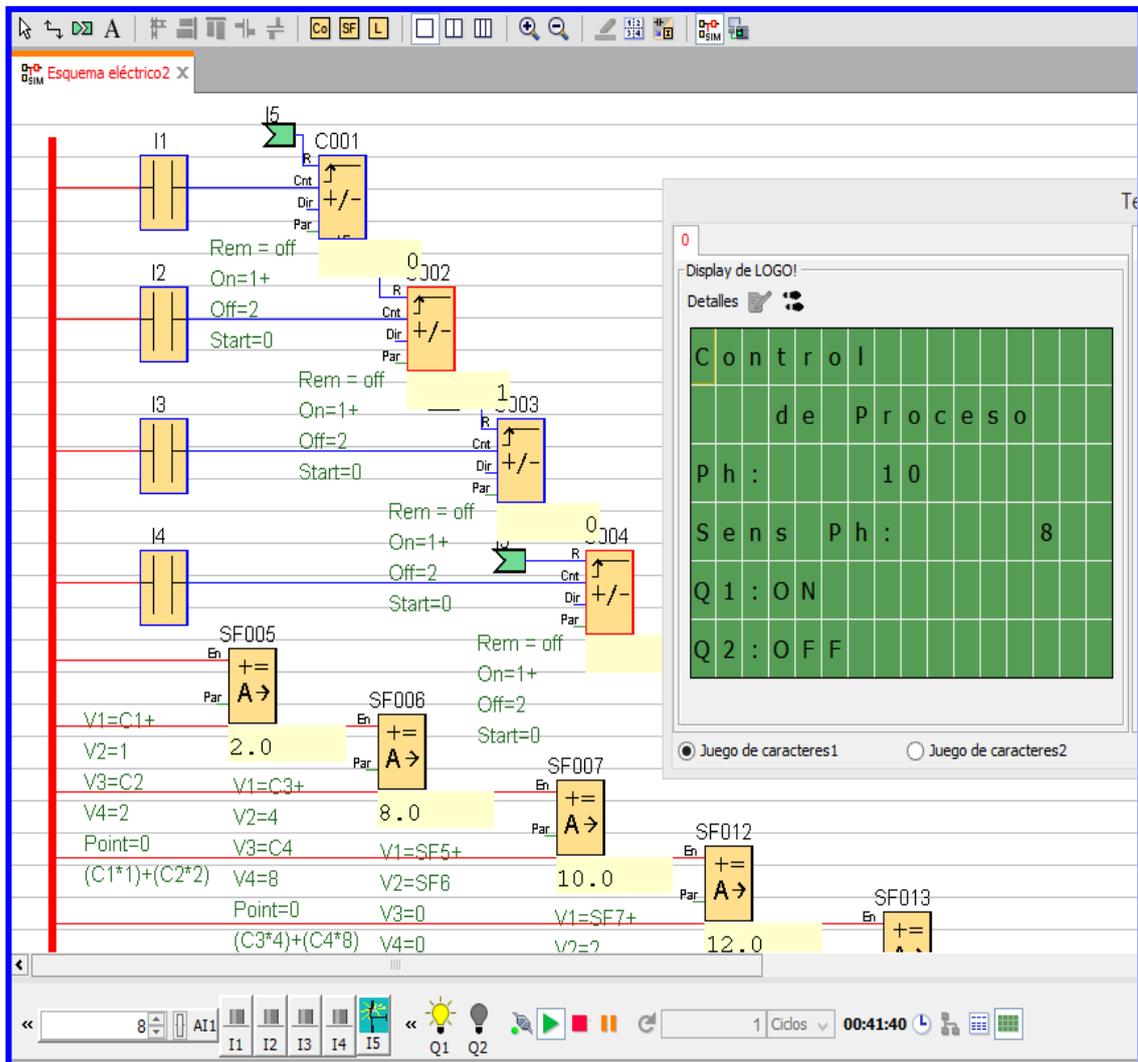


FIGURA N° 43: EJECUCIÓN DE LA PROGRAMACIÓN – INGRESO DEL PH DE CONSIGNA

Se introduce el pH deseado a través de un codificador binario de 4 bits conectados a las entras I1 a I4, se observa en la simulación que se ha pulsado las entradas I4 y I2 dando como binario (1010), el programa hará una conversión a decimal, como resultado se mostrara en la pantalla pH = 10.

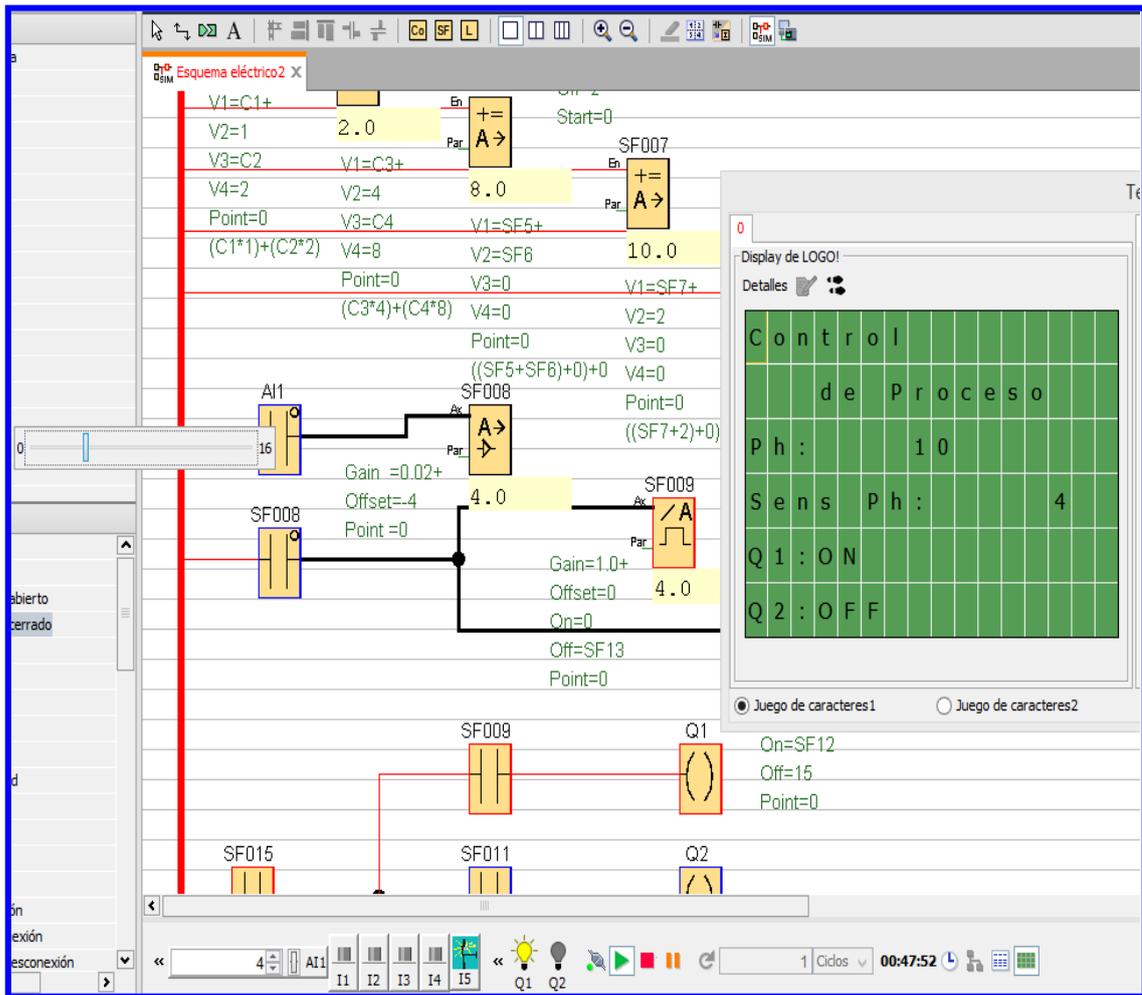


FIGURA N° 44: EJECUCIÓN DE LA PROGRAMACIÓN – ACTIVACIÓN DE LA VÁLVULA DE ÁCIDO

Al parametrizar en el programa el rango de valor de consigna a más y menos 10 % del valor configurado, entonces, el rango permitido del pH es de 9 a 11. En este caso el sensor da un valor de 4, con lo que se observa Q1 está activado

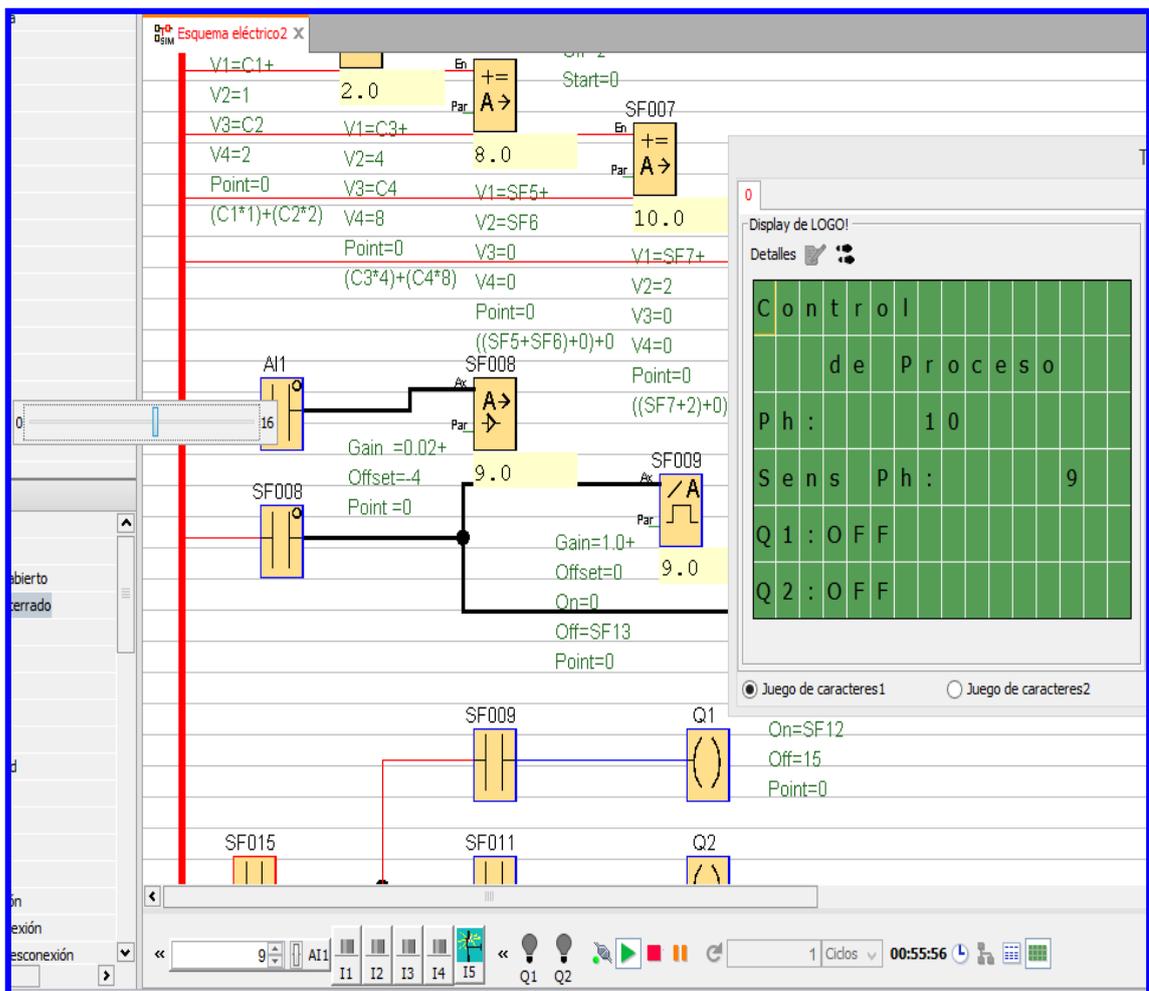


FIGURA N° 45: EJECUCIÓN DE LA PROGRAMACIÓN – DESACTIVACIÓN DE LAS VÁLVULAS

En este caso se observa que está dentro del parámetro y ambas salidas estarán desactivadas.

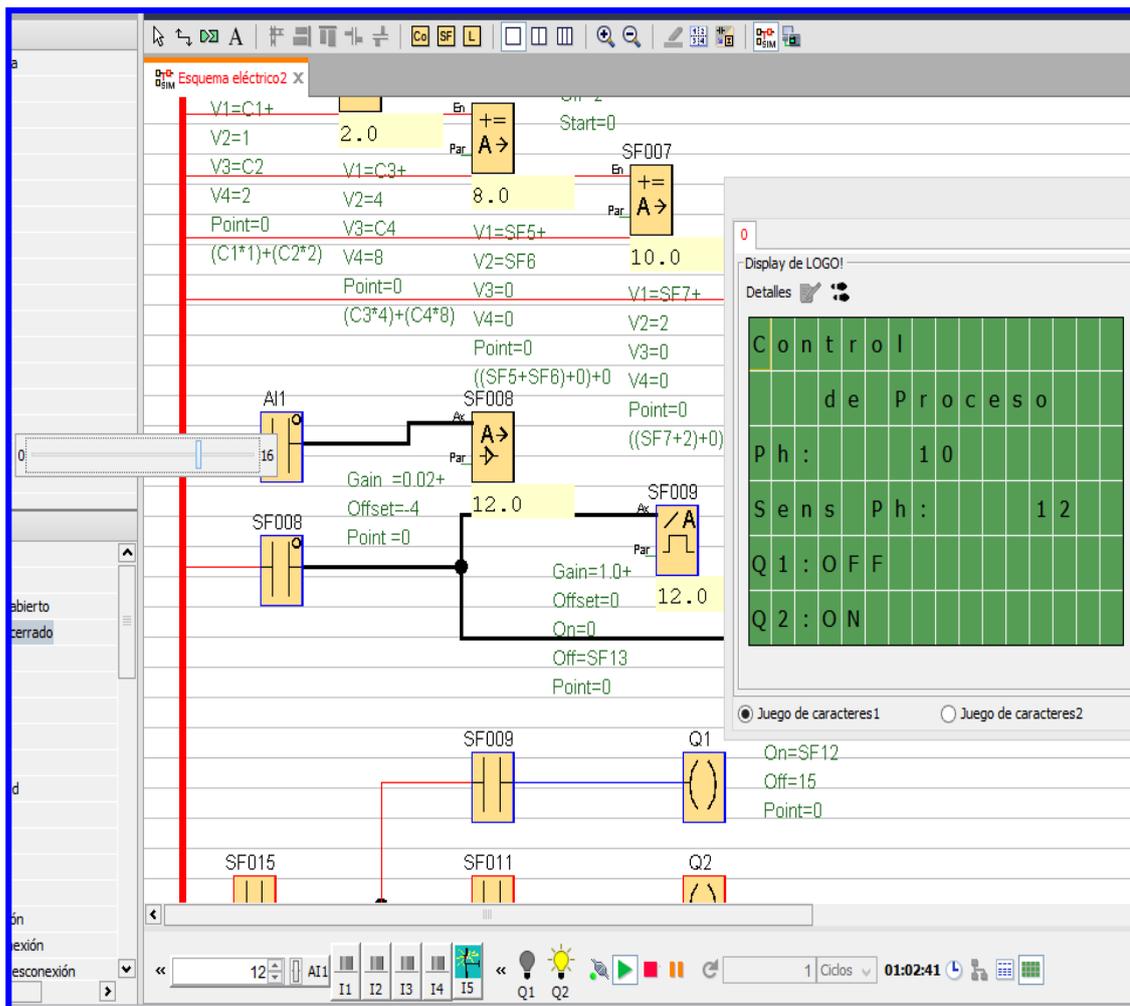


FIGURA N° 46: EJECUCIÓN DE LA PROGRAMACIÓN – ACTIVACIÓN DE LA VÁLVULA DE BASE

En este último caso se observa que el sensor de pH detecta un valor de 12, con lo que se activara la salida Q2.

Estas simulaciones corroboran que el automatismo propuesto controla la dosificación de los insumos utilizados para el tratamiento de efluente en el tanque de Neutralización de la Empresa Textil Jordana SAC.

CONCLUSIONES

- Se concluye que si es posible acoplar los sensores y actuadores al controlador lógico programable, esto es a través del direccionamiento del PLC, la conexión y la programación del mismo.
- Se concluye fue posible desarrollar la programación estableciendo una acción de control del valor proporcionado por el sensor de pH y los actuadores que permiten dosificar la aplicación de ácido o base de forma automática.
- Finalmente se concluye que mediante la automatización con PLC de un Tanque de neutralización se controla el pH en el tratamiento de efluentes de la industria textil, con la finalidad de dosificar la aplicación de ácido o base en forma automática.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar el automatismo descrito en este proyecto de ingeniería ya que optimizara el proceso de neutralización de efluentes dosificando de forma automatiza los insumos de ácido o base.
- Se recomienda tomar este proyecto como referencia y considerar en próximos estudios de tanques de neutralización las variables de temperatura y nivel de llenado. Ya que en este proyecto no se consideró estas variables como variables críticas.
- Se recomienda realizar un análisis comparativo en cuanto al nivel de respuesta ante perturbaciones, utilizando un controlador PID para el monitoreo del pH, en reemplazo del PLC.

BIBLIOGRAFÍA

- ✚ **MEDINA, G.** (2010). La Automatización en la Industria Química. Editorial: UPC. España.
- ✚ **CANO. J.** (2011). Diseño e implementación de estrategias de mejoramiento del sistema automatizado de estabilización del PH de agua residual industrial, en un tanque de neutralización de la planta DPA en Valledupar. (Tesis de Pre Grado). Universidad Tecnológica de Bolívar. Cartagena, Colombia.
- ✚ **BRENES. N.** (2009). Control de PH constante en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Sigma Alimentos. (Tesis de Pre Grado). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
- ✚ **SANCHEZ. P.** (2009). Evaluación técnica y económica de una planta piloto de efluentes industriales. (Tesis de Pre Grado). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- ✚ **LOPEZ. A.** (2008). Diseño de un sistema de control de temperatura on/off para aplicaciones en invernadero utilizando energía solar y gas natural. (Tesis de Pre Grado). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- ✚ **REINOSO. O.** (2003). Apuntes de Sistemas de Control. Alicante, España: ECU
- ✚ **CARRILO. D.** (2003). Aplicaciones de Manual Media a sectores Industriales. Madrid, España: Fundación EOI
- ✚ **KUO. B.** (2010). Sistemas de control Automático. Barcelona, España: PEARSON

BIBLIOGRAFÍA ELECTRÓNICA

- Neutralización de Efluentes

<https://www.wateractionplan.com/documents/186210/186348/INDITEX-FT-PRET-004-NEUTRALIZACI%C3%93N-2015.pdf/47063cd4-df1b-4f57-b40e-97ca9e51f257>

- Gestión de los efluentes de la industria Textil

<http://www.ue-inti.gob.ar/pdf/publicaciones/cuadernillo18.pdf>

- Plantas de Neutralización de Efluentes Residuales

http://www.aquadynamics.com.mx/pdf/productos/producto_01.pdf

- Importancia de medir el PH

http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirUDEP/tesis/pdf/1_197_184_140_1851.pdf

ANEXOS

