

DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL BASADO EN PLC-HMI PARA UNA PLANTA PILOTO TRATADORA DE AGUAS RESIDUALES**DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL BASADO EN PLC-HMI PARA UNA PLANTA PILOTO TRATADORA DE AGUAS RESIDUALES****Design of a Monitoring and Control Systems Based on HMI-PLC for a Wastewater Treatment Pilot Plant**Alma Rosa Mena Martínez¹Sergio Valle Cervantes²María Dolores Josefina Rodríguez Rosales³Rafael Lucho Chigo⁴Roberto Valencia Vázquez⁵**RESUMEN**

Este trabajo se enfoca en el diseño de un sistema de control y monitoreo para una planta de tratamiento de aguas residuales a nivel piloto. Se desarrolló la programación en lenguaje escalera, y se utilizó el PLC S7-200 Siemens. El diseño de las interfaces gráficas de usuario (Graphical User Interface, GUI), se llevaron a cabo con el software de Siemens WinCC Flexible 2008, las cuales permitirán la interacción con el usuario. El HMI utilizado es un Panel MP277 Siemens, el cual se interconecta con el PLC permitiendo el monitoreo en tiempo real de las etapas de control. Se implementaron las reglas básicas de control para asegurar la protección del proceso. Se comprobó el funcionamiento del sistema de control y monitoreo mediante simulación, posteriormente se realizaron pruebas físicamente para observar el comportamiento del controlador al realizar un ciclo de trabajo empleando un agua sintética.

Palabras clave: Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA), interfaz gráfica de usuario (GUI), Interfaz Hombre-Máquina (HMI), Controlador Lógico Programable (PLC)

Fecha de recepción: 19 de mayo, 2020.

Fecha de aceptación: 19 de junio, 2020.

¹ Estudiante Maestría en Sistemas Ambientales. TecNM / Instituto Tecnológico de Durango armena87@hotmail.com

² Profesor Investigador. TecNM / Instituto Tecnológico de Durango. svc@alumni.utexas.net

³ Profesor Investigador. TecNM / Instituto Tecnológico de Durango. mdjrr1958@gmail.com

⁴ Profesor Investigador. TecNM / Instituto Tecnológico de Durango. rlucho@itdurango.edu.mx

⁵ Profesor Investigador. TecNM / Instituto Tecnológico de Durango. roberto.valencia@itdurango.edu.mx



DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL BASADO EN PLC-HMI PARA UNA PLANTA PILOTO TRATADORA DE AGUAS RESIDUALES

ABSTRACT.

This work focuses on the design of a control and monitoring system for a pilot level wastewater treatment plant. Programming in ladder language was developed, and the S7-200 Siemens PLC was used. The design of the Graphical User Interfaces (GUI) were carried out with Siemens WinCC Flexible 2008 software, which will allow interaction with the user. The HMI used is a Siemens MP277 Panel, which interfaces with the PLC allowing real-time monitoring of the control stages. The basic control rules were implemented to ensure the protection of the process. The operation of the control and monitoring system was verified by simulation, afterwards, physical tests were performed to observe the behavior of the controller when performing a work cycle using a synthetic water.

Keywords: Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA), Graphical User Interface (GUI), Human Machine Interface (HMI), Programmable Logic Controller (PLC).

INTRODUCCIÓN

Ahora, más que nunca, el abastecimiento de agua potable es un reto tecnológico al que deben enfrentarse los gobiernos de todo el mundo. La disponibilidad del agua es decisiva para el bienestar general y el crecimiento económico. Para que la gestión del agua sea sostenible, es indispensable contar con soluciones eficientes para la depuración del agua y el tratamiento de aguas residuales. Considerando la necesidad de conseguir un desarrollo urbano sostenible, la automatización de las plantas depuradoras adquiere una mayor importancia (Festo, 2013).

En el proceso de tratamiento de agua, como en cualquier otro proceso es absolutamente necesario tener la indicación y registro de las señales más importantes del proceso, con el fin de llevar a cabo un manejo eficaz del mismo. La indicación se logra por medio de los instrumentos de medición los cuales permiten al operario una labor de supervisión, desde la sala de control y con esto realizar las acciones respectivas de regulación, control y mantenimiento de la planta. La instrumentación está relacionada con la medición de las principales variables de proceso, esto es, caudal, nivel, presión, turbiedad, pH y cloro residual, para lo cual hay que tener en cuenta no solo los elementos primarios de medición sino también los elementos auxiliares y los elementos finales de control (Jairo o Panneso 1995).

Hablando de automatización, mediante el uso de PLC todo parece ser más preciso, confiable y más eficiente que los controladores existentes. El PLC es robusto y puede programarse mediante programación en escalera, programación de texto estructurado y programación de diagrama de bloques funcional que se puede hacer fácilmente y también se puede reprogramar, es decir las conexiones pueden ser las mismas, pero la programación se puede cambiar según los requisitos. (Kumar 2016)

De igual forma, se pueden emplear sistemas SCADA, lo cual facilita el control y monitoreo de los procesos. Algunos de las principales características de estos sistemas son: interfaz hombre-máquina (HMI), que permite al operador tener una perspectiva de toda la operación de la planta y grandes bases de datos para recolectar información importante, como alarmas, eventos y variables de proceso. (A.Sánchez 2003)

El presente trabajo muestra al PLC como el sistema de control del proceso, al HMI como el monitor del mismo. Dicha integración conforma un típico sistema de Control, supervisión, y Adquisición de datos (SCADA). El PLC utilizado es un S7-200 CPU224 Siemens. El algoritmo de control se desarrolló en lenguaje escalera. Se realizaron tablas de verdad para cada etapa del proceso, en las

DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL BASADO EN PLC-HMI PARA UNA PLANTA PILOTO TRATADORA DE AGUAS RESIDUALES

cuales se incluyen todas las “posibilidades” de operación, así como de riesgo tanto para el operador como para la planta.

Por otra parte, la interfaz Hombre-Máquina se ejecuta con el Panel de Operador MP277. Se visualiza de forma idéntica el proceso real, permitiendo al usuario la interrelación con el equipo físico de la planta y con el equipo virtual de la interfaz gráfica de usuario. Se utilizan las variables de estado del PLC para indicar mediante un cambio de colores en el equipo virtual la condición del proceso real. Y facilitar al usuario de la toma de decisiones.

JUSTIFICACIÓN

Es importante implementar cierta tecnología en los tratamientos de agua, ya que esto permite que se puedan realizar experimentos, modificando ciertas variables o reactivos para ver el comportamiento del tratamiento de agua. Obteniendo resultados y conclusiones que permitan proponer técnicas innovadoras a gran escala.

La finalidad de este trabajo de investigación plantea como objetivos el diseño de un sistema de control y monitoreo para una planta de tratamiento de aguas a nivel laboratorio. El sistema de control una vez implementado, podrá ayudar a analizar la calidad del efluente final y la eficiencia del proceso.

METODOLOGÍA

Desarrollo del control del sistema

Para el diseño del algoritmo de control del PLC se consideraron los siguientes aspectos (Lugo, 2005):

1. Requerimientos de la planta piloto de tratamientos de aguas

La función básica de la planta piloto es realizar un tratamiento fisicoquímico para aguas residuales, en tanques con una capacidad máxima de 20 L. El receptor del afluente tiene una capacidad de 70 L. Todos ellos son de policarbonato de espesor 6mm. Se tienen operaciones unitarias como ajuste de Redox, ajuste de pH, y coagulación-floculación. Para terminar el proceso en un decantador primario. En la Figura 1, se muestra el diagrama esquemático de la planta.

La planta piloto tendrá las siguientes opciones:

- Realizar un tratamiento completo, él cual abarcaría ajuste Redox, y de pH, y tiempo de residencia en el decantador.
- Selección para la dosificación de coagulantes y floculantes.
- Llevar a cabo solo el ajuste de pH y tiempo de residencia en decantador.

En base a esto, se requiere controlar el nivel de llenado de los tanques, dosificación de los reactivos químicos, control de encendido de motores para la agitación de la mezcla, control de bombas, y medición de pH y ORP.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL BASADO EN PLC-HMI PARA UNA PLANTA PILOTO TRATADORA DE AGUAS RESIDUALES

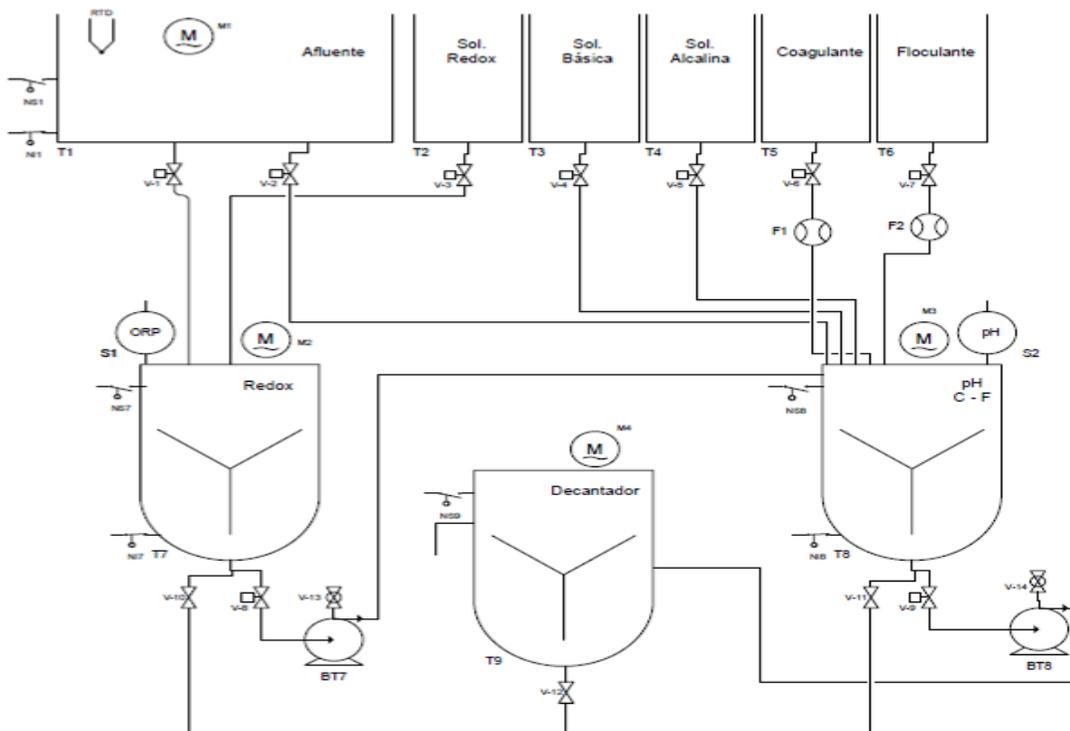


Figura 1. Diagrama esquemático de la planta piloto de tratamiento de aguas residuales

2. Descripción de los equipos del sistema (sensores, actuadores, etc.)

Para la selección de la instrumentación a utilizar, hay que tomar en consideración las variables que se van a manipular, y los actuadores que se requieren en el procesos.

Se debe investigar qué tipo de sensores y actuadores existen para cada operación específica, y considerar lo siguiente (Smith, 1991):

- Materiales involucrados en el sensor y/o actuador
- Tipo de conexión
- Voltaje
- Rango de medición
- La interfaz de control a utilizar

Para la selección de la instrumentación y actuadores, se tomó en cuenta la capacidad de resistencia de corrosivos, así como el aspecto económico. En la Tabla 1, pueden observar un resumen de las características técnicas de cada elemento.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL BASADO EN PLC-HMI PARA UNA PLANTA PILOTO TRATADORA DE AGUAS RESIDUALES

Tabla 1. Características de la instrumentación y actuadores

<i>Descripción</i>	<i>Modelo</i>	<i>Capacidad</i>	<i>Cantidad</i>
Bomba periférica	BOAP-1/2F	½ HP, 31 L/min	2
Sensor ORP	BL932700 / HI2001	-1000 a 1000 mV	1
Sensor pH	BL931700 / HI1001	0.00 a 14.00 pH	1
Motorreductor	AC66T	10 W, 189rpm	2
Electro válvula 2/2	1314	Solenoid 24vcd , NPT 1"	2
Electro válvula 2/2	1314	Solenoid 24vcd , NPT ¾"	7
Sensor de Nivel	LVK-130	Flotador magnético SPST	6

3. Selección del autómatas programable

El PLC seleccionado es de tipo modular de la marca Siemens, modelo S7-200 CPU 224. Con capacidad de 14 entradas digitales, 10 salidas a relevador. Se adiciona un modulo EM 222 de 4 salidas a relevador.

Las entradas digitales se direccionan mediante I, y las salidas digitales Q. Las señales internas de memoria del PLC, se direccionan con M para los relés para almacenar el estado inmediato de una operación (SIEMENS 2008). La declaración de variables físicas y su respectivo direccionamiento al PLC se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Direccionamiento de variables en el PLC

<i>TAG</i>	<i>Dirección</i>	<i>Descripción</i>
OP1	I0.0	Opción ciclo completo
OP2	I0.1	Opción solo ajuste pH
PE	I0.2	Paro de emergencia
ARDUINO	I0.4	Fin de la dosificación de coagulante - floculante
NI1	I0.3	Flotador nivel inferior tanque 1
NS7	I0.5	Flotador nivel superior tanque 7 (redox)
NI7	I0.6	Flotador nivel inferior tanque 7 (redox)
NS8	I0.7	Flotador nivel superior tanque 8 (pH)
NI8	I1.0	Flotador nivel inferior tanque 8 (pH)
NS9	I1.1	Flotador nivel superior tanque 9 (decantador)
C_Y_F	I1.2	Opción de dosificar coagulante/floculante (C-F)
START	I1.3	Botón para iniciar el proceso

DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL BASADO EN PLC-HMI PARA UNA PLANTA PILOTO TRATADORA DE AGUAS RESIDUALES

IN_ORP	I1.4	Entrada micro controlador ORP
IN_PH	I1.5	Entrada micro controlador pH
V1	Q0.0	Electroválvula tanque 1, abastecer tina ORP (op1)
V2	Q0.1	Electroválvula tanque 1, abastecer tina pH (op2)
V3	Q0.2	Electroválvula tanque 2 (sol. Redox)
V4	Q0.3	Electroválvula tanque 3 (sol. Base)
LED_ROJO	Q0.4	Led rojo paro de emergencia
LED_AMARILLO	Q0.5	Led Fin de proceso
LED_VERDE	Q0.6	Led Proceso en curso
V8	Q0.7	Electroválvula salida tanque 7 (proceso redox)
V9	Q1.0	Electroválvula salida tanque 8 (proceso pH y C-F)
MT7	Q1.1	Motor tanque 7
MT8	Q2.0	Motor tanque 8
CF	Q2.1	Salida para arduino dosificador de C-F
BT7	Q2.2	Bomba de agua tanque 7 para pasar al tanque 8
BT8	Q2.3	Bomba de agua tanque 8 para pasar al tanque 9

A las variables que son requeridas para la interfaz gráfica de usuario (GUI) para su manipulación y/o monitoreo se les asigna el mismo TAG o etiqueta, y se asocian a la dirección correspondiente en la HMI.

4. Programación del PLC

Para desarrollar la lógica de programación, en primera instancia se realizó un diagrama de flujo en donde de forma lógica se analiza el funcionamiento que se desea tener para la planta piloto. En el cual se describe paso a paso el proceso a ejecutar por el autómatas, (Bolton, 1996).

Se realizaron tablas de verdad para cada operación unitaria (ajuste REDOX, ajuste pH, dosificación coagulante y/o floculante, decantación). Con ayuda del programa BOOLE-DEUSTO, se obtuvo la suma minimizada de productos, así como el diagrama eléctrico NAND. Con esto se fue realizando la programación en lenguaje escalera. Se utilizó el programa MicroWin V4.0 de Siemens.

Para la dosificación del coagulante y/o floculante, se realiza con ayuda de un control realizado en arduino, utilizando la placa Arduino Mega 2560. El PLC por medio de una salida digital, le indicará al controlador auxiliar, el momento para la apertura de válvulas. Terminada la dosificación de estas sustancias, el arduino por medio de una salida, le indicara al PLC que puede continuar con su control principal.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL BASADO EN PLC-HMI PARA UNA PLANTA PILOTO TRATADORA DE AGUAS RESIDUALES

El algoritmo de control finalmente se compone del bloque principal, y tres subrutinas. Para cargar el programa al PLC, la comunicación se lleva a cabo utilizando el cable USB-PPI multimaestro, utilizando una velocidad de transferencia de 9.2Kbit/s.

5. Diseño del circuito eléctrico y cableado

Cuando se utiliza un PLC para controlar algún sistema, a éste se le ingresa información, responde a ella y produce señales de salida para implementar la acción de control requerida. Por lo tanto, puede haber entradas de sensores para alimentar datos y salidas a dispositivos externos como relés y motores.

El término “periférico” se usa para un dispositivo, como un sensor, teclado, actuador, etc., que está conectado a un controlador. Sin embargo, normalmente no es posible para conectar directamente dichos dispositivos periféricos a un sistema de bus del controlador debido a la falta de compatibilidad en formas y niveles de señal. Por tal incompatibilidad, un circuito conocido como interfaz se utiliza entre el periférico y controlador. (Bolton, 2015)

Un ejemplo muy sencillo de un circuito eléctrico de interfaz de entrada, es el que se puede observar en la Figura.2. Para su diseño se deben de tener en consideración al menos 3 leyes fundamentales en la electrónica básica. Ley de Voltaje de Kirchhoff, Ley de Corriente de Kirchhoff y Ley de Ohm.

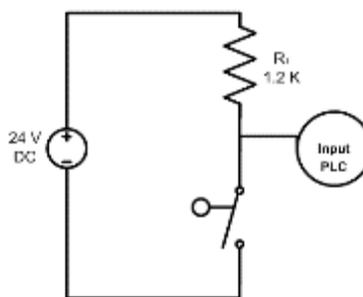


Figura. 2 Circuito Interfaz de entrada para sensor de nivel

Desarrollo del monitor del sistema

El sistema se conforma por tres GUI, las cuales fueron diseñadas en base a la metodología GEDIS (Ponsa 2006; Simmonds-Mendoza 2018). Se diseñaron con el programa WinCC flexible 2008 de Siemens. Y el HMI seleccionado fue el Panel de Operador MP277 10" KEY. Con una pantalla LCD y 34 teclas de función.

La comunicación entre la computadora y el HMI se lleva a cabo utilizando una red de Ethernet. La cual facilita la transferencia de los proyectos. La comunicación entre el HMI y el PLC se realiza mediante una red PROFIBUS, conector RS485 a una velocidad 9.2Kbit/s.

En la Figura 3, se puede observar la interfaz “Principal”, la cual despliega los botones para seleccionar el ciclo de trabajo, dichos botones se configuraron para que al ser presionados en el HMI se pueda activar la entrada en el PLC.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL BASADO EN PLC-HMI PARA UNA PLANTA PILOTO TRATADORA DE AGUAS RESIDUALES

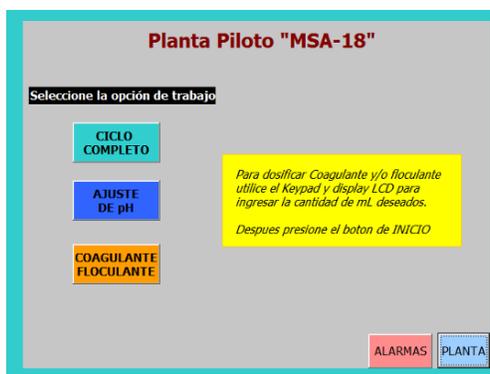


Figura 3. Interfaz de usuario Principal

La segunda interfaz se observa en la Figura 4. Muestra el equipo virtual de la planta piloto, los actuadores virtuales fueron animados para que se realice un cambio de color dependiendo del valor de la variable del PLC. En esta interfaz el usuario podrá saber en qué etapa del tratamiento de aguas se encuentra la planta piloto.

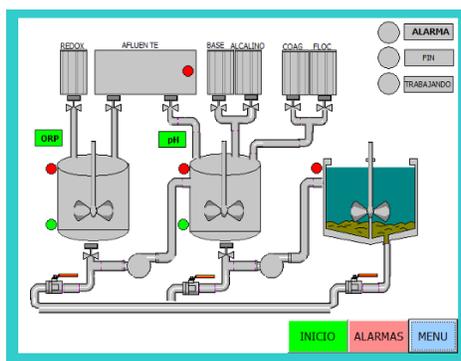


Figura 4. Interfaz gráfica de Monitoreo en tiempo real del proceso

La Figura 5, muestra la última interfaz. Aquí se desplegarán los mensajes de las posibles alarmas que se pueden presentar. El usuario podrá saber los motivos por los cuales la planta no puede iniciar un nuevo ciclo de trabajo, o bien, que hacer para restablecer la planta piloto después de que se ha presionado el paro de emergencia.



Figura 5. Interfaz de Alarmas

DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL BASADO EN PLC-HMI PARA UNA PLANTA PILOTO TRATADORA DE AGUAS RESIDUALES

Comprobación del sistema de control

La simulación de sistemas ha emergido con el propósito de replicar la planta real virtualmente verificando cada sistema antes de su instalación. El nombre común para este modelado virtual es “Puesta en marcha virtual”.

Los programas de PLC pueden ser verificados con cuatro posibles procesos:

1. La tradicional puesta en marcha, con el sistema de control y el sistema, ambos físicamente.
2. El Hardware en lazo cerrado (HIL) con el sistema PLC físicamente y simular el sistema a automatizar.
3. Realidad en lazo cerrado (RIL) con la simulación del PLC y físicamente el sistema a controlar.
4. Software en lazo cerrado (SIL) con ambos sistemas simulados.

Ambos SIL y HIL proveen simulación en tiempo real con el programa de control correspondiente y el equipo, utilizando protocolos de comunicación apropiados. Los resultados permitir observar que tan bueno es el modelo simulado, y si podría existir algo erróneo cuando se implemente el sistema en el mundo real. Básicamente se necesita el equipo virtual, el programa desarrollado para el PLC, mapear las señales de entradas y salidas. (JASMIN DZINIC, 2013)

RESULTADOS

Esta sección incluye la descripción de las pruebas realizadas al sistema de control y monitoreo (Fernández, 2013). En primera instancia, se comprobó el algoritmo de control mediante un programa de simulación, en el cual se observó que seguía la secuencia lógica deseada. En la Figura 6, se observa la simulación utilizando PC SIMU y el chasis virtual del PLC S7-200.

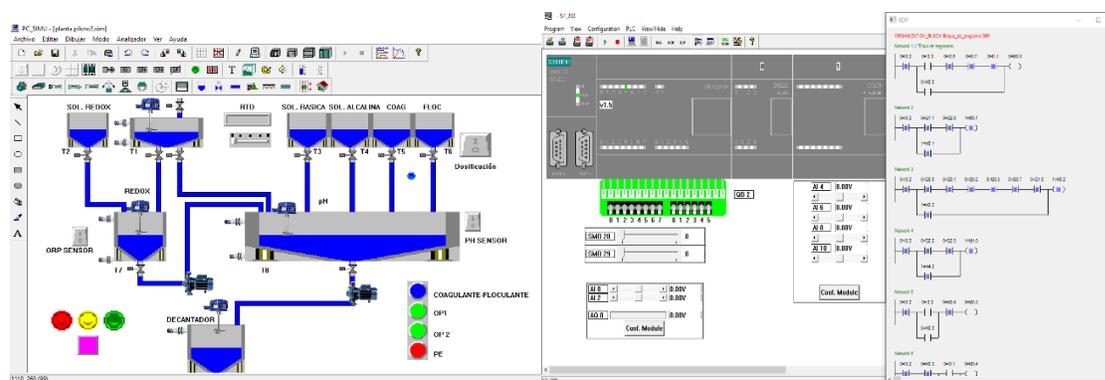


Figura 6. Simulación del algoritmo de control, utilizando PC SIMU y S7-200 chasis virtual PLC

Posteriormente, se realizaron las pruebas físicamente con el controlador y el algoritmo. En esta prueba se realizó de forma manual activando y desactivando las entradas del PLC, siguiendo la lógica de programación, así como las tablas de verdad realizadas previamente. En los cuales se cumple las respuestas esperadas.

El circuito de interfaz de entrada se diseñó a través de una resistencia conectada a la tensión de alimentación, la cual permitirá mantener el nivel de voltaje a la salida, de acuerdo en la posición del sensor.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL BASADO EN PLC-HMI PARA UNA PLANTA PILOTO TRATADORA DE AGUAS RESIDUALES

Se realizaron los cálculos pertinentes para calcular el valor de la resistencia a utilizar. Los resultados arrojaron un valor de resistencia de 1.2K Ω a 1W. En esta interfaz se conectarán los sensores de nivel, de pH y ORP.

Para la etapa de potencia, se propuso utilizar relevadores de 24V para poder activar las válvulas, bombas y motores de acuerdo a las tensiones de voltajes correspondientes para cada uno de ellos.

Finalmente se realizaron las pruebas físicamente con el Arduino, PLC y HMI intercomunicados. Para la prueba se utilizó como afluente principal un agua con un pH inicial de 2.37. Para obtener este pH, el afluente es una disolución que consta de 3 L de Agua y 50gr de Ácido cítrico. La disolución alcanina que se empleo es 1 L de agua y 50 gr de Cal, con un pH de 12.95.

Con estas dos disoluciones se realizó la prueba del sistema de control y monitoreo, seleccionando la opción 2, en la cual solo se requiere ajuste de pH. También se seleccionó la opción para dosificar coagulantes y floculantes, con la intención de revisar la interacción físicamente entre el Arduino y el PLC.

Se obtuvo la respuesta esperada por el autómatas y la instrumentación utilizada, el accionamiento de los actuadores fue sin retardos. La visualización del cambio de estados del PLC en el SCADA es de forma inmediata.

CONCLUSIONES

El controlador y algoritmo trabajan sin problema, la visualización en el HMI se realiza de manera correcta. Se permite la interacción entre el usuario y el equipo virtual, lo que hace que pueda apreciarse de forma más clara en la etapa del tratamiento se encuentra la planta. Así como el saber los posibles motivos por los que no se podría iniciar un nuevo ciclo de trabajo.

El uso de sistemas automatizados sin duda, permitirán que el tratamiento de aguas se vuelva más fácil de realizar y sin riesgo para el operador. La implementación de este control en la planta piloto MSA-18 del Instituto Tecnológico de Durango, permitirá que se puedan realizar más estudios de investigación, para poder maximizar la eficacia y eficiencia del tratamiento de aguas residuales.

Sin embargo, se requiere la capacitación de los usuarios para saber reprogramar el controlador, e incluso saber manipular el HMI, sin que éste sufra daño alguno. También se debe de considerar el aspecto económico que implica el automatizar un proceso.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL BASADO EN PLC-HMI PARA UNA PLANTA PILOTO TRATADORA DE AGUAS RESIDUALES**BIBLIOGRAFÍA**

A.Sánchez. (2003). Design and Implementation of a Real-Time Control Platform for the Testing of Advanced Control Systems and Data Quality Management in the Wastewater Industry. The Fourth International Conference on Control and Automation (ICCA'03), 431-435.

Bolton, W. (1996). Programmable logic controllers. En W. Bolton. ISBN: 9780750681124: Newnes.

Fernández, B. (2013). Testing & verification of PLC code for process control. Proceedings of ICALEPCS2013, San Francisco, CA, USA, 1258-1261.

Festo, D. T. (2013). EL mundo se mueve con agua. Tecno Aqua, 104-107.

Jairo o Panneso. (1995). Automatización de plantas de tratamiento de agua. Energía y Computación, 49-55.

JASMIN DZINIC, C. Y. (2013). Simulation-based verification of PLC. Master of Science Thesis in Production Engineering. Gothenburg, Sweden: CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.

Kumar, E. R. (2016). Effluent treatment plant using PLC. International Journal of Engineering Research and General Science, 58-65.

Lugo, J. G. (2005). Metodología para realizar una automatización utilizando PLC. Impulso, Revista de electronica, electrica y sistemas computacionales, 18-21.

Ponsa, P. D. (2006). Creación de guía ergonómica para el diseño de interfaz de supervisión. In VII Congreso Internacional de Interacción Persona-Ordenado - Puertollano.

SIEMENS. (2008). Manual del sistema de automatización S7-200. SIMATIC - SIEMENS AG, 6ES7298--8FA24--8DH0.

Simmonds-Mendoza, A. (2018). Implementación de control PID de nivel en laboratorio usando PLC Siemens S7-300. Revista UIS Ingenierías, 159-178.

Smith, C. A. (1991). Control automático de procesos teoría y práctica. Editorial limusa, S.A. de C.V.