



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“DISEÑO DE UN CONTROLADOR AVANZADO PARA
EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE LA CENTRAL DE GENERACIÓN
ELÉCTRICA TERMOGAS MACHALA MEDIANTE LA
REGULACIÓN DE LA VARIABLE pH”

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la Obtención del Título de:

MAGISTER EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL INDUSTRIAL

Presentado por:

ING. YASSER DENEK MONTERO FLORÍN

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2019

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme permitido alcanzar un objetivo más.

A mi mami y hermano por siempre haberme apoyado.

A mis hijos Jared e Ivanna quienes se han convertido en mi fuerza para seguir intentándolo.

A mis amigos y compañeros Jorge, Víctor, Alexander y Xavier con quienes compartimos largas y arduas jornadas de estudio y aprendizaje.

A mi tutor MSc. Eugenio César por su paciencia y apoyo en la consecución de este proyecto.

DEDICATORIA

Dedicado a mi familia en especial a mi mamá quien con su apoyo siempre estuvo pendiente de motivarme para continuar durante todo el proceso de estudios y desarrollo de este proyecto.

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

CÉSAR MARTÍN MORENO, MSC.
SUBDECANO DE FIEC

EUGENIO CÉSAR SÁNCHEZ, MSC.
DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

RONALD SOLÍS MESA, MSC.
MIEMBRO PRINCIPAL DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, me corresponde exclusivamente; y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Ing. Yasser Denek Montero Florín

RESUMEN

El presente trabajo consiste en el control del pH de las aguas residuales de la Central de Generación Eléctrica Termogas Machala, para garantizar con esto el cuidado del medio ambiente al ser depositadas en el mar. En el trabajo se hace un análisis a partir de las curvas de titulación del pH donde se ratifica una vez más la no linealidad de esta variable por su relación logarítmica. Se diseña un controlador PI para regular el proceso y se compara con el diseño de un controlador difuso como se propone en la literatura, obteniéndose resultados ventajosos con el uso del control difuso.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	iv
DECLARACIÓN EXPRESA	v
RESUMEN	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
CAPÍTULO 1	1
1. GENERALIDADES	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES	5
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	7
1.3. SOLUCIÓN PROPUESTA	15
1.4. OBJETIVO GENERAL	15
1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.6. METODOLOGÍA	15
CAPÍTULO 2	16
2. ESTADO DEL ARTE EN EL CONTROL DE pH EN TANQUES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	16
INTRODUCCIÓN	16
2.1. ESTADO DEL ARTE EN EL CONTROL DE pH Y TURBIDEZ EN TANQUES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	16
2.2. ESTADO DEL ARTE EN EL CONTROL DE LA TEMPERATURA Y pH EN EL CONTROL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	16
2.3. ESTADO DEL ARTE EN EL CONTROL DE LA CONDUCTIVIDAD, NIVEL, pH, TURBIDEZ Y LA TEMPERATURA EN TANQUES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	17
CAPÍTULO 3	18
3. MODELADO, SIMULACIÓN DEL PROCESO DE pH EN TANQUES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y SELECCIÓN DE LOS MEDIOS TÉCNICOS DE AUTOMATIZACIÓN.	18
INTRODUCCIÓN	18

3.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROCESO DE pH EN TANQUES DE AGUAS RESIDUALES.	18
3.1.1. Obtención del modelo del proceso analíticamente.....	19
3.2. MODELADO Y VALIDACIÓN DEL PROCESO DE pH IDENTIFICADO.	22
Determinación del modelo del proceso.....	22
3.3. SIMULACIÓN DEL PROCESO DE pH PARA TANQUES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	30
3.4. SELECCIÓN DE LOS MEDIOS TÉCNICOS DE AUTOMATIZACIÓN.	31
CAPÍTULO 4	32
4. DESARROLLO DE ESTRATEGIAS DE CONTROL DIFUSO PARA EL CONTROL DE pH EN TANQUES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	32
CRITERIO DE LOS OPERADORES	32
4.1 PARTICULARIDADES DE LOS AFLUENTES AL TANQUE FINAL A TENER EN CUENTA PARA EL CONTROL DE pH DEL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL.	33
4.2 DISEÑO DEL CONTROLADOR DEL TIPO PID PARA EL CONTROL DE pH EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	33
4.3 ESTRATEGIA DE CONTROL DIFUSO PARA EL CONTROL DE pH EN LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	33
CAPÍTULO 5	34
5. DESARROLLO ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES Y SCADA	34
5.1 DISEÑO DE PRUEBAS DEL DESEMPEÑO DE LOS CONTROLADORES A DISEÑAR	34
5.2 DISEÑO Y AJUSTES DE LOS CONTROLADORES PID Y DIFUSO PARA EL CONTROL DEL pH EN TANQUES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	36
5.3 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS POR SIMULACIÓN	39
5.4 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS CONTROLADORES DISEÑADOS	39
5.5 PROPUESTA DEL SISTEMA SCADA PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	39
CONCLUSIONES Y PROPOSICIONES	41
..... BIBLIOGRAFÍA	42

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

INTRODUCCIÓN

El ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de purificación. Pero esta misma facilidad de regeneración del agua, y su aparente abundancia, hace que sea el vertedero habitual en el que se arrojan los residuos producidos por las actividades humanas.

Pesticidas, desechos químicos, metales pesados, residuos radiactivos, etc., se encuentran, en cantidades mayores o menores, al analizar las aguas de los más remotos lugares del mundo. Muchas aguas están contaminadas hasta el punto de hacerlas peligrosas para la salud humana, y dañinas para la vida.

El agua puede presentar diferentes tipos de alteraciones entre las que se encuentran:

- Alteraciones físicas. Ver Tabla 1
- Alteraciones Químicas. Ver Tabla 2
- Alteraciones Biológicas. Ver Tabla 3

Alteraciones físicas	Características y contaminación que indica
Color	El agua no contaminada normalmente debe tener ligeros colores rojizos, pardos, amarillentos o verdosos debido, principalmente, a los compuestos húmicos, férricos o los pigmentos verdes de las algas que contienen. Las aguas contaminadas pueden tener muy diversos colores pero, en general, no se pueden establecer relaciones claras entre el color y el tipo de contaminación
Olor y sabor	Compuestos químicos presentes en el agua como los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas u

	<p>hongos pueden dar olores y sabores muy fuertes al agua, aunque estén en muy pequeñas concentraciones. Las sales o los minerales dan sabores salados o metálicos, en ocasiones sin ningún olor.</p>
Temperatura	<p>El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción. La temperatura óptima del agua para beber está entre 10 y 14°C.</p> <p>Las centrales nucleares, térmicas y otras industrias contribuyen a la contaminación térmica de las aguas, a veces de forma importante.</p>
Materiales en suspensión	<p>Partículas como arcillas, limo y otras, aunque no lleguen a estar disueltas, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales); o en suspensión que sólo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Las suspendidas coloidalmente sólo precipitarán después de haber sufrido coagulación o floculación (reunión de varias partículas)</p>
Radiactividad	<p>Las aguas naturales tienen unos valores de radiactividad, debidos sobre todo a isótopos del K. Algunas actividades humanas pueden contaminar el agua con isótopos radiactivos.</p>
Espumas	<p>Los detergentes producen espumas y añaden fosfato al agua (eutrofización). Disminuyen mucho el poder autodepurador de los ríos al dificultar la actividad bacteriana. También interfieren en los procesos de floculación y sedimentación en las estaciones depuradoras.</p>
Conductividad	<p>El agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por esto se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. Como la temperatura modifica la conductividad las medidas se deben hacer a 20°C</p>

Tabla 1 Alteraciones físicas del agua

Alteraciones químicas	
pH	<p>Las aguas naturales pueden tener pH ácidos por el CO₂ disuelto desde la atmósfera o proveniente de los seres vivos; por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales, por ácidos húmicos disueltos del mantillo del suelo. La principal sustancia básica en el agua natural es el carbonato cálcico que puede reaccionar con el CO₂ formando un sistema tampón carbonato/bicarbonato.</p> <p>Las aguas contaminadas con vertidos mineros o industriales pueden tener pH muy ácido. El pH tiene una gran influencia en los procesos químicos que tienen lugar en el agua, actuación de los floculantes, tratamientos de depuración, etc.</p>
Oxígeno disuelto OD ¹	<p>Las aguas superficiales limpias suelen estar saturadas de oxígeno, lo que es fundamental para la vida. Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo indica contaminación con materia orgánica, septicización, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida.</p>
Materia orgánica biodegradable: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	<p>DBO₅ es la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua. Se mide a los cinco días. Su valor da idea de la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica presente y permite prever cuanto oxígeno será necesario para la depuración de esas aguas e ir comprobando cual está siendo la eficacia del tratamiento depurador en una planta.</p>
Materiales oxidables: Demanda Química de	<p>Es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico (normalmente dicromato potásico en medio ácido). Se determina en tres horas y, en la mayoría de los casos, guarda una buena</p>

Oxígeno (DQO)	relación con la DBO por lo que es de gran utilidad al no necesitar los cinco días de la DBO. Sin embargo la DQO no diferencia entre materia biodegradable y el resto y no suministra información sobre la velocidad de degradación en condiciones naturales.
Nitrógeno total	Varios compuestos de nitrógeno son nutrientes esenciales. Su presencia en las aguas en exceso es causa de eutrofización. El nitrógeno se presenta en muy diferentes formas químicas en las aguas naturales y contaminadas. En los análisis habituales se acostumbra a determinar el NTK (nitrógeno total Kjeldahl) que incluye el nitrógeno orgánico y el amoniacal. El contenido en nitratos y nitritos se da por separado.
Fósforo total	El fósforo, como el nitrógenos, es nutriente esencial para la vida. Su exceso en el agua provoca eutrofización. El fósforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico.
Aniones: cloruros nitratos nitritos fosfatos sulfuros cianuros fluoruros	indican salinidad indican contaminación agrícola indican actividad bacteriológica indican detergentes y fertilizantes indican acción bacteriológica anaerobia (aguas negras, etc.) indican contaminación de origen industrial en algunos casos se añaden al agua para la prevención de las caries, aunque es una práctica muy discutida.
Cationes: sodio calcio y magnesio amonio metales pesados	indica salinidad están relacionados con la dureza del agua contaminación con fertilizantes y heces de efectos muy nocivos; se bioacumulan en la cadena trófica;

Compuestos orgánicos	<p>Los aceites y grasas procedentes de restos de alimentos o de procesos industriales (automóviles, lubricantes, termoeléctricas, etc.) son difíciles de metabolizar por las bacterias y flotan formando películas en el agua que dañan a los seres vivos.</p> <p>Los fenoles pueden estar en el agua como resultado de la contaminación industrial y cuando reaccionan con el cloro que se añade como desinfectante forman clorofenoles que son un serio problema porque dan al agua muy mal olor y sabor.</p>
----------------------	---

Tabla 2 Alteraciones químicas del agua

Alteraciones biológicas del agua	Contaminación que indican
Bacterias coliformes	Desechos fecales
Virus	Virus. Desechos fecales y restos orgánicos
Animales, plantas, microorganismos diversos	Eutrofización

Tabla 3 Alteraciones biológicas del agua

1.1. ANTECEDENTES

Producto del desarrollo del proyecto “Ciclo Combinado” la Unidad de Negocio Termogás Machala se ha visto en la necesidad de incrementar significativamente tanto su talento humano así como la infraestructura donde funcionan diferentes departamentos, en los cuales a diario interactúan y laboran alrededor de 150 funcionarios más 100 personas entre contratistas, prestadores de servicios y visitantes.

La Central de Generación Eléctrica Termogas Machala tal como fue concebida al inicio de su operación comercial en el año 2002 (Machala Power, Administración Privada), cuenta entre sus sistemas auxiliares de Balance de Planta (BOP) con un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (Negras, Oleosas, Rechazo de Ósmosis Inversa, etc.) proyectado y acondicionado para 50 personas lo que a la fecha resulta insuficiente dada la realidad actual, además de las aguas residuales que se obtienen de la Planta.

El manejo y tratamiento de este recurso natural es un tema de profundo análisis para el cumplimiento de normativas ambientales, así como, el sostenimiento de un adecuado ambiente laboral y salud ocupacional de cada una de las personas que desempeñan sus actividades cotidianas en dichos espacios, se ha programado por parte de los encargados del Proyecto Ciclo Combinado realizar un análisis para la implementación de un nuevo sistema de tratamiento de aguas residuales, sin embargo, en este momento es indispensable minimizar los recursos disponibles mediante la implementación de un sistema de control automático para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, considerando su situación actual.

Hoy día, el sistema de Tratamiento de Aguas Residuales tiene como finalidad acondicionar los parámetros de turbidez, pH y temperatura del agua pre-tratada de los afluentes tales como tratamiento de aguas negras, aguas oleosas, rechazo de ósmosis inversa y aguas de drenaje, para que luego sean descargadas hacia el océano en condiciones adecuadas de acuerdo a las normativas del Ministerio del Ambiente ecuatoriano.

Desde hace aproximadamente cinco (5) años, el Sistema de Control Distribuido (DCS) de los sistemas BOP (Balance de Planta) quedó fuera de servicio por diversos factores entre los que destacan daño de tarjetas de control, obsolescencia de tarjetas de control, daño del disco duro de la computadora que soportaba el sistema SCADA, falta de diagramas de control, falta de respaldo de software de control, entre otros acontecimientos que han ocasionado que todos los sistemas BOP vengán siendo operados de manera manual por los operadores de la planta, lo que conlleva, entre otras cosas que por el rigor que debe tenerse en ocasiones no se pudieran cumplir con algunos de los parámetros previos a la descarga. Adicional a lo expuesto

anteriormente se suma el evento de que no existen registros computarizados, sino únicamente los manuales que realizan los operadores, lo que no garantiza la fiabilidad de los mismos, esto puede repercutir en la calidad del agua que es descargada al océano, más aun siendo la zona donde se vierte el agua tratada, una zona turística de gran afluencia de personas incluidas, además, las repercusiones que se tendría sobre la flora y la fauna marina. Otra situación que incide en lo planteado es que el control de la calidad del agua que se vierte en el océano se realiza por una empresa certificada para tales fines, pero el mismo se efectúa una vez al mes, por lo que no se tiene una garantía expresa de que los parámetros se mantengan dentro de la norma, en el período entre un control y el próximo, por todas las dificultades anteriormente expresadas.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En todas las centrales de generación termoeléctricas el uso del agua es fundamental como parte del proceso, más aún cuando en la planta se va a realizar un sistema combinado con la generación de energía eléctrica utilizando el vapor como elemento energético para completar el ciclo termodinámico de alimentación a las turbinas y convertir la energía calórica en mecánica y a partir de esta obtener la energía eléctrica deseada. El agua aquí utilizada requiere de un tratamiento para eliminar las sales como las de silicio que se incrustan en las paredes de la tubería aumentando la resistencia al paso del calor y por tanto disminuye la eficiencia del proceso. El agua es tratada mediante un proceso, de filtrado mecánico y finalmente por el método de ósmosis inversa, donde se obtiene la pureza necesaria para su uso, pero de este procedimiento quedan residuos con un alto contenido de sales y otras sustancias que deben ser procesadas para devolverla al foco frío que es el lecho marino. También como parte de la limpieza de equipos y maquinaria se utilizan detergentes y químicos para remover sustancias adheridas y residuos en muchos casos de la lubricación de las máquinas lo que se conoce con el nombre aguas oleosas, además de las aguas residuales mencionadas, aparecen también de forma común en las industrias las aguas servidas o aguas negras producto del consumo humano, centros de confección de alimentos, etc. Todas estas aguas residuales son recolectadas por vías diferentes donde se les realiza un pre tratamiento para buscar una menor turbidez, y poder acercar el pH a la neutralidad que es una de las formas en que el agua se puede

devolver a medio ambiente con muy poco efecto contaminante, siempre que se cumpla con los parámetros establecidos. Las aguas son almacenadas en diferentes tanques según su procedencia como se puede ver en la Figura 1.2, donde aparecen los tanques que son afluentes al tanque TK-109. Como se puede apreciar en la figura los tanques de aguas residuales se encuentran dentro de una pequeña piscina como medida de seguridad, ya que si alguno de ellos se desborda se evita con ella que el producto contamine el área cercana a su ubicación; el tanque de mayor volumen que aparece en la Figura 1.2 es el de motivo de estudio en el trabajo, porque en el mismo se depositan los fluidos residuales de los tanques antes mencionados. En la Figura 1.3 se puede apreciar con más claridad las dimensiones y elementos que forman parte del tanque TK-109 que es el reservorio utilizado para el tratamiento final del agua que será enviada al mar.

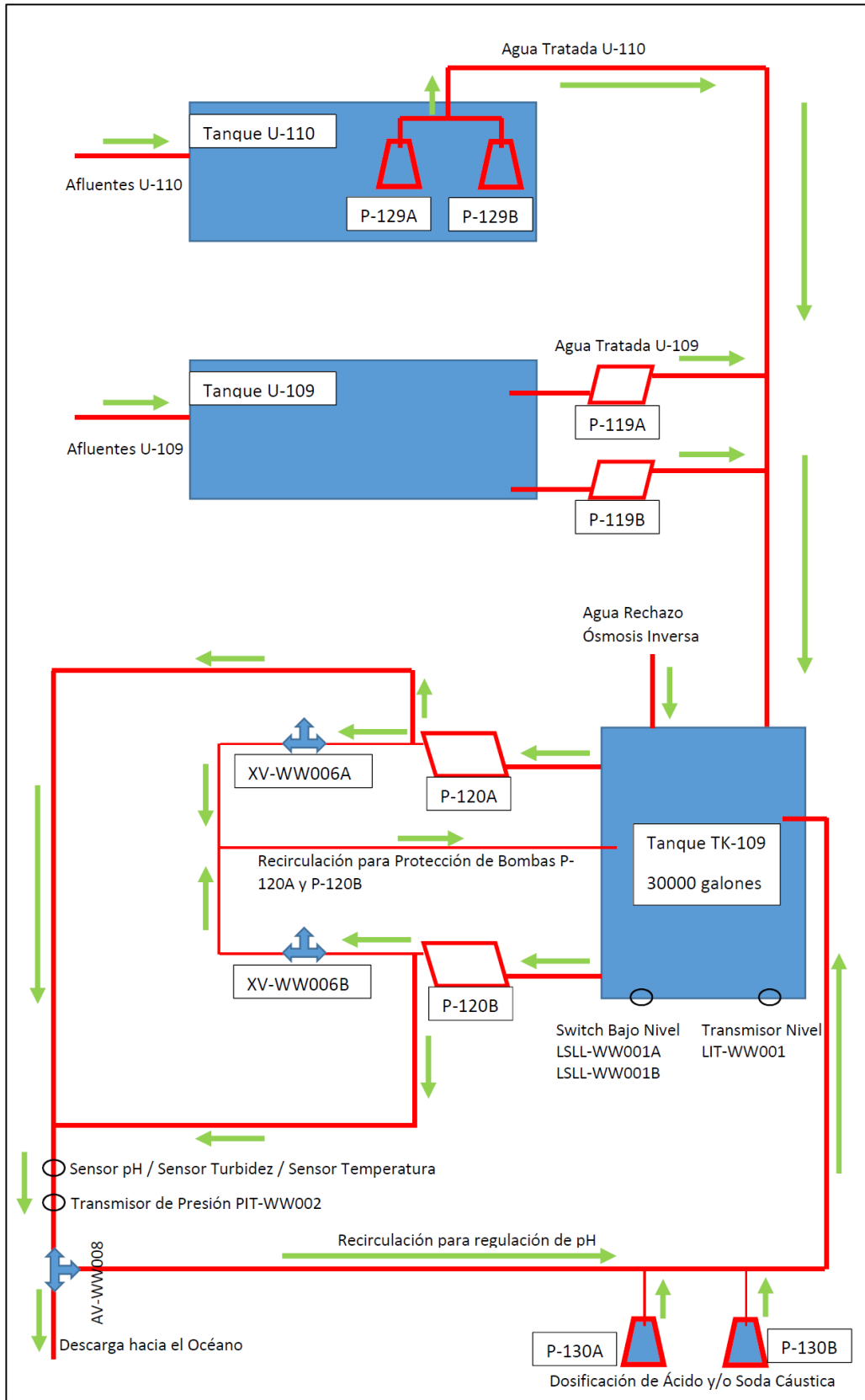


Figura 1.1 Diagrama de flujo de trabajo de la planta de tratamiento de aguas residuales



Figura 1.2 Tanques de aguas residuales servidas, oleosas y de rechazo de la ósmosis inversa, que son los afluentes del tanque TK-109

Es de notar también que el tanque TK-109 no consta con una piscina de seguridad, por lo que en caso de que se sobrepase su nivel de líquido cuenta con un tubo para el reboso, provocando el derrame del líquido en toda la zona donde se encuentra ubicado, esta situación es un detalle más acerca de los problemas que presenta este proceso que se detallará posteriormente.



Figura 1.3 Tanque de agua tratada TK–109.

El tanque TK -109 se utiliza para realizar el tratamiento final del agua que se va a descargar al mar. Como se explicó anteriormente dicho tanque contaba con un sistema de control y supervisión para garantizar la calidad del agua. El proceso se puede explicar siguiendo el diagrama de flujo de la Figura 1.1.

Como se puede apreciar aparecen los afluentes U-109 y U-110 que tributan a los tanques U-109 y U-110 respectivamente, el agua de esos tanques es conducida por las bombas P-119A y P-119B pertenecientes al tanque U-109 y las bombas P-129A y P-129B que están conectadas al tanque U-110, además de esos caudales, se alimenta al tanque TK-109 con el agua de rechazo de la ósmosis inversa. Como se observa en la Figura 1.4 el sistema de bombas de los tanques de aguas oleosas y servidas



Figura 1.4 Sistema de bombas de los tanques de aguas oleosas y servidas

El tanque TK-109 posee una retroalimentación de seguridad a la salida de las bombas de descarga P-120A y P-120B, a través de las electroválvulas XV–WW006A y XV-WW006B lo que permite que exista un alivio de presión en las tuberías en el caso no consentido de que exista una obstrucción en el proceso de descarga de agua tratada hacia el mar. Ver Figura 1.5.



Figura 1.5 Bombas de descarga hacia el mar y válvulas de alivio de presión en línea de descarga del TK-109

En la línea de descarga de agua tratada hacia el mar se encuentra instalada una válvula electroneumática de tres vías AV-WW008, misma que dependiendo de que los valores de pH censados aguas abajo de la misma se encuentren dentro de los parámetros establecidos (6.5 – 8.5), permite el paso del fluido hacia el mar o lo retorna al tanque TK-109 por la parte superior del mismo.

En caso de que los valores de pH se encuentren fuera de rango y el fluido esté siendo recirculado hacia el tanque, inicia el proceso de dosificación de ácido sulfúrico o sosa cáustica para mediciones de pH por encima de 8.5 o por debajo de 6.5 respectivamente; esta dosificación se realiza a razón de 2 GPH a través de las bombas dosificadoras P-130A y P-130B asociadas a los tanque de almacenamiento de ácido sulfúrico y sosa cáustica. El punto de dosificación se encuentra antes de llegar a la compuerta de entrada de la válvula AV-WW008; una vez que los parámetros de pH se encuentren dentro de los rangos de operación establecidos, la descarga hacia el mar se normalizará. Ver Figuras 1.6 y 1.7



Figura 1.6 Sistema de Dosificación de Ácido y/o Base



Figura 1.7 Sistema de Dosificación de Ácido y/o Base

1.3. SOLUCIÓN PROPUESTA

1.4. OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño del controlador difuso para el control del pH en el sistema de tratamiento de aguas residuales.

1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar la descripción de la Planta de tratamiento de aguas residuales, destacando los problemas que presenta actualmente.
2. Analizar la instrumentación existente y seleccionar la adecuada.
3. Realizar la Identificación con los datos obtenidos de la planta para el proceso de pH del sistema de tratamiento de aguas residuales de la Central de Generación Eléctrica Termogas Machala, utilizando MATLAB.
4. Diseñar el controlador difuso para el control del pH.
5. Ajustar el controlador difuso obtenido para el control del pH.
6. Diseñar el entorno del Sistema SCADA.

1.6. METODOLOGÍA

La metodología va a tener en principio un enfoque cuantitativo donde se van a utilizar los datos de la planta, a los cuales se les van realizar análisis de correlación para ver la dependencia de las distintas variables como la temperatura, la conductividad y el nivel con el pH, para poder mejorar los controles de las variables que tengan mayor correlación con la variable principal pH, actividad que no se considera actualmente y con los métodos de identificación estudiados en la Maestría se obtendrá el modelo para hacer un mejor ajuste del controlador difuso, ya que por definición este método de control no requiere del modelo para controlar el proceso. Además se cuenta con un enfoque cualitativo porque se utilizan los criterios de los expertos de la planta bien conocedores del proceso, para preparar las reglas del control con mayor calidad, esto hace que la metodología del sistema adquiera un carácter mixto.

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DEL ARTE EN EL CONTROL DE pH EN TANQUES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

INTRODUCCIÓN

El análisis fisicoquímico de un agua residual es de vital importancia para conocer la magnitud de las cargas que llegan a un cuerpo receptor, permitiendo determinar el tratamiento que se deba efectuar para disminuir la contaminación y evaluar la eficiencia de las plantas de tratamiento.

2.1. ESTADO DEL ARTE EN EL CONTROL DE pH Y TURBIDEZ EN TANQUES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

La turbidez aún en pequeñas concentraciones, hace que el color aparente sea mayor que el color verdadero. Para determinar el color verdadero se debe eliminar la turbidez. El color depende del pH, al incrementarse el pH se aumenta la coloración; por esto debe reportarse el pH al que se realice el análisis.

2.2. ESTADO DEL ARTE EN EL CONTROL DE LA TEMPERATURA Y pH EN EL CONTROL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Todos los investigadores tienen un punto de razonamiento en común a partir del análisis de control del pH en la industria, por ser esta variable fuertemente no lineal, ya que depende de la relación de un logaritmo, como se aprecia en la expresión 2.1

$$pH = \log \frac{1}{[10^{-7}]} \quad (2.1)$$

Esto hace que profesionales como Petter Harriott recomiendan modificaciones al control del pH debido a su fuerte no linealidad, entre otras cosas se proponen realizar el control por etapas, garantizar una buena agitación de la mezcla para disminuir los retardos de transporte, por otro lado otros investigadores como Irene plantean el uso de la lógica de control difuso para realizar la neutralización del pH en diferentes procesos [13] donde proponen la combinación del controlador PID combinado con la lógica difusa, también se expone por otros autores como Stefan Menzl el control del

pH basado en el autoajuste combinado con la lógica difusa, teniendo como base los cambios bruscos que se producen en el pH con los procesos de neutralización [15], Salih Obut esta dentro del grupo de investigadores la técnica de identificación Online para la neutralización de procesos de pH [2008] Turkey, Tawanda Mushiri propone el control avanzado con la lógica difusa para el control de la temperatura y el pH [14]

2.3. ESTADO DEL ARTE EN EL CONTROL DE LA CONDUCTIVIDAD, NIVEL, pH, TURBIDEZ Y LA TEMPERATURA EN TANQUES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

CAPÍTULO 3

3. MODELADO, SIMULACIÓN DEL PROCESO DE pH EN TANQUES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y SELECCIÓN DE LOS MEDIOS TÉCNICOS DE AUTOMATIZACIÓN.

INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se va a tratar sobre el modelado y la simulación del proceso de control del pH del tanque de las aguas residuales TK-109 que van a ser enviadas al lecho marino.

Se hizo un análisis con los datos obtenidos, de forma tal que se pudiera hacer una identificación el caso de ser posible. En la tabla # 1 se muestran los resultados de las mediciones del pH realizadas además de otras variables como la temperatura, el nivel y la conductividad. Los valores obtenidos son resultado de una única medición en la salida del fluido, en un tanque que no posee elementos de agitación si no se manifiesta una recirculación por la alteración del pH para valores inferiores a 6 y superiores a 8.5. Los afluentes no se pueden considerar como señales de prueba persistentes por su carácter discreto y aleatorio. Como el sistema de control no está funcionando no se tiene un criterio real cual es el valor del pH durante todo el proceso de descarga, con la posible contaminación del lecho marino. Sólo se le pudo realizar un análisis de correlación a los datos obtenidos quedando evidenciado la dependencia de la conductividad con el pH. Esta situación trajo como consecuencia que se analizara la posibilidad de obtener el modelo de forma analítica a partir de los elementos instalados y de la información que se pudo extraer del proceso.

3.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROCESO DE pH EN TANQUES DE AGUAS RESIDUALES.

Para realizar la identificación del proceso se necesitan tener los datos de la medición del pH en función del tiempo como respuesta a una señal de estímulo conocida que sea persistente y pudiera considerar que perturbe al sistema, pero en el caso del

tanque TK-109 no existía esa condición además de ser un proceso que no es continuo, no se contaba con la información del pH, solo con el valor del mismo cuando los operadores lo descargaban y tomaban una muestra que se analizaba en el laboratorio, por lo que el proceso de investigación se tuvo que cambiar para obtener el modelo por el método analítico a partir de las curvas de las curvas de titulación que aparecen en las figuras 3.1 y 3.2 que se lograron determinar en el laboratorio con los datos de los reactantes ácido y base y el agua del tanque TK-109.

La curva de neutralización, o de titulación, es un diagrama en el que se indica en el eje Y el valor del pH y en el eje X se indica la relación de ácido a base o diferencia entre las concentraciones de ácido y base, volumen o flujo. La curva de neutralización se considera la pieza más importante de información para el diseño, comisionamiento y solución de problemas para los sistemas de control de pH.

Para una correcta interpretación de la curva de neutralización es necesaria la comprensión de dos parámetros los cuales son:

Punto neutral: dentro de una curva de titulación es donde la concentración de iones de Hidrógeno es igual a la concentración de iones de hidroxilo.

Punto de equivalencia: dentro de una curva de titulación es donde la concentración de iones de ácido es igual a la concentración de iones de base.

3.1.1. Obtención del modelo del proceso analíticamente

La reacción que se lleva a cabo en el tanque TK-109 con la mezcla de ácido o base según sea el pH del líquido contenido en el mismo trae, como resultado una reacción muy rápida, en la cual la velocidad de reacción influye muy poco en la dinámica del proceso, en estos casos se dice que la reacción es de tipo iónica, la cual puede ser considerada instantánea, por lo que se puede abordar como un proceso de mezcla y muestreo del comportamiento del pH, como cuando se tienen a fluidos que no reaccionan entre sí o mejor dicho, que son no miscibles. Existe una situación muy especial para el control del pH, sucede que dicho proceso es extremadamente no lineal, lo cual se ve reflejado en las curvas de titulación que aparecen en las Figuras 3.1 y 3.2, donde se puede considerar al agua residual como un ácido o una base débil según sea el valor del pH, la cual será neutralizada con una base o un ácido fuerte

respectivamente. Según (Harriot) en los procesos de control de pH a la hora de obtener el modelo matemático del proceso se tiene que tener en cuenta los siguientes elementos.

- Por ser la reacción iónica se puede considerar al proceso de control de pH como el de un tanque de mezcla agitado, represento por un sistema de primer orden donde su constante de tiempo viene dada por la expresión:

$$\tau = \frac{V}{F} \quad (3.1)$$

Donde:

τ : Constante de tiempo. [min]

V : Volumen del tanque. [gal]

F : caudal de salida o de recirculación. [gpm]

- Retardo de mezcla (*mixing delay*) que es el retardo que se produce en el proceso debido a el proceso de agitación que va a depender del volumen del tanque, del tipo de impelente, de la velocidad del mismo y del diámetro del tanque, expresión se conoce como tiempo de agitación y tiene la fórmula siguiente:

$$T_{over} = \frac{V}{\pi^2 D^2 W N} \quad (3.2)$$

Donde:

T_{over} : tiempo de agitación. [min]

V : volumen. [gal] (galones)

D : diámetro. [pie]

W : diámetro del impelente. [pie]

N : velocidad del impelente. [rpm]

El proceso en cuestión al tener la recirculación puede ser considerado como un tanque con un impelente tipo turbina que gira alrededor de 150 rpm

(revoluciones/minutos) y un diámetro equivalente entre el 20% y el 25% del diámetro del tanque. Por lo que para este tipo de impelente el retardo de mezcla estará entre 1.0 a 1.5 veces el tiempo de agitación, cuando se reemplaza en la expresión 3.2 se obtiene que el retardo de mezcla es: $L_1 = 0.47$ segundos

- Tiempo de mezcla (*mixing time*) que se define como el tiempo que se demora el fluido en mezclarse, que es aproximadamente el 90% del tiempo de respuesta del fluido desde que comienza a mezclarse hasta que la mezcla se mantiene estacionaria ante un estímulo escalón, aproximadamente igual al tiempo de retención o constante de tiempo del proceso.
- Existe otro retardo de tiempo que viene dado por la demora en la muestra para la medición del pH en un sensor de pH de electrodos.
- Las constantes de tiempo del tiempo de retención de la muestra cuando el caudal es elevado y el sensor se instala en un desvío de la tubería y los potenciales generados en los electrodos y la membrana de vidrio para procesar el valor del pH en un sensor de pH de electrodos Este es un dato que da el fabricante. [Harriott].

Para poder obtener la función transferencial del proceso se necesita calcular además la ganancia del mismo que se a poder determinar a partir de las curvas de titulación del sistema. En las Figuras 3.1 y 3.2 se pueden apreciar dichas curvas.

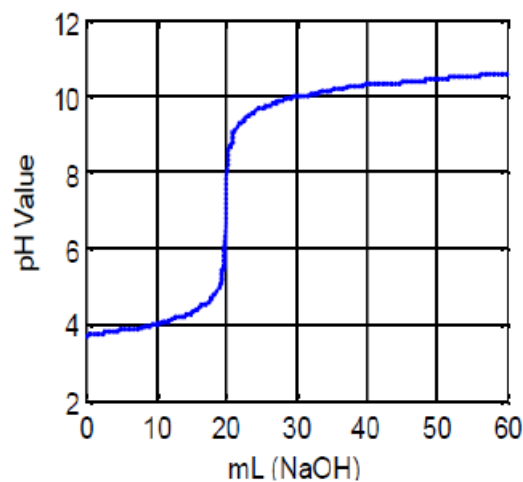


Figura 3.1 Curva de titulación de ácido débil frente a una base fuerte

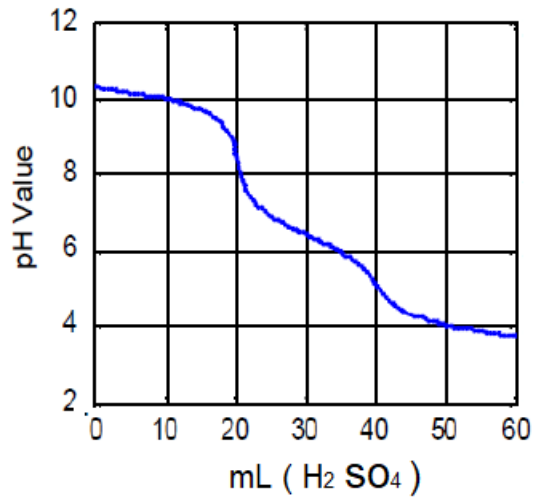


Figura 3.2 Curva de titulación de una base débil frente un ácido fuerte

3.2. MODELADO Y VALIDACIÓN DEL PROCESO DE pH IDENTIFICADO.

Determinación del modelo del proceso.

- Obtención de la Función transferencial del elemento de medición que se encuentra instalado. En las figuras 3.3, 3.4 y 3.5 aparecen sus elementos principales.

Elemento de medición es un sensor de pH de la firma Rosemount Analytical



Figura 3.3 Sensor de pH MODEL 396R

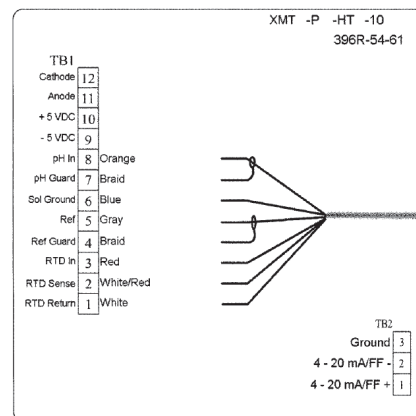


Figura 3.4 Regleta de conexión modelo 396R 54-61



Figura 3.5 Transmisor analítico 1066 para líquidos

Datos del sensor- transmisor- indicador de pH

- Señal de entrada de 0 a 14 pH.
- Señal de salida 4 a 20 mA más HART.-
- Constante de tiempo: 5 segundos

El elemento de medición se comporta como un sistema de primer orden con retardo de transporte en el electrodo de medición y una ganancia unitaria como se puede apreciar en el lazo de control

Válvula de control utilizada en el proceso: es una válvula de bola de 3 vías como la mostrada en la figura 3.6 y en la figura 3.7 se muestra la válvula de bola con actuador electromecánico



Figura 3.6 Válvula de bola de 3 vías



Figura 3.7 Actuador electromecánico

Sobre las válvulas de control se pueden dar algunas definiciones que van contribuir con la correcta selección de la misma.

Características de caudal inherente:

La característica de un fluido incompresible circulando en condiciones de presión diferencial constante a través de la válvula se denomina *característica de caudal inherente*. Las curvas características más significativas son: apertura rápida, lineal e isoporcentual [creus]. En el obturador con *característica lineal*, el caudal es directamente

proporcional a la carrera según la ecuación:

$$q = K \times l \quad (3.1)$$

en la que:

q = caudal a pérdida de carga constante

K = constante

l = carrera de la válvula

En el obturador con característica isoporcentual, cada incremento en porcentaje de carrera del obturador produce un incremento porcentual igual en el caudal. La ecuación correspondiente es:

$$\frac{\partial q}{\partial l} = aq \quad (3.2)$$

en la que:

q = caudal a pérdida de carga constante

l = carrera

a = constante

La relación $R = \frac{q_{m\acute{a}x}}{q_{m\acute{i}n}}$ conoce como la rangeabilidad o *gama de caudales*

En el caso de la válvula de igual porcentaje o isoporcentual es típico que $R = 50$ por lo que da como resultado la expresión

$$\frac{q}{q_{m\acute{a}x}} = 0.02 \times 50^l \quad (3.3)$$

Características de caudal efectivas:

Las válvulas cuando trabajan en condiciones reales tienen la característica que su diferencia de presión cambia cuando se modifica la posición del actuador el cual está

en función de la de la señal que recibe del controlador, por lo que cambia la característica inherente pasando a ser una característica de caudal efectiva.

También se define un factor r donde:

$$r = \frac{\Delta p_{valv}}{\Delta p_{lin}} \quad (3.4)$$

se tiene que:

Δp_{valv} = caída de presión a través de la válvula

Δp_{lin} = caída de presión en toda la línea donde está ubicada la válvula

La expresión del caudal efectivo en función de r, de la rangeabilidad R = 50 viene dada por:

$$q_e = \frac{1}{\sqrt{1-r+\frac{r}{0.0004 \times 50^{2l}}}} \quad (3.5)$$

La ganancia asociada a las válvulas de igual porcentaje se obtiene derivando la expresión 2.anterior con respecto al recorrido del vástago, cuya expresión es:

$$K_v = \frac{dq_e}{dl} = \frac{r}{(0.02 \times 50^l)^3} \times \frac{0.02 \times 50^l \times \ln 50}{\sqrt{\left(1-r+\frac{r}{0.02 \times 50^{l^2}}\right)^3}} \quad (3.6)$$

La válvula de bola se emplea principalmente en el control de caudal de fluidos negros, o bien en fluidos con gran porcentaje de sólidos en suspensión. La ventaja que puede producir este tipo de válvula al dejar aproximadamente libre el 70% de su diámetro por lo general su diámetro máximo es de 3 pulgadas que en el caso de análisis se tuvo que utilizar un reducido de 3 a 6 pulgadas, incrementando las pérdidas por fricción. Al utilizarse una válvula de 3 vías de globo, la misma puede tener un diámetro de 6 pulgadas y se reducen las pérdidas por fricción, además se da la posibilidad de que sea utilizada una válvula de característica inherente de igual porcentaje, que son las recomendadas para procesos de dinámicas difíciles. Los datos con se cuentan para la selección de la válvula son los siguientes:

- Diámetro de la tubería 6 pulgadas, Sch 40.
- Cuerpo de la válvula: acero 316.
- Característica inherente: igual porcentaje.
- Constante de tiempo de la válvula no debe ser mayor a 12 segundos.
- Caída de presión total en la tubería de descarga del tanque TK -109 es de 39.8 psi.
- Temperatura de agua 26°C

Se utilizó el programa de dimensionamiento de válvulas Quicksie de la Masoneilan para calcular el coeficiente C_v que sirve para seleccionar la válvula según los requisitos que impone el diseñador y los tipos de válvula que oferta el fabricante. En la figura 2. Se puede apreciar los resultados del cálculo

$$C_v = 39.62$$

(3.7)

	Minimum	Normal	Maximum	Other
flow rate	200	190	182	
inlet pressure	39	37	35	
outlet pressure	16	14	12	
pressure drop	23	23	23	
temperature	82	79	75	
vapor pressure	0.5417	0.4912	0.4303	
critical pressure	3206	3206	3206	
viscosity	0.8466	0.8878	0.9448	
liquid Gf	1	1	1	

	Incipient	Incipient	Incipient
required Cv	41,7	39,62	37,95
oversize req Cv	41,7	39,62	37,95
Sound Level, IEC	< 70	< 70	< 70
% lift			
% Cv			
FL	0,9	0,9	0,9
critical FL	0,6577	0,6701	0,6831
33 ft/s dia.	1,573	1,533	1,5
valve inlet velocity	2,343	2,226	2,132

Figura 3.8 Diagrama del resultado del dimensionamiento de la válvula de 3 vías

A partir de los datos que se pudieron obtener del proceso y con las expresiones anteriores se pueden obtener los modelos matemáticos que representan el comportamiento del proceso de pH.

- Modelo matemático para el proceso de pH del tanque TK-109.

Por tener el tanque un gran volumen 30 380 gal y al ser la reacción iónica o sea que no depende de la velocidad de reacción, se consideró al sistema como un proceso de mezcla que responde a la condición de un sistema de primer orden con retardo de transporte, sólo que hay que considerar cual es la condición del fluido y si la neutralización que se lleva a cabo es de ácido a base o de base a ácido por lo que la función transferencial para la condición de ácido débil a base será entonces

$$\text{Función transferencial (S)} = \frac{K_p}{\tau S + 1} e^{-l_1 S} \quad (3.8)$$

Donde:

K_p es la ganancia del proceso y se calcula a partir de la curva de titulación que aparece en la figura 3.1 curva de titulación de ácido a base.

$$K_p = \frac{\frac{7.5}{3}}{\frac{1}{20}} = 50$$

τ = constante de tiempo del proceso, es la misma para los dos casos tratados viene dada por el tiempo de retención que es la expresión 3.1.

La dimensiones del tanque son radio = 3 m; altura = 4.5 m; el volumen es

115.925 m³ que equivale a 30 624.14 gal pero sólo se utiliza 30 380 gal que es donde comienza a rebosar el tanque

$$\tau = \frac{V}{F} = \frac{30\,380 \text{ gal}}{200 \text{ gpm}}$$

3.3. SIMULACIÓN DEL PROCESO DE pH PARA TANQUES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

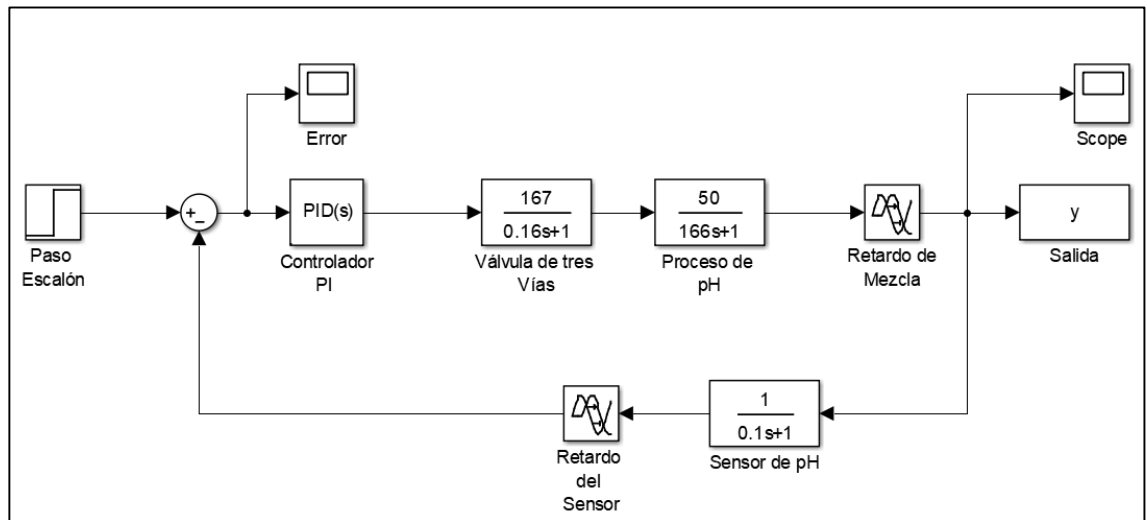


Figura 3.9 Diagrama de lazo cerrado del proceso de control de pH con el controlador PI para llevar el pH de las aguas residuales de medio ácido a equilibrio básico.

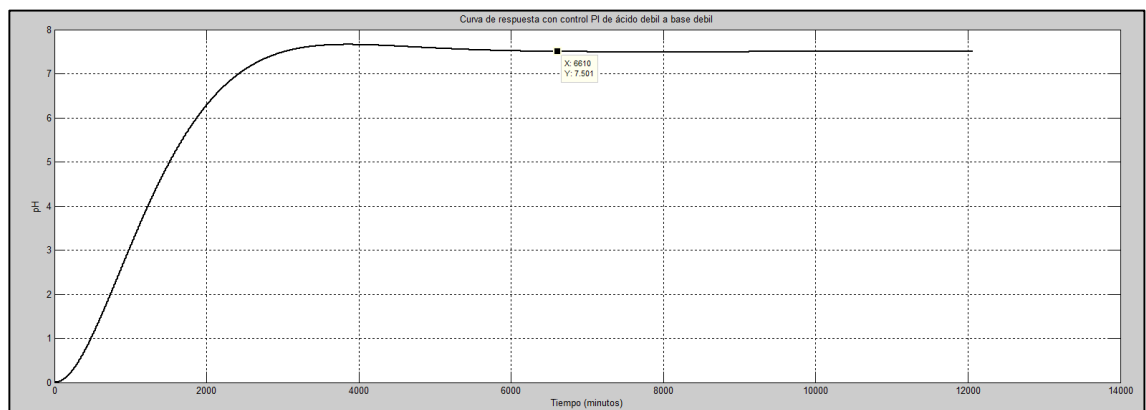


Figura 3.10 Respuesta del sistema de control con un controlador PI para llevar el fluido de medio ácido a medio ligeramente básico

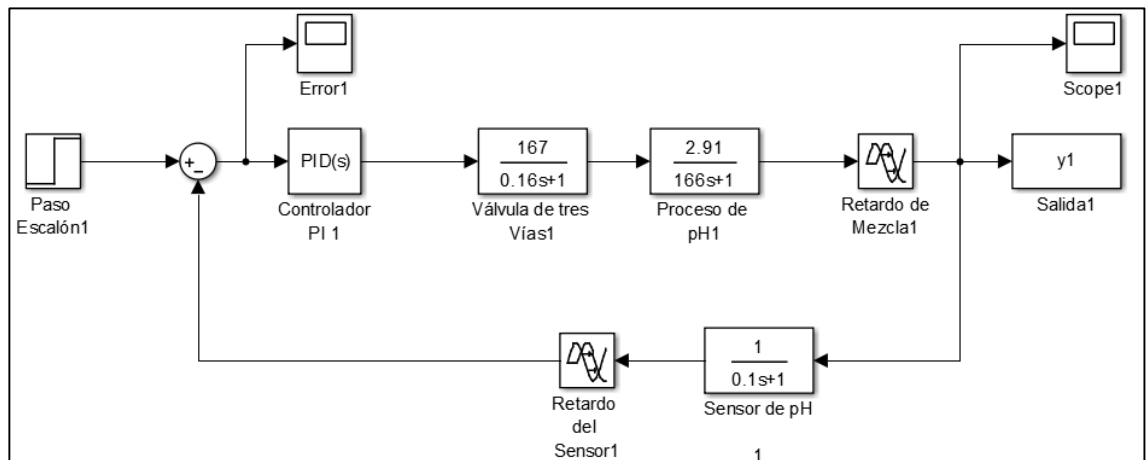


Figura 3.11 Diagrama de lazo cerrado del proceso de control de pH con el controlador PI para llevar el pH de medio básico a equilibrio ligeramente básico pH=7

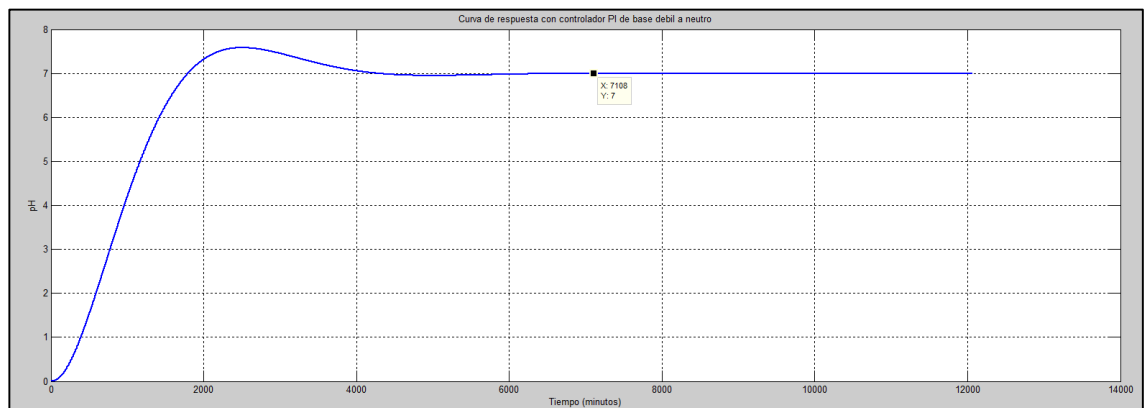


Figura 3.12 Respuesta del sistema de control con un controlador PI para llevar el fluido de medio básico a medio ligeramente básico

3.4. SELECCIÓN DE LOS MEDIOS TÉCNICOS DE AUTOMATIZACIÓN.

CAPÍTULO 4

4. DESARROLLO DE ESTRATEGIAS DE CONTROL DIFUSO PARA EL CONTROL DE pH EN TANQUES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

CRITERIO DE LOS OPERADORES

- La descarga se realiza a criterio del operador de turno en función de evitar que el tanque de tratamiento de aguas residuales TK-109 se llegue a rebosar.
- El nivel del TK-109 está medido en términos de porcentaje donde 0% se considera completamente vacío y 100% completamente lleno; por tanto, el operador inicia la descarga del TK-109 hasta llevarlo a un 10% de su nivel aproximadamente.
- El rebose del TK-109 se produce a partir de que supera el 100% de su nivel.
- El operador inicia la descarga del TK-109 en función de que la ejecución de su plan de actividades diarias no vayan a repercutir en un posible derrame del TK-109; es decir, si él considera que va a estar muy ocupado realizando alguna tarea que le impida estar pendiente del nivel del TK-109, decide con anterioridad realizar la descarga del TK-109 hasta que el nivel llegue al 10% aproximadamente, independientemente del nivel de llenado que tenga ese momento; sin embargo, de acuerdo a los registros manuales que llevan, el inicio de la descarga oscila entre 65% y 90% del nivel de llenado del TK-109.
- El nivel de llenado del TK-109 no es constante, depende de factores tales como, producción de agua de rechazo de ósmosis inversa la que tampoco es constante ni periódica, producción de aguas oleosas, producción de aguas negras que varía si son días lluviosos o no, si son días laborables o no, es decir los factores son totalmente variantes en el tiempo

4.1 PARTICULARIDADES DE LOS AFLUENTES AL TANQUE FINAL A TENER EN CUENTA PARA EL CONTROL DE pH DEL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL.

Los afluentes al tanque TK-109 debido a la naturaleza de sus procedencias van a tributar al tanque con diferentes valores de pH, como por ejemplo las aguas negras tienden a tener un pH ligeramente ácido, así como los residuos de la osmosis inversa, pero las aguas oleosas su tendencia es a tener un pH ligeramente básico, lo que trae por consecuencia que el pH dentro del tanque no es uniforme y se precisa de un agitador que en este caso solo se realiza la agitación con la recirculación de las aguas residuales, situación que limita la homogeneidad de la mezcla y por lo tanto complica el control por no tener un valor representativo del pH, esto es otra razón más para el uso del control con lógica difusa.

4.2 DISEÑO DEL CONTROLADOR DEL TIPO PID PARA EL CONTROL DE pH EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

4.3 ESTRATEGIA DE CONTROL DIFUSO PARA EL CONTROL DE pH EN LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

CAPÍTULO 5

5. DESARROLLO ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES Y SCADA

5.1 DISEÑO DE PRUEBAS DEL DESEMPEÑO DE LOS CONTROLADORES A DISEÑAR

Al diseñar un controlador difuso (fuzzy) se debe analizar el proceso y como se vio en el estado del arte, la mayoría de los investigadores coinciden con las ventajas que prestan los controladores difusos para controlar procesos no lineales, como es el caso de estudio. Se debe decidir cuáles van a ser las variables de entrada y de salida del proceso, en este caso se tomaron como variables de entrada *el error* y la *derivada del error* y una variable de salida del controlador en la Figura 5.1 se detallan las variables seleccionadas, esta ventana aparece después que se invoca el comando *fuzzy* en la ventana principal de MatLab. El número de variables junto con las funciones de pertenencia van a dar el número de reglas a diseñar.

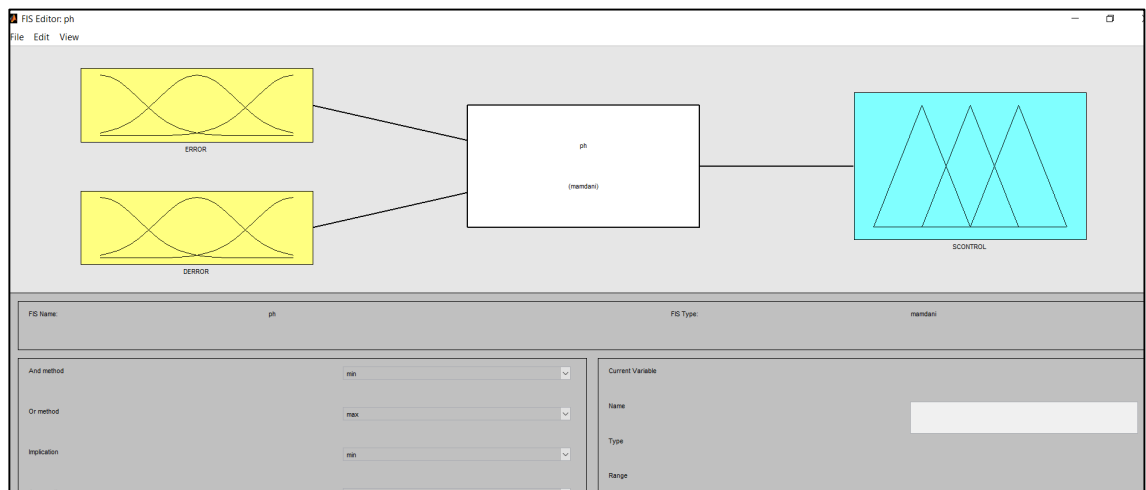


Figura 5.1 Ventana inicial para obtención de las variables de entrada y salida.

En la figura 5.2 se muestran las funciones de pertenencia que en este trabajo son del tipo triangular, pero pueden ser trapezoidal, gaussiana, etc. Se ubicaron 5 funciones de pertenencia por variables por cada variable

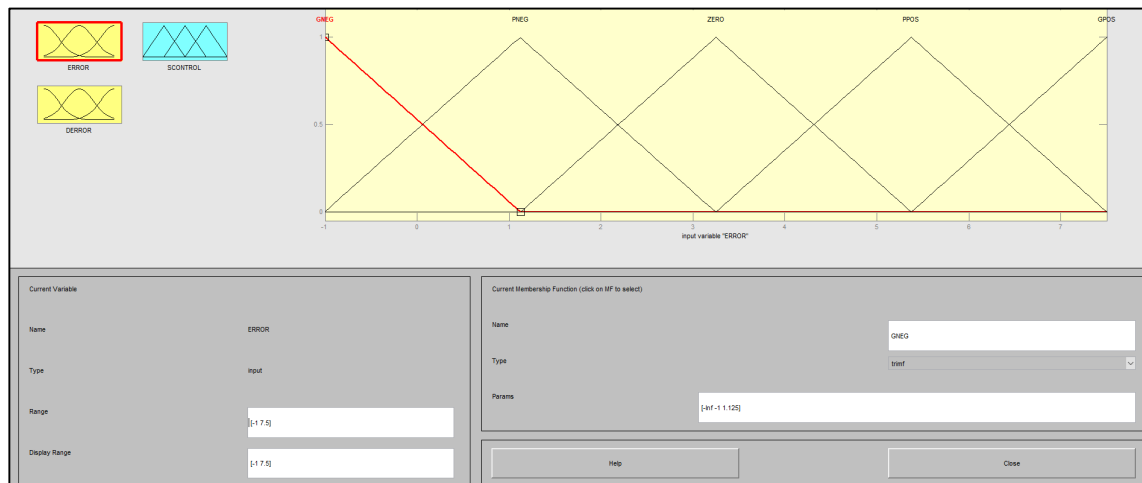


Figura 5.2 Ventana donde se ubican las funciones de pertenencia en los conjuntos universos de las variables de entrada y salida

Después de decididas las funciones de pertenencias y en que gama de valores van a estar representadas sobre el eje horizontal o universo de discurso, hay que diseñar las reglas en el editor de reglas las cuales van a depender de las opiniones de los operadores más experimentados, en la Figura 5.3 se muestra el editor de reglas, como se pueden adicionar, eliminar y cambiar.

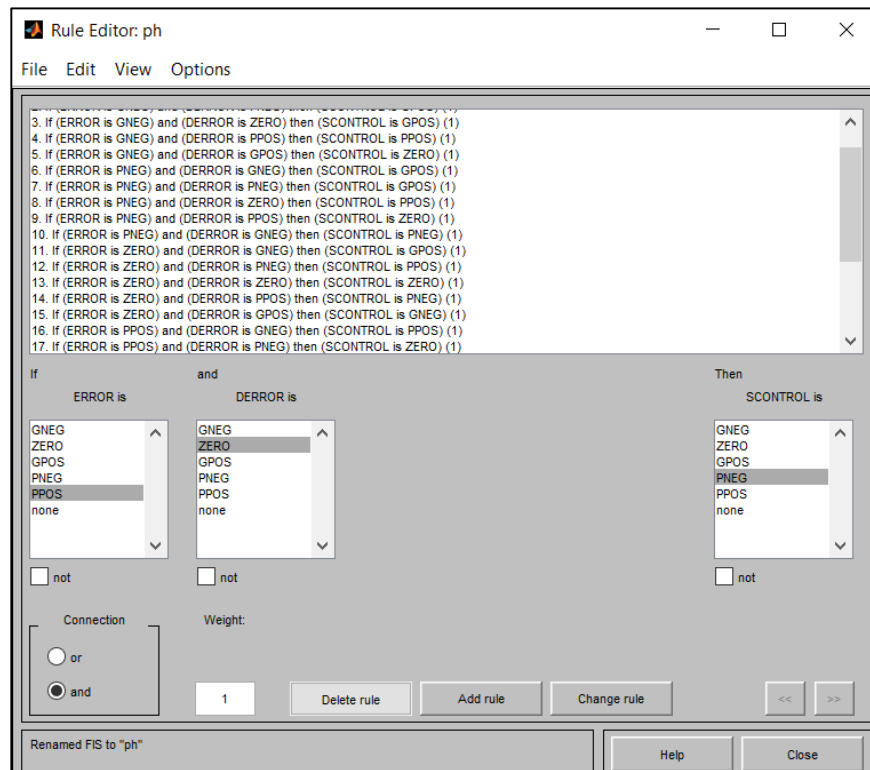


Figura 5.3 Editor de reglas

5.2 DISEÑO Y AJUSTES DE LOS CONTROLADORES PID Y DIFUSO PARA EL CONTROL DEL pH EN TANQUES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Se utilizó el *toolbox fuzzy* de MatLab a partir del cual se confeccionaron los diagramas de bloques como los que se aprecian en las Figuras 5.4 y 5.6, al ejecutar el programa los resultados obtenidos se muestran en las Figuras 5.5 y 5.7 para cada una de las condiciones de pH de la mezcla.

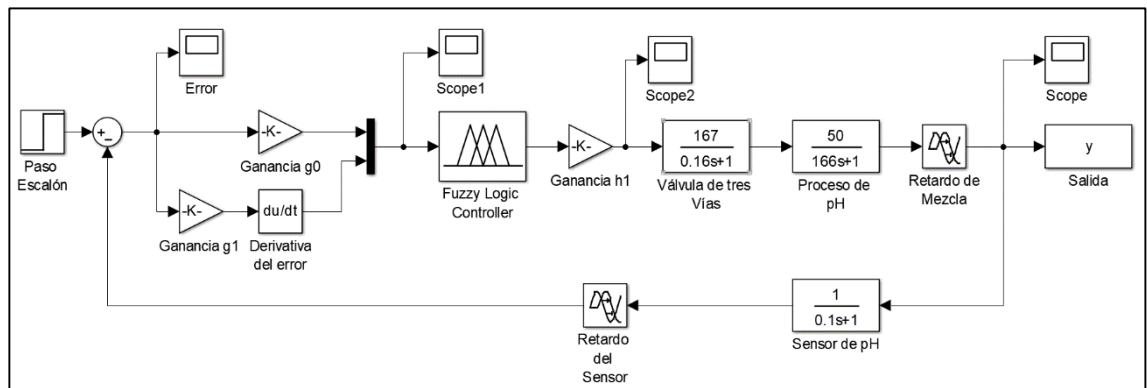


Figura 5.4 Diagrama de bloques de lazo de control de pH con controlador difuso para la mezcla de ácido débil con base fuerte.

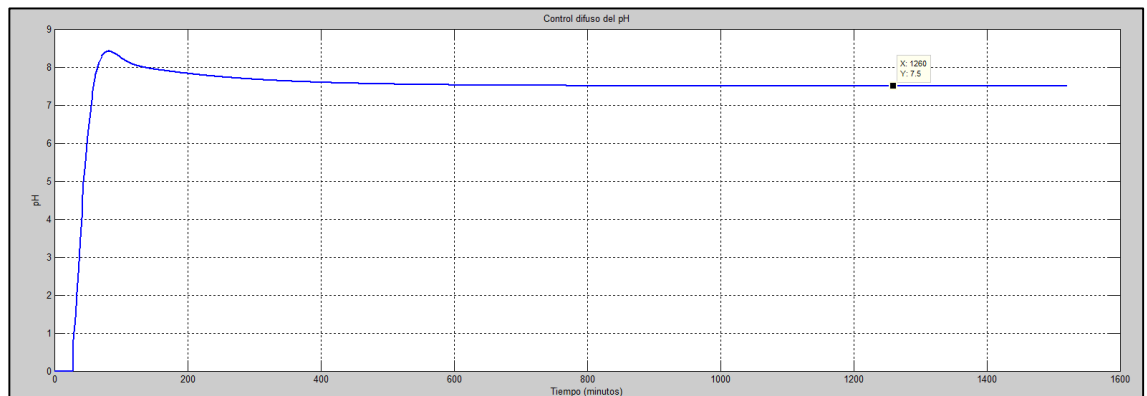


Figura 5.5 Respuesta del sistema de control difuso para el caso de mezcla ácido débil con base fuerte

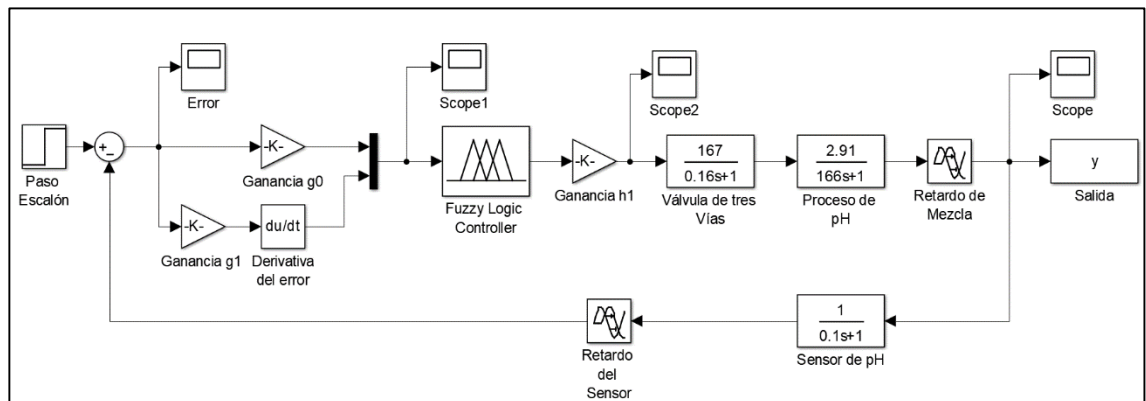


Figura 5.6 Diagrama de bloques de lazo de control de pH con controlador difuso para la mezcla de base débil con ácido fuerte.

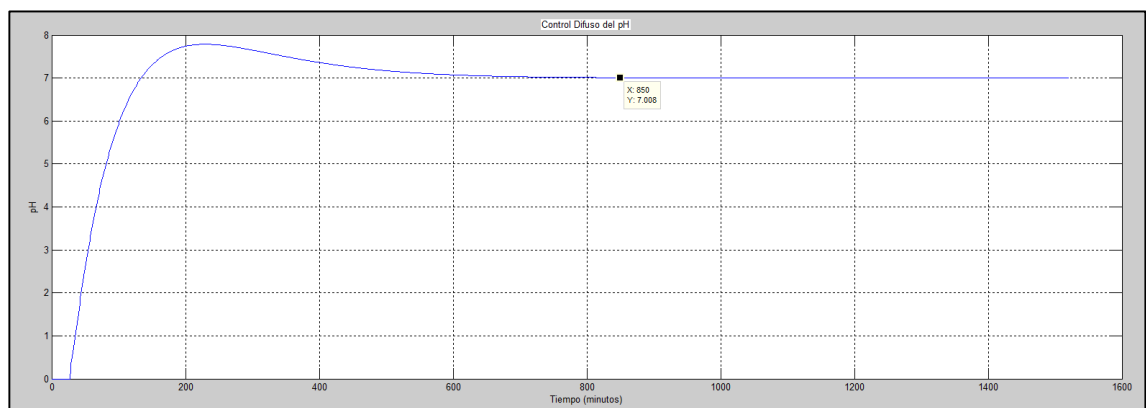


Figura 5.7 Respuesta del sistema de control difuso para el caso de mezcla base débil con ácido fuerte

El ajuste del controlador se logra al variar las ganancias, g_0 , g_1 y h , de forma tal que cuando se varia g_1 se afecta el significado de las variables lingüísticas en el eje horizontal y todas las funciones de membresía de la variable de entrada se contraen en un proporción de 10 si $g_1 > 1$ y se expanden en la misma proporción si $g_1 < 1$, el caso contrario se obtiene con la salida si se varía la ganancia h , de forma tal que el efecto sobre las funciones de membresía aumenta su ancho en una proporción de 10

si $h > 1$ y viceversa si $h < 1$ se contraen en una proporción de 10 todas las funciones de membresía

5.3 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS POR SIMULACIÓN

Al hacer el análisis de los resultados se debe tener en cuenta el comportamiento de los procesos antes las diferentes condiciones del valor del pH de la mezcla, ya que si según la curva de titulación se tiene un proceso donde va de un solución con tendencias de ácido débil el suministro de pequeñas cantidades de la base fuerte la polariza de gran manera hacia un comportamiento básico, no siendo así en el caso de un comportamiento del fluido a descargar con tendencias de base débil, que con una pequeña cantidad de ácido fuerte tendrá una variación más suave de su polarización hacia comportamiento ácido, de todas formas el objetivo es evitar que el agua residual que se vierta al lecho marino no tenga un comportamiento cercano a la neutralidad. Las variaciones del pH producen un efecto negativo pues ayudan a ocultar el ingreso de metales pesados al mar, inciden sobre la turbidez, la temperatura y la conductividad del agua. Si se observan las curvas de respuesta para el PID y el controlador difuso se puede destacar que el tiempo de establecimiento para el caso del PID es mayor alrededor de 700 minutos y para el caso del controlador difuso es alrededor de 400 minutos esto da la posibilidad de que el tanque se pueda descargar 5 horas antes que con el control PID con una buena calidad del agua, lo que trae aparejado que la planta no sufra la situación de derrame del tanque y se pueda implementar un control de nivel para el mismo.

5.4 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS CONTROLADORES DISEÑADOS

5.5 PROPUESTA DEL SISTEMA SCADA PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

La propuesta del sistema SCADA aparece representada en la Figura 5.8 donde se implementó el sinóptico de la planta de tratamiento de aguas residuales para un HMI, utilizando el TIA Portal de SIEMENS, para lograr dicho resultado el sistema actual será sustituido por un PLC S7-300 con una CPU – 314-2DP y el HMI.

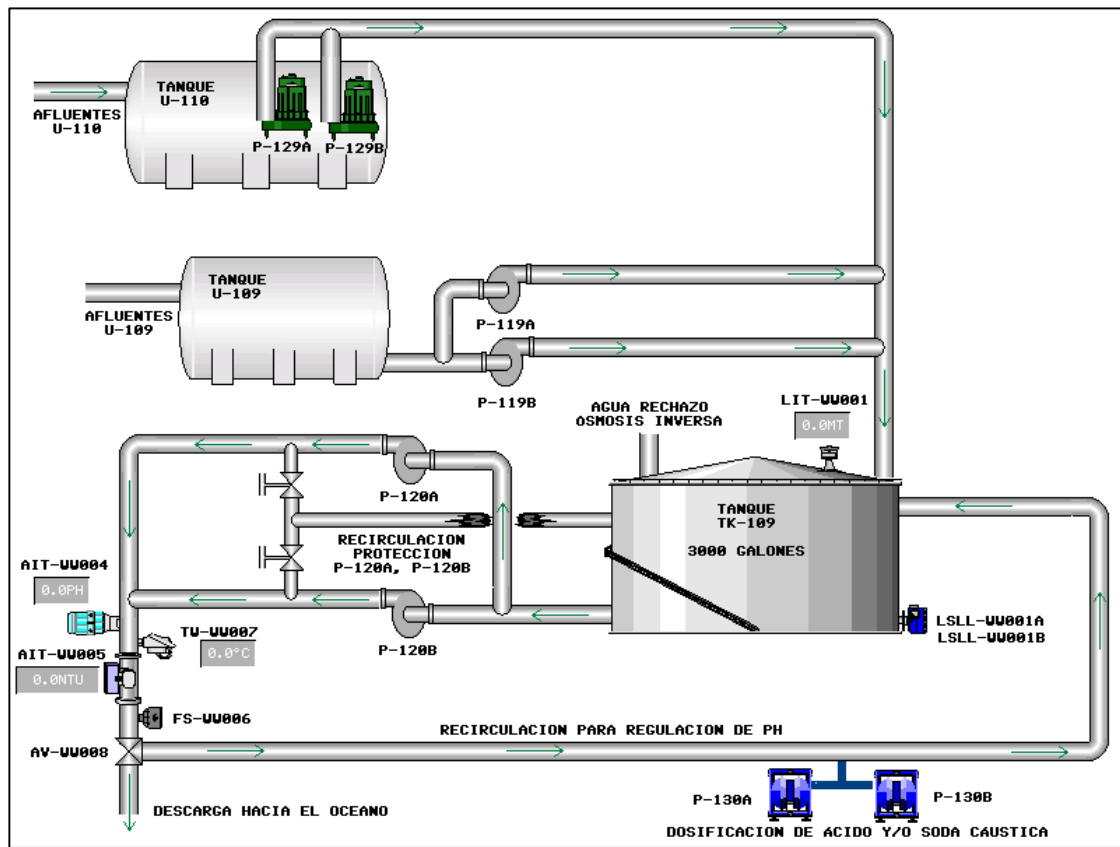


Figura 5.8 Sinótico de la planta de tratamiento de aguas residuales

CONCLUSIONES Y PROPOSICIONES

A partir del análisis del proceso se pudieron obtener las siguientes conclusiones:

Se pudieron obtener las funciones transferenciales del proceso por el método analítico a partir de los datos que se obtuvieron de la planta.

Se puede apreciar de las curvas de titulación de las figuras 3.1 y 3.2 que el comportamiento del pH es fuertemente no lineal, siendo diferente para cada caso.

La función transferencial del proceso del pH corresponde a la de un sistema de primer orden con retardo.

La constante de tiempo del proceso de pH es la mayor y se pueden despreciar frente a ella la de la válvula y la del sensor de pH.

El control a realizar debe tener un ajuste diferente para cada caso por los valores de que toma la ganancia.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. Harriott, Process Control, Cuarta ed., 1987.
- [2] King P. J. y otros, The Application of Fuzzy Control Systems to Industrial Processes. Automática, vol. 13, 1975, pp. 235-242.
- [3] M. Sugeno, «An Introductory Survey of Fuzzy Control,» 1985.
- [4] A. S. Hunaish y J. Radhi, «Hunaish, A. S. and Radhi, J. PLC based Implementation of Fuzzy Controller for Boost Converter,» . International Journal of Computer Applications, 2014.
- [5] X. Liuzhao, PLC-based Temperature Fuzzy Control System Design Research, 7 ed., vol. 8, Journal of Convergence Information Technology (JCIT), 2013.
- [6] Siemens Simatic S7- 1200, *Catálogo PS*, 2013..
- [7] Sysmac, *C200H-FZ001, Fuzzy Logic Unit, Operation Manual OMRON*..
- [8] Siemens, *User´s Manual FuzzyControl ++ V5*, 2003.
- [9] Washington Group, «Descripción del funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales,» 2002.
- [10] Babatunde A. y otros, Process Dynamics, Modeling and Control, isbn 0-19-509119-1: Oxford University Press, INC , 1994.
- [11] R. Álvarez, A la bússqueda de un control industrial más inteligente. Automática e Instrumentación, vol. 25, 1991, pp. 59-62.
- [12] Washington Group, Descripción del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, 2001
- [13] Jebarani D Irene Martina, Rammohan T; Fuzzy logic based PID Controller for pH Neutralizaation Process In ternational Journal of Computer Applications (0975-8887) Volumen 95 – No. 6, June 2014 India
- [14] Tawanda Mushiri, Et all; Advanced Fuzzy Control in Industrial Wastewater Treatment (pH and Temperature Control), Proceeding of the World Congress on Engineering, 4 - 2014, London UK
- [15] Stefan Menzl Stuhler Benz Roland; A seelf adaptive computer- based pH measurement and fuzzy – control system; Water Research, volumen 30 Issue 4 April 1996

