

# Sistema de Medición y Control del Nivel de pH en Líquidos Acuáticos (SMC-1)

Farley Alzate Torres. Ing. USCO.

José Manuel Manosca Durán. Ing. USCO.

Agustín Soto Ojalora. Director de Tesis. Ing. Electrónica. Esp. Automatización Industrial. Docente. USCO.

## Resumen

hoy en día con la ayuda de los avances tecnológicos casi todos los parámetros y cambios de la naturaleza pueden ser medidos u observados y todo comienza con la adquisición de datos y su correcta interpretación.

El pH es la medida de acidez o alcalinidad de una solución acuosa. Es también la medida de actividad del ion hidrógeno de una solución. EL SISTEMA DE MEDICIÓN Y CONTROL DEL NIVEL DE pH EN LÍQUIDOS ACUOSOS (SMC-1), es un dispositivo elaborado pensando en el mejoramiento de la calidad de vida humana y por supuesto en el saneamiento ambiental, está diseñado de tal forma que sea práctico tanto en su instalación como en su operación. Su función es tomar lecturas del grado de pH en un líquido que puede estar sujeto a cambios de temperatura sin que la medida real del pH se vea afectada y operar sobre un par de bombas dosificadoras para regular el grado de pH dentro de los rangos deseados.

## Abstract

Measurement and control level system of pH SMC-1.

It is a device that process the information given is a PT-100 that measure the changes of temperature and the other is an pH electrode that show us the variation of the same level with these information, is going to have a decision of intervene adding chemist to the liquids in the way that its pH remain into its set point.

## Introducción

La purificación del agua para consumo humano y el saneamiento de aguas residuales es un tema que preocupa a todo el mundo en la búsqueda de prevenir enfermedades y el afán de minimizar el impacto ambiental que a diario ocasiona el hombre con los desechos de las fábricas y aguas contaminadas que las mismas ciudades y poblaciones arrojan a los ríos.

Para saber cuando un agua esta contaminada la detectamos por su mal olor, mal sabor o por que se ve sucia, pero existen métodos de análisis que indican la contaminación del agua, por ejemplo la **Demanda Bioquímica de Oxígeno** (DBO<sub>5</sub>) que es la cantidad de oxígeno del agua que utilizan los microorganismos para consumir la materia orgánica presente en el agua, esto significa que si el DBO es muy alto se necesita mucho oxígeno para desintegrar dicha materia y el agua no es apta para el consumo humano y muchas veces ni siquiera para los peces y animales de los ríos. Otra forma de saber si hay contaminación es midiendo los **Sólidos Suspendedos Totales** (SST) que se detecta como el material que enturbia el agua; pero esto es solo una parte ya que existen muchos análisis que se hacen para medir la contaminación del agua entre los que se encuentra la acidez y alcalinidad del agua es decir la medición del pH.

En la práctica ambiental, el pH tiene mucha importancia porque influye en la mayoría de los procesos de tratamiento de aguas. Un sistema ecológico puede ser afectado por la alteración del pH en un cuerpo de agua, pudiendo causar la muerte de los peces y muchas otras formas de vida. Los procesos de tratamiento en los que el pH debe ser considerado son los procesos de coagulación química, desinfección, ablandamiento de agua y control de la corrosión. En sistemas de tratamiento de aguas negras que utilizan procesos biológicos, el pH debe de controlarse dentro de un rango favorable a los microorganismos encargados de la purificación. Los tratamientos químicos usados

para coagular aguas residuales, secado de lodos y oxidación de ciertas sustancias como cianuros, requieren de un control exacto del pH.

El pH de las aguas naturales varía entre 4 y 9, sin embargo, la mayoría de las aguas son ligeramente básicas debido a la presencia de carbonatos. El Ministerio de Salud recomienda que el pH del agua potable esté comprendido entre 6.5 y 9 (Norma 475 Marzo 10 de 1998) lo que obliga a las empresas o entidades que prestan el servicio de agua potable a tomar las medidas correctivas en caso de que el nivel de pH se encuentre fuera de los rangos establecidos.

Un motivo que ocasiona que los acueductos municipales pasen por alto la obligación que se adquiere con la comunidad de brindar un excelente servicio de agua es el temor de enfrentarse a los elevados costos de los equipos. Por tal razón recurren a métodos poco confiables o en el peor de los casos el control de pH ni siquiera se lleva a cabo por descuido o falta de conocimiento. El desarrollo del **Sistema de Medición y Control de pH** que se presenta no sólo es muy sencillo sino que a su vez es bastante económico mostrando la viabilidad del sistema en un ámbito comercial al alcance de cualquier acueducto municipal en el que la flexibilidad del equipo da la ventaja de amoldarse a la necesidad de cada caso particular tan sólo escogiendo un sistema de bombas dosificadoras o electro válvulas adecuado para la inyección del compuesto indicado y de esta manera conseguir en el agua un nivel de pH dentro del rango aceptable para el consumo humano.

## La escala de pH

De acuerdo con la información del fabricante el electrodo tiene una salida en milivoltios que se puede observar en la tabla 1.

Ejemplos de algunas sustancias conocidas con su respectivo valor de pH (ver tabla 2).

**Tabla 1.** Escala de pH.

pH	MV
0	413
1	354
2	295
3	236
4	177
5	118
6	59
7	0
8	-59
9	-118
10	-177
11	-236
12	-295
13	-354
14	-413

Fuente: Grupo de trabajo.

### Modelo fundamental del sistema

La distribución física de los elementos del SISTEMA DE MEDICIÓN Y CONTROL DE pH y la secuencia lógica de las acciones de cada uno de ellos conllevan al resultado final de tener un líquido con un grado de pH dentro del rango deseado por el operario que es quien decide en que momento deben actuar las bombas dosificadoras para subir o bajar pH según corresponda, introduciendo una programación que acota el rango de pH del agua.

Un líquido que esta fluyendo constantemente tiene la posibilidad que tanto su pH como su temperatura varíen, el primero que su grado desborde el deseado y el segundo que influya en la toma de la medida del primero, y es donde entran a jugar un papel importante el electrodo de pH y la Pt 100 en la conversión de medidas físicas a eléctricas para ser interpretadas por un microcontrolador para con base a ellas tomar la decisión de intervenir o no en el actual nivel de pH que presenta el líquido. Ver figura 1.

**Tabla 2.** Sustancias con su pH respectivo.

Sustancia	pH	Sustancia	pH
Ácido Sulfúrico	0.3	Sangre humana	7.3 a 7.5
Limón	2.0	Huevo	7.6 a 8.0
Vino	2.8 a 3.8	Bicarbonato de sodio	8.4
Naranja	3.0 a 4.0	Amoniaco	11.6
Cerveza	4.0 a 5.0	Revelador fotográfico	12
Queso	4.8 a 6.4	Hidróxido de sodio	14.0

Fuente: Grupo de trabajo.

## Estructura del electrodo de pH

El electrodo de pH (figura 2) está compuesto principalmente por una membrana de vidrio y una referencia las cuales son sensibles a ciertas condiciones de uso y por consiguiente hay que tener algunos cuidados, precauciones y mantenimientos que prolongan la vida útil del sensor. El electrodo utilizado en este sistema es el **Model 10 General Purpose pH Sensor** de **INNOVATIVE SENSORS INC.**

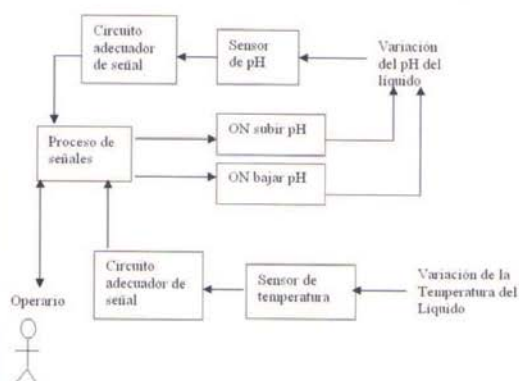


Figura 1. Diagrama fundamental del sistema.

## Temperatura de la solución

Los cambios en la temperatura de la solución pueden variar el voltaje de salida del electrodo, afectado de forma general el control del nivel de pH programado.

Los efectos de la temperatura son dos:

Primero, variaciones de las muestras de pH vs temperatura, es decir grado en el cual el agua es ionizada de forma (H<sup>+</sup>) y (OH<sup>-</sup>) varía con la temperatura.

Segundo la sensibilidad del electrodo de vidrio vs temperatura. No es necesario tener un pH-metro con compensación de temperatura si la temperatura de la solución es estable. La compensación automática de temperatura es necesaria cuando se realizan mediciones continuas de pH.

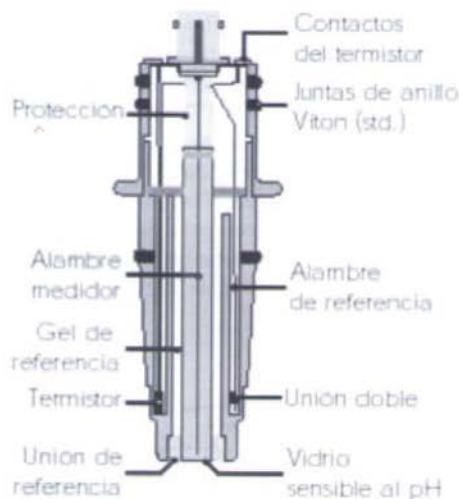


Figura 2. Electrodo de pH.

Fuente: Grupo de trabajo.

## Compensación del pH con la temperatura

Debido a la variación de la lectura del electrodo de pH por la influencia de la temperatura es de suma importancia tomar medidas "on-line" de temperatura y compensar el pH para obtener un valor real del nivel de pH en el agua y de esta manera no cometer errores en el control. Para la medida de temperatura se debe seleccionar un sensor adecuado como es un **Termómetro por resistencia eléctrica de metales**.

**Termistores.** Los termistores aprovechan la dependencia que presenta la resistencia eléctrica de cualquier material conductor con la temperatura. La sensibilidad a la temperatura se ha exacerbado gracias a la utilización de materiales semiconductores, específicamente diseñados para que su resistencia dependa agudamente de la temperatura del elemento. Existen termistores de coeficiente positivo (su resistencia aumenta con la temperatura) o negativo, siendo este último más típico y de bajo costo.

Sistema de medición y control del nivel de pH en líquidos acuosos (SMC-1)

**RTD (Detector de Temperatura Resistivo).** La conductividad eléctrica de los metales depende del movimiento de los electrones a través de su estructura. Ambas, la excitación térmica y la resistencia eléctrica de un conductor varían con la temperatura siendo los principios básicos de la resistencia termométrica. Este efecto es comúnmente visto como un incremento de la resistencia con un incremento de la temperatura. Las RTD'S están formadas por un devanado de hilo encapsulado como en la Figura 3.

Para los metales preciosos, la dependencia de la resistencia eléctrica con la temperatura es prácticamente lineal, dentro de rangos más bien amplios. En particular, los estándares de sensores de temperatura para instrumentación más tradicionales se basan en la resistividad del platino, en el sensor conocido como "PT100". La precisión de estos instrumentos puede llegar a la centésima de grado centígrado.

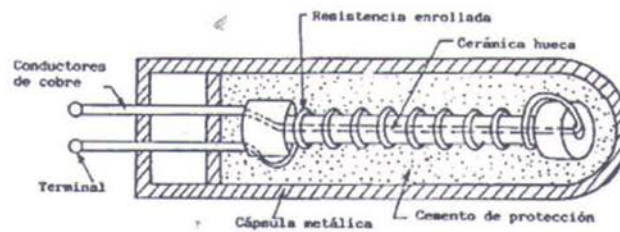


Figura 3. Hilo encapsulado.

## Sistema de medición de la temperatura

Como los muestreos se hacen en un cuerpo de agua cambiante, que tanto su pH como su temperatura se están modificando y en algunos momentos sufriendo cambios bruscos que afectaran de forma radical la salida de control es de vital importancia implementar el sistema de compensación de temperatura. El sensor adecuado para tomar las medidas de temperatura del agua y compensar la medida de pH tomada por el electrodo es la RTD PT100.

La siguiente aplicación permite explicar el diseño del circuito capaz de adaptar la señal ofrecida por el sensor de temperatura (PT-100) de tal manera que pueda ser aplicada a la entrada del microcontrolador (16F873A) donde se realizará la compensación con la lectura de pH para lograr un control eficiente. Este circuito realiza un proceso basado en **3 pasos** tal y como muestra la figura 4.

**Etapa 1:** Transformar la magnitud física en magnitud de resistencia. En este caso la transformación será de temperatura (°C) a resistencia (ohmios) y llevada a cabo a través de la Pt100.

**Etapa 2:** Transformar la magnitud resistencia a Voltios, ya que la lectura por parte del conversor A/D del microcontrolador va en función del voltaje en su entrada, y la PT100 ofrece como salida resistencia, la temperatura es medida indirectamente leyendo el voltaje en los terminales de la PT100 en presencia de una corriente constante lo que equivale a la aplicación de la ley de Ohm ( $V=I \cdot R$ ).

De forma práctica la conversión a voltaje de la resistencia del sensor se hace con la implantación de un puente de Wheatstone (figura 5).

**Etapa 3.** Ajuste de la señal al conversor A/D del microcontrolador.

El rango de variación de 0 V a 2.85 V se ajusta al rango del conversor A/D del microcontrolador, que corresponde de 0 a 5V. Esta función se efectúa a través de un CAS (Circuito Acondicionador de Señal) cuyo objetivo es aprovechar todo el rango que ofrece el conversor A/D.

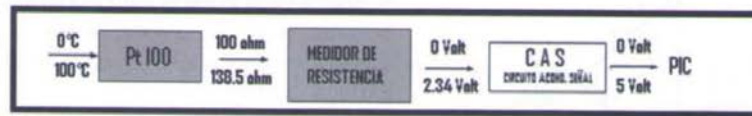


Figura 4. Esquema para transformar la temperatura a la señal eléctrica de entrada del PIC.

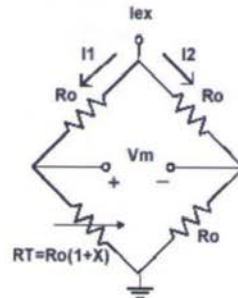


Figura 5. Puente de Wheatstone.

## Sistema de medición del pH

La medida de pH es el factor condicionante para que la estabilización del mismo sea efectiva por el sistema de control, así que el proceso y cuidado de la señal eléctrica que brinda el electrodo debe tratarse de tal forma que el nivel de voltaje que llega al conversor A/D sea el correspondiente al grado de pH real de líquido.

Por tratarse de una señal de voltaje tan pequeña, del orden de mV (59 mV de incremento por grado de pH por debajo de pH 7 (ácida) y 59 mV de decremento por grado de pH por encima de pH 7 (básica)), primero que todo debe ser amplificada y llevada a los rangos de voltaje de entrada del conversor A/D, sin embargo no es el único tratamiento de hacerle a la señal. El diagrama de bloques de la figura 6 da a entender el tratamiento de la señal hasta que llega al microcontrolador.



Figura 6. Diagrama de bloques para la señal del electrodo de pH.

Los pasos para la conversión del nivel de pH a una señal de voltaje ajustada a los requerimientos del microcontrolador (señal digital) son:

**1. Transformación de una magnitud física en una magnitud eléctrica.** Este trabajo es realizado por el Electrodo de pH (ver Tabla 1).

**2. Amplificación de la señal de voltaje.** Debido a que la señal entregada por el electrodo de pH es de referencia flotante, lo que quiere decir que no está referenciada a un punto común, la mejor opción para amplificarla es con un Amplificador de Instrumentación y otra razón es la alta impedancia que el amplificador de instrumentación presenta al electrodo de pH figura 7.

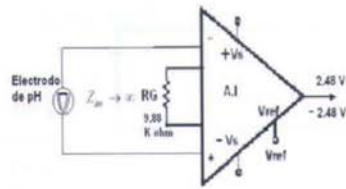


Figura 7. Amplificador de Instrumentación con la entrada del electrodo de pH.

**3. Filtrado de la señal.** Se realiza debido a que el convertor A/D solo se le puede presentar señales con un componente frecuencial menor que la mitad de su frecuencia de muestreo (frecuencia de Nyquist).

Ahora bien dentro de los muchos tipos de filtros activos cada uno con características especiales, están los *Elípticos*, *Parabólicos*, *Bessel*, *Papoulis*, *Gausiano*, *Chebyshev* y *Butterworth*, siendo los dos últimos los más comunes y utilizados. Para la implementación del diseño del circuito filtro se utilizó la ayuda de el **FILTER WIZ PRO** que es un programa práctico para el diseño de filtros el cual permite escoger el filtro más adecuado y con las mejores garantías de funcionamiento.

**4. Ajuste de la señal al convertor A/D del PIC.** Es la etapa en la que la señal de adecua de tal forma que sea reconocida en la entrada del convertor análogo digital.

### Microcontrolador empleado

A la hora de escoger el microcontrolador a emplear en el diseño, se tuvo en cuenta multitud de factores, como la documentación y herramientas de desarrollo disponibles y su precio, y por supuesto las características del microcontrolador (tipo de memoria de programa, número de temporizadores, interrupciones, entradas/salida y por supuesto convertor A/D etc.), después de comparar las necesidades con los microcontroladores existentes la balanza se inclinó hacia la familia MicroChip señalando a el PIC 16F873A figura 8.

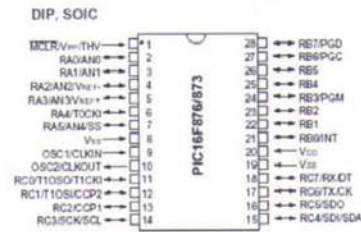


Figura 8. PIC16F873A.

### Montaje e instalación del SMC-1

Una instalación típica del sistema de medición y control de pH en la planta de tratamiento del líquido es como se muestra en la figura 9.

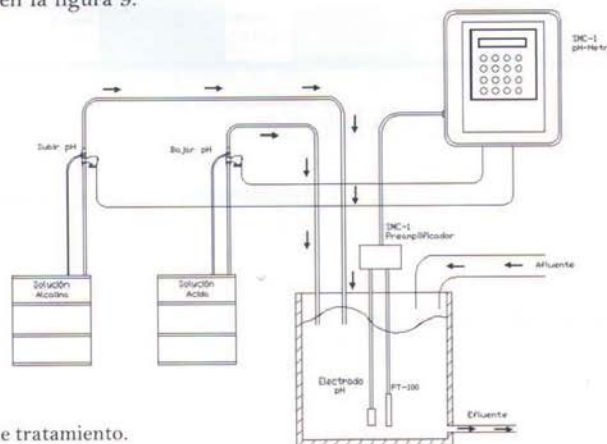


Figura 9. Planta de tratamiento.

## Conclusiones

- El sistema de medición y control de pH (SMC-1) es una máquina práctica para aquellos procesos donde la estabilización de pH debe permanecer en ciertos rangos.
- Los rangos de pH para los que se desea trabajar se pueden programar de tal forma que se adecuen a la necesidad.
- El SMC-1 está diseñado para que su instalación y programación sean muy sencillas.
- Los circuitos fueron diseñados buscando la menor complejidad de los mismos, sin

embargo cabe aclarar que se puede buscar una máquina estructuralmente más sencilla y por que no más económica. Además una conclusión muy importante es el hecho de que el tamaño del dispositivo se puede reducir bastante, compactando los circuitos y diseñándolos en un menor número de tarjetas.

- En la búsqueda de la mejor forma de hacer las cosas, un factor importante y no de menor importancia es la economía para que el dispositivo finalmente tenga un comercio viable. De esta manera el SMC-1 está presupuestado para que cualquier entidad o empresa que lo requiera pueda adquirirlo sin pagar más.

## Referencias Bibliográficas

1. BOLTON, W. Instrumentación y control industrial. 2 ed. Buenos Aires: Paraninfo, 1999. 212 p.
2. C.J. SAVANT, Martín S. Ronden y GORDON, Carpenter. Diseño electrónico, circuitos y sistemas. 2 ed. s.l: Addison-Wesket Iberoamericana, 1992. 187 p.
3. CREUS, Antonio. Instrumentación industrial. 6 ed. Bogotá: Alfa Omega, 1997. p. 352-357
4. MALVINO, Albert Paul. Principios de electrónica. 5 ed. México: McGraw-Hill, 1994.
5. HERNADEZ, Jorge E. Electrónica Básica •8-•8.1-•8.2. Fuentes de alimentación. Bogotá: Cedit, 2002. 47 p.
6. JOYANES AGUILAR, Luis. Fundamentos de programación. En: Algoritmos y estructura de datos. Embedded control hand bood. México: Aguilar, 1997. v.1. p. 40-127.
7. MOHAMMAD H, Rashid. Electrónica de potencia. 2 ed. Buenos Aires: Pearson Educación, 1996. 198 p.
8. KATSUHIKO, Ogata. Ingeniería de control moderna. 2 ed. México: Prentice Hall, 1993. 321 p.
9. <http://www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/analisis/colombias/spcapit10.html>
10. <http://www.lenntech.com/espanol/pasos-en-purificacion-del-agua.htm>
11. <http://www.microchip.com>
12. <http://www.provitec.com.br/>
13. <http://www.todorobot.com.a>