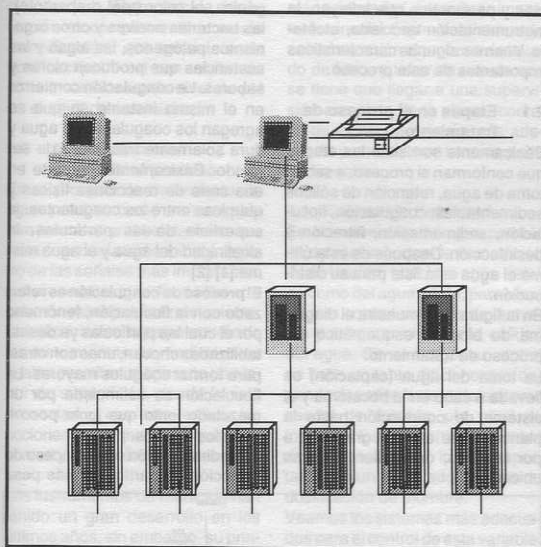


Automatización de plantas de tratamiento de agua



□ Jairo o Panneso T., M.Sc.
Ingeniero Electricista
Profesor Titular
Universidad del Valle

□ John Edward Ceballos D.
Ingeniero Electricista
Universidad del Valle

□ Juan Carlos Reyes C.
Ingeniero Electricista
Universidad del Valle

RESUMEN

Este artículo describe varios sistemas de monitoreo y control para plantas de tratamiento de aguas. Se presenta una breve descripción del proceso seguida de la definición de las principales variables a controlar y de sus sistemas de control asociados. El tamaño y complejidad de los sistemas a emplear varía ampliamente desde los siste-

mas de una sola variable hasta grandes sistemas de control distribuido. A menudo se piensa en grandes costos, sin embargo existen varios sistemas, tanto de hardware como de software, que pueden ser empleados para establecer nuevas estrategias de control, de no muy alto costo. Este artículo muestra varias de estas estrategias para las plantas de tratamiento de aguas, con las cuales se logran eficientes y flexibles sistemas de control.

PALABRAS CLAVES

Sistemas de control para plantas de tratamiento de aguas, sistemas de control de procesos, control de turbiedad, control de pH, control distribuido.

KEYWORDS

Control systems for water treatment plants, process control systems, turbidity control, acidity/alkalinity control systems, distributed control systems.

ABSTRACT

This paper describes several types of process monitoring and control systems for water treatment plants. A brief description of the process is followed by the definition of the main variables to be controlled and their control systems. The size and

complexity of process monitoring and control systems for a specific plant varies widely, from simple, single-variable control systems to large distributed-control systems. Too often, the term process control connotes large and expensive systems. In reality there are a number of standard low cost hardware and software products that are easily integrated into small but sophisticated process control systems. This paper shows how to use some new control strategies for the water treatment plants and how they meet the requirements for a flexible but an efficient control systems.

1. INTRODUCCION

Actualmente la mayoría de plantas industriales poseen algún tipo de sistemas de adquisición y control, para la supervisión de sus procesos, debido a las ventajas que estos ofrecen, entre las que se destacan la adquisición de datos en tiempo real, la configuración gráfica por medio de displays de fácil manejo para el operador y la comunicación con computadores remotos, a través de una red, lo cual hace que se pueda llevar a cabo un control y supervisión desde cualquier sitio. Ante esta perspectiva, es importante que las plantas de tratamiento de agua potable entren en el proceso de modernización, con la vinculación de estas tecnologías para un mejor manejo del proceso y de la información a cualquier nivel.

En este aspecto, en nuestro medio es poco el desarrollo que se ha obtenido en la automatización de los procesos de tratamiento de aguas; éste proceso se ha regulado manualmente, con base en la experiencia de los operadores. Aunque el tratamiento se ha llevado a cabo de forma eficiente, suministrando a los usuarios agua de buena calidad, el proceso puede ser mejorado con la utilización de nuevos equipos y sistemas automáticos.

2. CARACTERISTICAS DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

El proceso de tratamiento de agua potable, si bien es un proceso complejo por el tipo de reacciones que se presentan además de que se está trabajando con un fluido que requiere de condiciones óptimas para su suministro, puede ser analizado como cualquier otro proceso que vaya a ser automatizado, es decir, se debe hacer un estudio de cada etapa del mismo, considerando la forma de llevarse a cabo, las variables y parámetros que influyen, la instrumentación asociada, etcétera. Veamos algunas características importantes de este proceso.

2.1 Etapas en el proceso de tratamiento

Básicamente son siete las etapas que conforman el proceso, a saber: toma de agua, retención de sólidos sedimentables, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Después de esta última el agua está lista para su distribución.

En la figura 1 se muestra el diagrama de bloques esquemático del proceso de tratamiento. La toma del agua (captación) es llevada a cabo en la bocatoma y el sistema de conducción hasta la planta puede ser por gravedad o por bombeo, dependiendo de su ubicación.

La retención de sólidos sedimentables tiene como objetivos:

1. Proteger la planta de la posible llegada intempestiva de grandes flotantes capaces de provocar obstrucciones en las distintas unidades de la instalación y
2. Separar y evacuar fácilmente las materias arrastradas por el agua que podrían disminuir la eficacia de los tratamientos siguientes o complicar la realización de los mismos.[1]

La coagulación se realiza en las aguas con el fin de eliminar la turbiedad, tanto orgánica como inorgánica, el color (real o aparente), las bacterias nocivas y otros organismos patógenos, las algas y las sustancias que producen olores y sabores. La coagulación comienza en el mismo instante en que se agregan los coagulantes al agua y dura solamente fracciones de segundo. Básicamente, consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma.[1] [2]

El proceso de coagulación es reforzado con la floculación, fenómeno por el cual las partículas ya desestabilizadas chocan, unas con otras, para formar coágulos mayores. La floculación es estimulada por un mezclado lento que junta poco a poco los flóculos. [3]

La sedimentación es el proceso de remoción de partículas más pesa

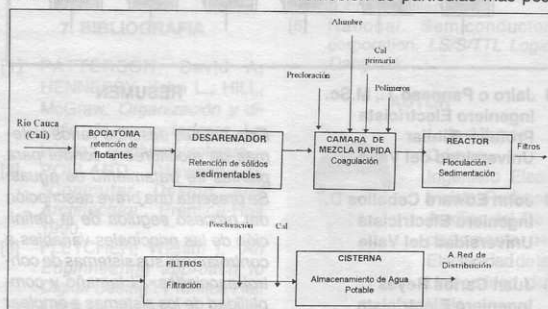


Figura 1: Diagrama de bloques del proceso de tratamiento

das que el agua, por acción de la fuerza de gravedad. Mediante este proceso se eliminan, empleando un tiempo de retención adecuado, materiales en suspensión. [1] [2] El objetivo básico del proceso de filtración es el de remover partículas suspendidas en el agua, pasándolas a través de un medio poroso, como arena, antracita, etcétera. La filtración remueve casi la totalidad de los sólidos sedimentables. [4] Desinfección o cloración significa una disminución de la población de bacterias, hasta una mínima concentración, por medio de la aplicación de cloro. El proceso de desinfección es complementado con la estabilización, que consiste en la dosificación de cal con el fin de obtener un adecuado nivel de pH en el agua de suministro.

2.2 Instrumentación asociada al proceso

En el proceso de tratamiento de agua potable, 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.

Los instrumentos de medición han tenido un gran desarrollo en los últimos años, sin embargo, su principio de funcionamiento sigue siendo el mismo, es decir, se basan en características eléctricas, químicas o físicas del medio con el que está relacionado la variable. Su principal evolución ha sido la adaptación de sistemas eficaces de transmisión, comunicación y el empleo del microprocesador, para realizar funciones adicionales de control y digitalización de la señal.

En el proceso de tratamiento, 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 sólo los elementos primarios de medición sino también los elementos auxiliares y los elementos finales de control.

3. CONTROL DEL PROCESO

Para el control del proceso de tratamiento de agua potable se deben considerar las principales variables del proceso, para las cuales se presentan los esquemas de control más adecuados, además es importante vincular dentro del sistema de automatización el proceso de lavado de filtros y tener en cuenta que se tiene que llegar a una supervisión completa de la planta, con el fin de lograr un manejo más adecuado y una sistematización de la información.

3.1 Control de turbiedad

En el tratamiento del agua potable es de vital importancia la medición de turbiedad, tanto del agua tratada como del agua cruda, para efectuar un control continuo de la misma y asegurar una buena calidad del agua. Sin embargo, su control se hace un tanto difícil porque depende de varios factores tales como caudal de entrada, pH, nivel de lodos en los reactores, velocidad de los agitadores y, lo más importante, de un adecuado sistema de dosificación de alumbre.

Veamos los sistemas más adecuados para el control de esta variable.

3.1.1 Control de adelanto de flujo-turbiedad

El control anticipativo (feed forward) parte de la medida de una o más variables de entrada y actúa simultáneamente sobre la variable manipulada que produce la salida deseada del proceso.

En este tipo de control se tienen en cuenta las variaciones en la turbiedad de entrada (adelanto de turbiedad) y con el fin de ajustar el bucle

de control a las características dinámicas del proceso se lleva a cabo la medición del caudal de entrada (ver figura 2), que es la otra variable que va a incidir en el suministro del alumbre.

Si se presenta un cambio brusco de flujo o de turbiedad, el sistema de control responderá antes que se detecte, a través de la señal de realimentación de turbiedad, la correspondiente variación de turbiedad residual.

Como se observa en la figura, la señal de adelanto de turbiedad es multiplicada por la señal del flujo de entrada, proporcionando la demanda de flujo de coagulante para lograr el punto de consigna. Esta señal de relación, flujo-turbiedad de entrada es corregida por la adición del controlador de realimentación de turbiedad a la salida, lo cual garantiza un control dinámico sin offset.

Una alternativa importante para el control de turbiedad es recurrir a la dosificación de polímero, cuando las condiciones del agua cruda así lo exijan (altas turbiedades y olores desagradables). Por esta razón se puede pensar en un sistema de control para la dosificación de dos tipos de coagulantes (alumbre y polímero) como se ilustra en la figura 3.

Este sistema proporciona una mayor confiabilidad en cuanto al control de calidad del agua potable.

3.2 Control de pH

El pH da una medición indirecta del grado de acidez o alcalinidad de una solución. Los términos "alcalinidad" y "acidez" se definen normalmente por concentraciones equivalentes de las sustancias tituladoras. Aunque el pH no es una medición directa de la acidez y la alcalinidad, constituye uno de los criterios más importantes en los sistemas físicos, electroquímicos y biológicos, y tienen una gran aplicación en el tratamiento de agua potable, así como en los sistemas de control.

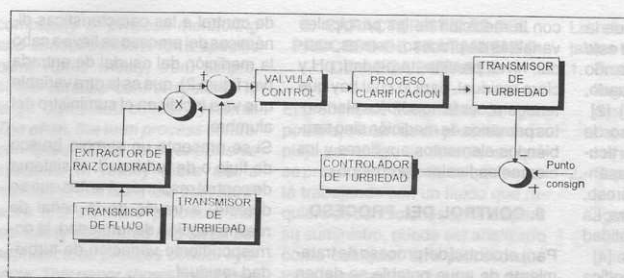


Figura 2 Lazo de adelanto de flujo-turbiedad para el control de turbiedad

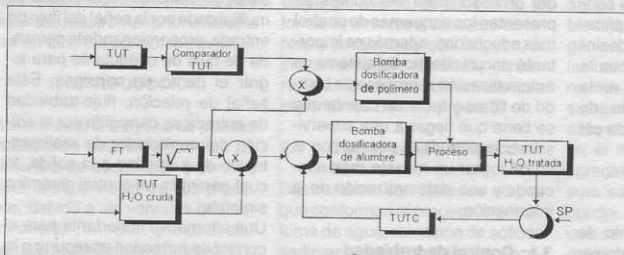


Figura 3 Diagrama de bloques del sistema de control para dosificación con dos tipos de coagulantes

El esquema más adecuado para el control de esta variable es el control de adelanto de pH-flujo de entrada, que tiene en cuenta las variaciones presentadas en el flujo actuando sobre la válvula de control para lograr un nuevo ajuste de la dosificación.

3.2.1 Control de adelanto de pH-flujo de entrada

El control de adelanto de pH fue difícil implementar antes de la llegada de los microcontroladores. La potencia computacional, exacta y flexible de estos facilitó el desarrollo de un método que presenta menos problemas de funcionamiento y es relativamente simple y más efectivo, basándose en la curva de titulación.

Realmente, el generador de la señal de adelanto puede ser visto como un controlador proporcional solamente de la demanda lineal de cal, con una ganancia de modo proporcional igual a 1.

La dosificación de cal por flujo de entrada, requerido para ir del valor del pH del afluente al set point de pH es calculado a partir de la curva de titulación programada en el microprocesador. Esta señal se multiplica por la señal de flujo de entrada, proporcionando la demanda de flujo de cal para llegar al valor establecido en el set point. Esta demanda de flujo puede ser corregida por la adición de un controlador de realimentación de pH a la salida del 50%, como se ilustra en la figura 4. Para controlar correctamente el proceso, será necesario que el controlador disponga de autoajuste de las acciones para que pueda cambiar su ganancia de acuerdo con la zona donde esté el pH, lo que representará un trabajo continuo de las rutinas de identificación del proceso y de adaptación de los coeficientes del controlador.

Es preferible utilizar un controlador con características opuestas a las del proceso, en el que puedan selec-

cionarse la anchura de la zona muerta y la pendiente.

3.3 Control de cloro residual

El cloro residual es una variable de tipo analítico muy importante para determinar la calidad del agua tratada. Su control continuo permite establecer la cantidad bacteriológica del agua y evita que se presenten futuras contaminaciones a lo largo de la red de distribución.

Con un sistema de control de adelanto de flujo se tiene un control más preciso de la dosificación de cloro al tener en cuenta las variaciones en el caudal de agua de entrada, lo cual influye sobre el cloro resultante (cloro residual).

Además del caudal, se puede tener en cuenta las variaciones en la turbiedad de entrada, ya que a mayor turbiedad, mayor debe ser la demanda de cloro, debido a que la presencia de mayor cantidad de sustancias y microorganismos alteran el cloro residual; con esta nueva consideración se tiene un sistema de adelanto de flujo-turbiedad que hace más preciso el control (figura 5). Debido a los retardos de tiempo del proceso, el controlador puede ser configurado con una acción proporcional integral, lográndose un cambio en la acción del controlador a una velocidad que concuerde con el tiempo natural de reacción del proceso.

3.4 Control de nivel de lodos

El manto de lodos es la capa que separa el agua en tratamiento del agua clarificada presente en el reactor. Su función es principalmente ser un filtro que ayuda a remover las partículas presentes en el agua,

después del proceso de coagulación y floculación.

Si se pretende implementar un control automático de la cantidad de lodos presentes en el reactor se puede considerar el nivel del mismo.

3.4.1 Sistema de control de nivel de lodos

El control de esta variable se puede realizar a partir del conocimiento del nivel mínimo y máximo de estos lodos en el reactor, de tal forma que cuando se detecte el valor máximo configurado en el controlador, éste envíe una señal de apertura a la válvula de deslode para que inmediatamente se inicie el proceso de remoción de lodos, el cual se lleva a cabo hasta que el sensor detecte el nivel mínimo ajustado en el controlador, momento en el que la válvula de deslode debe cerrarse.

Por esta razón, el control de nivel de lodos se puede implementar con un sencillo control "todo o nada". En la figura 6 se ilustra el diagrama de bloques equivalente para el control de esta variable.

3.5 Otras variables

Además de las señales consideradas, existen otras que en un momento determinado pueden requerir de un control automático, con el fin de llevar a cabo un control más amplio de la planta o del proceso. Dentro de estas variables tenemos nivel y flujo, para las cuales se van a plantear los esquemas básicos de control.

El control de nivel es utilizado para mantener los niveles de agua, o

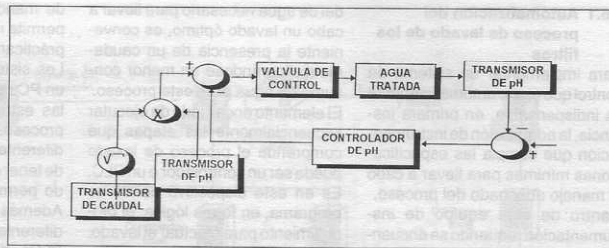


Figura 4. Diagrama de bloques del sistema de control de pH con lazo de adelanto flujo-pH

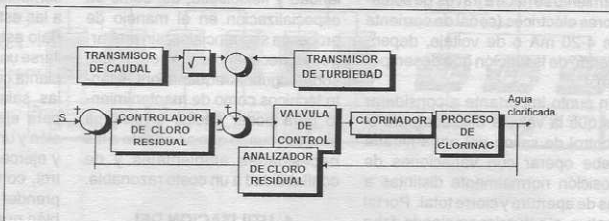


Figura 5. Diagrama de bloques del sistema de control de cloro residual con lazo de adelanto de flujo - turbiedad

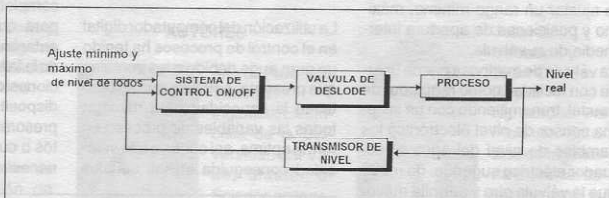


Figura 6. Sistema de control de nivel de lodos. Diagrama de bloques equivalente

cualquier fluido, dentro de un tanque o cisterna, de tal forma que se pueda regular el suministro sin afectar la cantidad de fluido requerido para almacenamiento.

El control de flujo es indispensable cuando se requiere regular el suministro de agua que está pasando por una tubería, logrando de esta forma mantener el caudal y la presión del líquido a determinadas condiciones exigidas por una dosificación o, en última instancia, por la distribución a la ciudad.

En la figura 7 se muestran los anillos esquemáticos para el control de estas variables.

3.6 Control de operación de los filtros

Los filtros desempeñan un papel importante dentro del proceso de tratamiento de agua potable, de ahí que el control de las válvulas que intervienen en su operación debe cumplir con los requerimientos básicos que garanticen un suministro de agua de óptima calidad, facilitando un consumo racional tanto de agua de lavado como de energía, además de sistematizar la información referente a la operación de los mismos.

3.6.1 Automatización del proceso de lavado de los filtros

Para implementar un sistema de control que opere automáticamente es indispensable, en primera instancia, la adquisición de instrumentación que cumpla las especificaciones mínimas para llevar a cabo el manejo adecuado del proceso. Dentro de este equipo de instrumentación requerido se encuentran las válvulas, cuyo accionamiento se hace a través de actuadores eléctricos (señal de corriente de 4-20 mA o de voltaje, dependiendo de la función que desempeñe).

Un punto importante a considerar es que la válvula utilizada para el control de salida del agua filtrada debe operar con variaciones de posición normalmente distintas a las de apertura y cierre total. Por tal motivo, el actuador empleado debe trabajar preferiblemente con señal de corriente de 4-20 mA que permita ajustar un rango mínimo, máximo y posiciones de apertura intermedia de la válvula.

La válvula de mariposa puede usarse con facilidad como regulador de caudal, transmitiendo con un sistema sensor de nivel electrónico los cambios de nivel del agua al actuador eléctrico sugerido, de modo que la válvula gire y permita mayor paso de flujo cuando el nivel tiende a subir y lo disminuya cuando tiende a bajar y así conservar la carga y el caudal constantes.

La válvula de mariposa puede también emplearse para el control de los flujos de agua de lavado, aire y para regular la descarga de aire a la atmósfera, dependiendo de las dimensiones de la tubería existente. No obstante, su operación radica normalmente en dos estados, totalmente abierta o cerrada, por lo que es factible adquirir actuadores eléctricos que logren estas posiciones mediante la aplicación de una señal ON-OFF, como es el caso de una tensión de 110 V.

Para conocer la demanda y el cau-

dal de agua necesario para llevar a cabo un lavado óptimo, es conveniente la presencia de un caudalmetro, lográndose un menor consumo de agua para este proceso. El elemento encargado de ejecutar secuencialmente las etapas que comprende el proceso de lavado puede ser un controlador o un PLC. Es en este dispositivo donde se programa, en forma lógica, el procedimiento para efectuar el lavado. La ventaja del PLC es su modularidad y flexibilidad, así como su especialización en el manejo de procesos secuenciales; sin embargo, es necesario entrar en detalle sobre algunos requerimientos tanto técnicos como de mantenimiento para poder decidir el sistema más adecuado que se adapte a las necesidades ambientales y de confiabilidad a un costo razonable.

4. UTILIZACION DEL COMPUTADOR PARA CONTROL Y SUPERVISION

La utilización del computador digital en el control de procesos ha tenido un gran auge debido a las ventajas que presenta, entre las que se destacan la capacidad para manejar todas las variables de proceso en forma óptima, así como la alta velocidad conseguida en las señales

de mando a las válvulas, lo cual permite realizar el control en forma prácticamente continua.

Los sistemas de control basados en PC permiten el diseño de todas las estrategias requeridas por el proceso, la comunicación con los diferentes controladores, además de tener el computador supervisando permanentemente el proceso. Además de esto, se pueden tener diferentes tipos de controladores o PLCs, distribuidos por la planta y comunicados por medio de un red a las estaciones supervisoras.

Bajo este concepto puede desarrollarse una red distribuida por toda la planta con estaciones ubicadas en las salas de operación, algunas para ejercer únicamente supervisión y una o dos para fijar setpoints y ejercer ciertas acciones de control, como abrir y cerrar válvulas, prender o apagar bombas, que también pueden acceder a toda la información de la planta. Además de esto, debe tenerse una indicación completa de las alarmas ocurridas para que todos los operarios se enteren del lugar donde ha ocurrido la falla. Conectadas a estas estaciones debe también tenerse otros dispositivos, como por ejemplo impresoras para sacar reportes, eventos o cualquier información que se necesite.

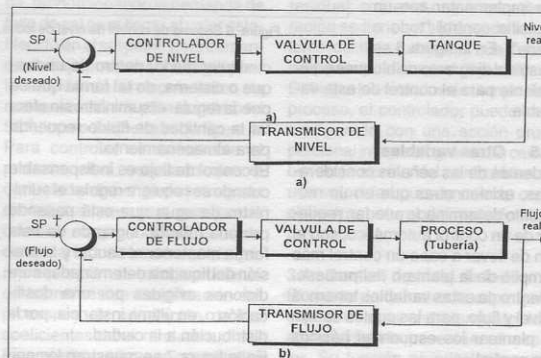


Figura 7 a) Anillo esquemático de control de nivel b) Diagrama de bloques para el control de flujo.

Mediante esta configuración por medio de redes de alta velocidad y uniendo todas las plantas a través de la red general se puede acceder desde cualquier punto de la misma a toda la información generada en las estaciones.

En la figura 8 está representado un esquema para llevar a cabo la supervisión total y un control de las plantas de tratamiento. Este sistema tiene la ventaja de que puede ir ampliándose a medida que se vayan automatizando otras áreas de la planta con el fin de ir sistematizando todo el proceso y reemplazar los equipos antiguos por equipos modernos que brinden mayor precisión y confiabilidad.

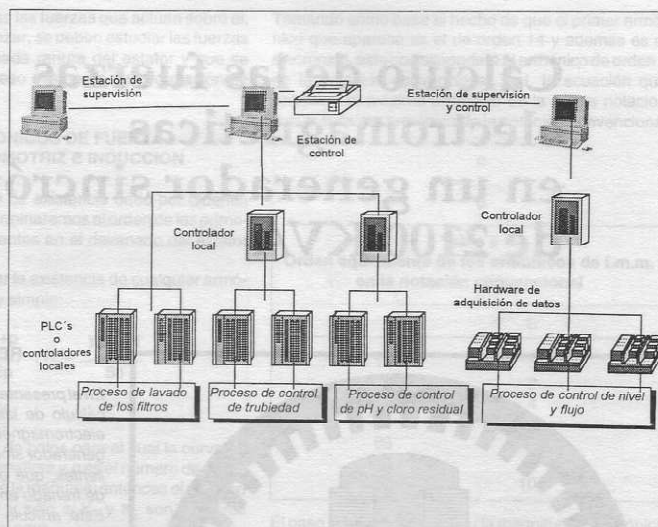


Figura 8: Esquema de supervisión y control planteado en las plantas de tratamiento.

AUTORES



Jairo Panesso Tascón

Ingeniero Electricista de la Universidad del Valle, Master of Science en Ingeniería Eléctrica de la University of Wisconsin en USA en Sistemas de Control, Especialista en Sistemas de la Universidad del Valle. Vinculado a la Universidad del Valle desde 1972 y Profesor titular del Departamento de Electricidad. Actualmente Decano Asociado de la Vicerrectoría de Investigaciones de la misma. Su área de interés investigativo es la Automatización de Procesos Industriales.



John E. Ceballos y Juan Carlos Reyes

Egresados del Plan de Estudios de Ingeniería Eléctrica, desarrollaron su proyecto de gra-

do en la Automatización de la Planta de Tratamiento de Agua de Puerto Maillarino, con el auspicio de las Empresas Municipales de Cali y bajo la dirección del Profesor Jairo Panesso Tascón. Se graduaron de Ingeniero Electricista en Octubre de 1995.



5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Actualización en operación de plantas de potabilización de aguas. Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (ACODAL). Santiago de Cali, noviembre de 1987.
- [2] ARBOLEDA, Valencia Jorge. Teoría, diseño y control de los procesos de clasificación del agua. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEDIS), 1973.
- [3] CAICEDO, Julia Rosa. La Coagulación: Teoría, control y aplicación al mejoramiento de la calidad del agua. Universidad del Valle, 1993.