

SISTEMA DE MEDICIÓN Y VISUALIZACIÓN DE POTENCIAL DE HIDRÓGENO PARA UN PROTOTIPO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES USANDO LODOS ACTIVADOS

Jaime Alberto Ospina Duque, Ángela Patricia Muñoz Gómez, Diego Fernando Ramírez Jiménez y Edward J. Marín García.
Universidad del Quindío, Armenia (Colombia)

Resumen

Este artículo presenta los resultados obtenidos de la elaboración de un sistema de medición y visualización de potencial de hidrógeno para un prototipo de planta de tratamiento de aguas residuales usando lodos activados. Este monitoreo se realizó utilizando un electrodo de pH *Blue Line* pH11 de la marca Schott®, que entrega una variación de voltaje (mV). El principal problema que presentó este sensor es un nivel de impedancia de salida mayor a $10^{12} \Omega$, lo cual puede generar incompatibilidad con los amplificadores operacionales o de instrumentación de uso común y de fácil acceso en el mercado. Utilizando un circuito integrado ILC7107, el potencial de hidrógeno se logró decodificar y mostrar en un visualizador de siete segmentos y a través de una interfaz gráfica diseñada en LabVIEW® de National Instruments.

Palabras clave: Lodos activados, potencial de hidrógeno (pH), circuito Integrado, LabVIEW®.

Abstract

This paper shows the results obtained from the elaboration of a measurement and visualization system of hydrogen potential for a prototype of waste water plant using activated sludge. This monitoring was realized using an electrode of pH *Blue Line* pH11 of Schott® which presents a voltage (mV) variation. The main problem that this sensor presented is a level of impedance that exceeds $10^{12} \Omega$, which can generate problems with the operational or instrumentation amplifiers of common use and easy access on the market. Using an integrated circuit ILC7107, the hydrogen potential was decoded and showed in a visualizer of a seven segments and through in a graphic interface designed using LabVIEW® of the National Instruments Corp.

Keywords: Activated sludge, hydrogen potential (pH), integrated circuit, LabVIEW®.

Introducción

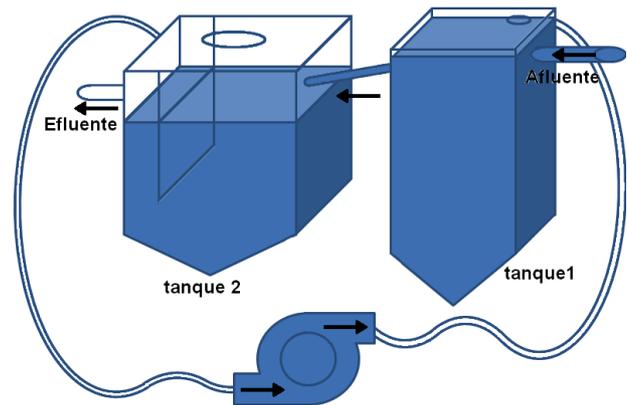
En las plantas de tratamiento de aguas residuales que usan lodos activados se hace conveniente monitorear el potencial de hidrógeno (pH) para poder determinar si el agua cumple con las condiciones de vida aptas para que los microorganismos desarrollen el proceso de limpieza (tratamiento secundario) y posteriormente ser llevada para diversos usos, como por ejemplo en los sistemas de riego (tratamiento terciario). Con este prototipo de planta de aguas residuales usando lodos activados, se desea realizar un instrumento de laboratorio para diferentes áreas de investigación, en particular, en los laboratorios de la Universidad del Quindío**, para biología como apoyo a los procesos de la calidad del agua y comportamiento de los lodos activados; para química, en el control y monitoreo de diferentes fenómenos químicos que se presentan en esta planta y en electrónica, para la instrumentación y acondicionamiento de la señal entregada por el electrodo.

El actual nivel de contaminación de aguas conlleva a la necesidad de implementar plantas de tratamiento que contribuyan a la mitigación y reducción de este factor. Algunos de los modelos usados de estas plantas de tratamiento de aguas residuales, incluyen el uso de microorganismos llamados lodos activados como tratamiento secundario. En esta etapa se encuentra enfocado el proyecto, ya que se hace necesario automatizar unas variables y monitorear otras para garantizar las condiciones de vida de los microorganismos que se encuentran ubicados en el tanque dos del reactor (ver figura 1). Uno de los factores que influyen directamente en las condiciones de vida que se le deben mantener a los lodos activados para que elaboren un proceso óptimo y obtener una buena calidad del agua, es el potencial de hidrógeno (pH); preferiblemente el pH del medio donde los lodos permanecen debe estar cercano a 7, también conocido como pH neutro. En la mayoría de los casos las aguas llegan a esta etapa con un potencial de hidrógeno muy cercano a siete, siendo de gran importancia monitorear dicha variable para determinar o detectar un posible fallo en la planta y verificar si el proceso se ha desarrollado correctamente.

En este documento se presentan los resultados obtenidos de la caracterización de un electrodo de

pH y el acondicionamiento realizado a este, con el fin de ejecutar el monitoreo de la variable pH donde se encuentra en proceso que se efectuó para medir esta variable.

Figura 1: Reactor de laboratorio compuesto por dos tanques para un tratamiento secundario.



Fuente: Autores.

Metodología

La presente investigación es de carácter experimental dada las características del electrodo de pH, esperando medirle en el punto dentro de la planta y desde un lugar remoto. Para llevar a cabo este proceso, inicialmente se realizó una caracterización del electrodo, se aplicaron varias pruebas con diferentes tipos de circuitos integrados con el fin de acondicionar la señal, efectuar la toma de datos, medir el pH in situ y llevar dicha señal al microcontrolador 16F877, donde posteriormente se interpretó como dato y se transmitió por el puerto serial a un computador para allí ser visualizado.

Resultados

La calidad del agua y el pH son a menudo mencionados en la misma frase. Este es un factor muy importante, porque determinados procesos químicos solamente se pueden realizar a un determinado valor (Lenntech, 2008). Por ejemplo, en el proceso de tratamiento de aguas residuales solo se realiza de una manera más eficaz cuando el rango está entre un valor de 6,5 y 8. Por ser los lodos

activados microorganismos con vida, ésta es una de las características que se le deben mantener.

Por otra parte, el factor de pH del agua puede variar entre 0 y 14. Cuando este factor en una sustancia es mayor de 7, se considera que es una sustancia básica, mientras que cuando está por debajo de 7, es una sustancia ácida. En cuanto más se aleje el pH por encima o por debajo de 7, más básica o ácida será la solución, (Lenntech, 2008). (Ver figura 2).

Figura 2: Factor de pH

Sustancia/Disolución	pH
Disolución de HCl 1 M	0,0
Jugo gástrico	1,5
Jugo de limón	2,4
Refresco de cola	2,5
Vinagre	2,9
Jugo de naranja o manzana	3,0
Cerveza	4,5
Café	5,0
Té	5,5
Lluvia ácida	< 5,6
Saliva (pacientes con cáncer)	4,5 a 5,7
Orina	5,5-6,5
Leche	6,5
Agua pura	7,0
Saliva humana	6,5 a 7,4
Sangre	7,35 a 7,45
Agua de mar	8,0
Jabón de manos	9,0 a 10,0
Amoniaco	11,5
Hipoclorito de sodio	12,5
Hidróxido sódico	13,5 a 14

Fuente: Wikipedia, 2008

Existen diferentes métodos para medir esta variable. Uno de los más comunes es usando un trozo de papel indicador del pH, el cual cambia de color cuando es sumergido en una solución. Cada color indica un valor diferente. Actualmente se producen tiras de ese papel capaces de determinar valores más pequeños, tales como 3,5 o 8,5. En este caso, el método más preciso para determinar el factor de pH es por comparación de un cambio de color a otro, en un experimento químico de laboratorio. Con este método se pueden determinar valores, tales como 5.07 y 2.03, como se observa en la figura 3 (Lenntech, 2008).

Sin embargo, ninguno de los métodos esbozados anteriormente es apropiado para determinar los cambios de pH con el tiempo, por lo que el uso de un electrodo es la forma más viable, pues ofrece un valor en voltaje con respecto al factor de pH medido y dicho valor puede ser almacenado en una base de datos, con lo cual también se puede observar la evolución de la variable en cualquier sistema.

En el prototipo de planta de aguas residuales el pH se está midiendo en el tanque 2 con un electrodo *BlueLine 11 pH* de la marca Schott, mostrado en la figura 4, el cual tiene una impedancia a la salida $\geq 10^{12} \geq 10^{12} \Omega$. Este electrodo entrega una variación en mV con respecto al factor de pH de la sustancia que se está midiendo.

Según los resultados obtenidos a través de una caracterización realizada al electrodo de pH, midiéndole únicamente la variación de voltaje entregado con el multímetro se puede concluir que cuando el pH es neutro el voltaje entregado es 0, mientras que cuando el pH es mayor a 7 el voltaje entregado por el sensor es negativo y si el factor de pH es menor a 7 el voltaje es positivo.

También se puede observar que se presentan tres regiones que se pueden linealizar por separado, pero de éstas, la de mayor interés es la región central porque está dentro del rango de las condiciones que

Figura 3: Coloraciones para determinar el factor de pH por medio de procesos químicos en el laboratorio

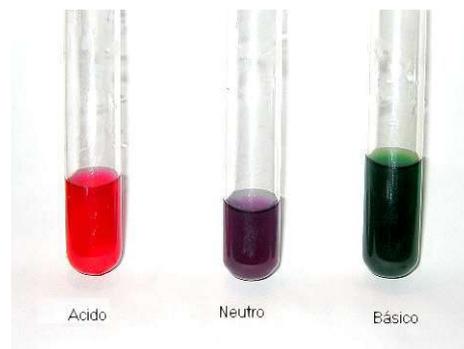


Figura 4: Electrodo de pH Blue Line 11 pH.



se le deben mantener a los lodos activados; fuera de este rango los lodos no realizan adecuadamente su trabajo o pueden morir.

En muestras con un pH mayor a 10, se presenta el error del sodio o error alcalino. Esto se debe al intercambio de otros cationes, distintos al H^+ , presentes en las disoluciones de análisis. El error puede ser grande con muestras que contienen cationes monovalentes comunes a los existentes en la membrana de vidrio como por ejemplo: Na^+ . Esto puede ser reducido utilizando electrodos especiales de bajo error de sodio y haciendo correcciones luego de medir. (Ly, 2004).

En disoluciones fuertemente ácidas, $[H^+] > 1$ (pH bajo), la actividad de él se reduce afectando a la capa hidratada sobre la membrana y disminuyendo la zona donde verdaderamente tienen lugar las reacciones de intercambio iónico. A causa del error ácido y del error alcalino, en los extremos de la escala de pH, el electrodo no responde linealmente (Ciganda, 2004).

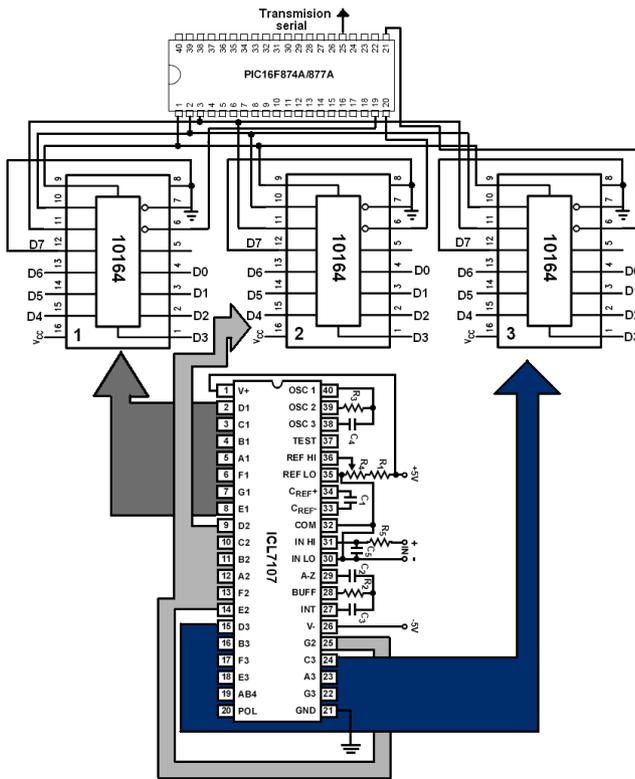
Inicialmente se presentaron unos inconvenientes al buscar amplificar la señal entregada por el electrodo de pH que fue brindado por el proyecto de investigación “Aprovechamiento de la Lignina obtenida de fuentes no madereras del Departamento del Quindío por métodos Biotecnológicos” que actualmente esta siendo desarrollado por la Universidad del Quindío. La idea inicialmente consistió en amplificar la señal para poder llevarla a una de las entradas análoga de la tarjeta de adquisición y poder manipularla más fácilmente, sin embargo, se presentó un inconveniente porque la impedancia de salida del electrodo de pH es demasiado alta con respecto a los amplificadores convencionales. Primero se intentó con amplificadores fabricados a base de transistores BJT (*Bipolar Junction Transistor*), por ejemplo LM324, LM741, de diferentes empresas fabricantes. Se realizaron varias pruebas utilizando estos amplificadores como seguidores, amplificador común o también en modo diferencial e igualmente, realizando amplificadores de instrumentación empleando los mismos, todo ello sin obtener los resultados esperados. Luego se optó por realizar pruebas con amplificadores a base de transistores de

campo FET (*Field Effect Transistor*), como el LF353 de la empresa *National Semiconductor*; se aplicaron las mismas pruebas aún así siguió produciéndose el mismo problema que con los amplificadores pasados del acople de impedancias.

Otra opción fue utilizar un amplificador de instrumentación AD620 de la *National Instruments*, que permite una ganancia máxima en un factor de 1000, tiene un CMRR de 100 dB, una impedancia de entrada de $10G\Omega$ y, por lo general, se usa en instrumentos de medicina como ECG, sistemas de adquisición de datos, control de procesos industriales, entre otros. Este amplificador presentó problemas nuevamente de acople de impedancias, cuando se mide a la salida del amplificador se observó una variación que no correspondía al dato esperado. Se realizaron pruebas con amplificadores CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) que proporcionan un rechazo al modo común mucho más alto CMRR (*Common-Mode Rejection*) y una impedancia a la entrada más alta; se realizó la prueba con un amplificador de instrumentación INA327 de la empresa Texas Instruments que es un AI CMOS utilizado en instrumental médico y presenta una alta resolución en sistemas de prueba y una alta impedancia de mas de $10^{10}\Omega$ con un condensador de 2pF, pero continuó con el problema del acople del impedancias.

En consecuencia, se optó por realizar otras pruebas llevando la señal directamente a un microcontrolador PIC16F877A de la empresa Microchip, utilizando la entrada análoga y funcionó correctamente pero con la restricción de que el rango mínimo que brinda es de 2 voltios diferencial (Usategui y Romero, 2000) y el rango de voltaje diferencial que maneja el electrodo es de 20 mV diferencial. Este factor que influyó considerablemente para no utilizar este dispositivo porque la variación es muy baja. Se realizó el mismo ejercicio con un conversor análogo digital ADC0808 de la empresa *National Semiconductor*, que es un componente monolítico CMOS y el rango de voltaje es de 0.2V diferenciales, pero aún así, seguía siendo la variación de voltaje muy pequeña para ser manipulada con facilidad. La mejor opción hasta ahora y que funciona adecuadamente es la que se observa en la figura 5.

Figura 5: Diagrama de conexiones del modulo de adquisicion de la señal y transmision al computador.



Fuente: Autores.

Las pruebas que se realizaron con el circuito integrado ICL7107 de la empresa *Intersil* que se muestra en la figura 6, el cual es un voltímetro y entrega el dato en un visualizador de siete segmentos de 3 ¹¹/₂₂ dígitos, la entrada puede aceptar tensiones diferenciales en cualquier lugar dentro del modo común de la gama del amplificador. En este rango el sistema tiene un CMRR de 86dB típica, el rango que maneja el electrodo de pH no alcanza a saturar el integrado, por lo que es una opción más adecuada; además el dato que entrega en los visualizadores de siete segmentos es aprovechado para conocer el voltaje con respecto al nivel de pH medido. El ICL7107 entrega el dato negado a la salida para poder observarlo en un visualizador de siete segmentos de ánodo común, en el circuito de conexión. Este circuito integrado tiene unos divisores de voltaje en la entrada, los cuales sirven para variar el rango de medición (escala) y darle mayor sensibilidad al sistema; el proceso se llevó hasta conseguir un rango deseado para medir con este sistema el voltaje

entregado por el electrodo, entre las patillas 30 y 31, tiene un condensador de 0,02µF sugerido en el datasheet para eliminar el ruido en la medición y proporcionan una medida errónea pero este condensador se cambió por otro de 1nF y así se logró obtener un dato de salida más estable. Este dato se llevó a los multiplexores 8 a 1 de referencia 10164; vale la pena señalar que este multiplexor es de alta velocidad y tiene ocho canales de baja potencia los cuales se pueden seleccionar direccionándolos con números lógicos del 1 al 8 en las patillas de selección. Cada salida para el visualizador de siete segmentos va conectado a un multiplexor obteniendo un dato de tres dígitos con signo, actualmente el dato se lleva directamente al PIC16F877A mostrado en la figura 7, aprovechando que este multiplexor tiene dos salidas de las cuales una de ellas es negada, el dato deja de ser negado y se envía al microcontrolador donde por medio de un algoritmo, finalmente se determina el potencial de hidrógeno medido en la planta.

Figura 6: ILC710CPI conversor A/D para mostrarlo en un visualizador de siete segmentos de 3 1/2 Dígitos

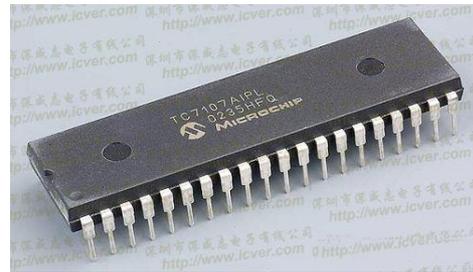


Figura 7: PIC 16F877 Microcontrolador



Fuente: Mecanique, 2008

El microcontrolador está encargado de direccionar los multiplexores por el puerto E y el programa lee únicamente el dato que interesa para luego compararlo con un valor interno establecido, los

datos se reciben por las patillas 0, 1 y 2 del puerto D. Con base en esta información, se decide qué número se está mostrando en el visualizador de siete segmentos; luego, este dato se guarda en una variable. Este mismo procedimiento es realizado con los otros dos visualizadores que se denominaron decenas y centenas, cada uno de estos valores se multiplica por 10 y por 100, respectivamente, para tomar estos tres datos, sumarlos y guardarlos en una sola variable, así se obtiene un solo dato. Dado el caso que el voltaje entregado por el electrodo sea negativo, el microcontrolador realiza el mismo proceso. Este recibe el signo directamente a la patilla 3 del puerto D, si esta patilla se encuentra en 0, significa que el voltaje es negativo, por lo tanto, al dato final se le suma 100 para poder distinguir este dato en el programa donde se realiza la visualización. Este proceso se describe en el diagrama de flujo 1 que se muestra a continuación:

El PIC16F877A cumple la función de direccionar los multiplexores y a la vez tomar el dato entregado para ser transmitido al computador, donde se está visualizando el voltaje suministrado por el electrodo en una interfaz elaborada en LabVIEW® de la *National Instruments*, que brinda herramientas virtuales con un entorno más comprensible para el usuario.

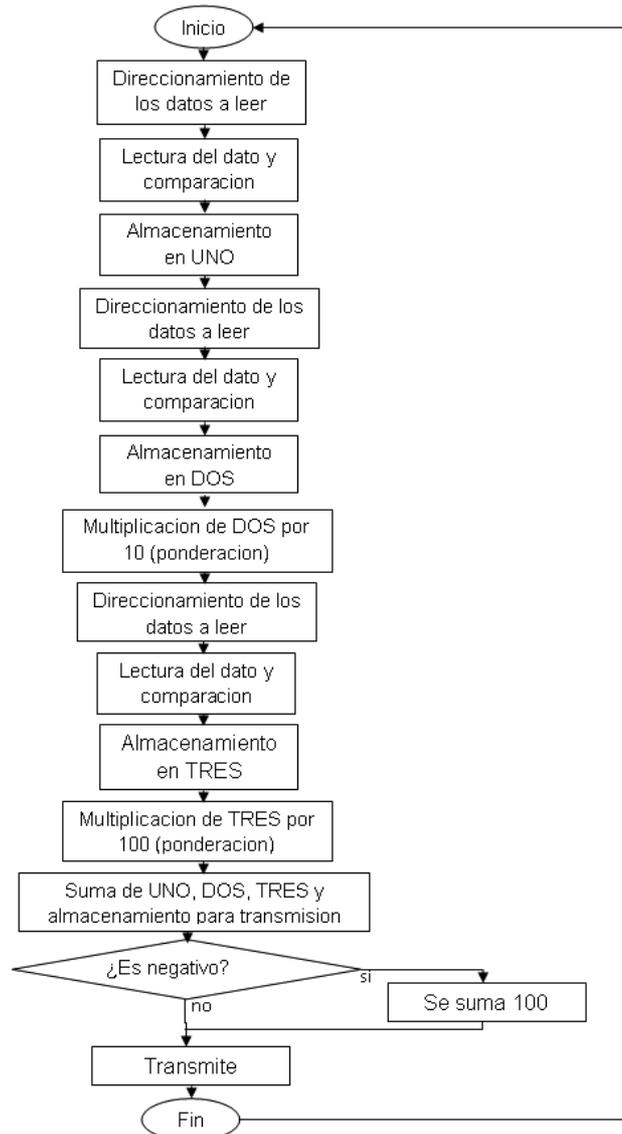
El electrodo de vidrio es relativamente inmune a las interferencias del color, turbidez, material coloidal, cloro libre, oxidante y reductor. La medición se afecta cuando la superficie de la membrana de vidrio está sucia con grasa o material orgánico insoluble en agua, que le impide hacer contacto con la muestra, por lo anterior, se recomienda la limpieza escrupulosa de los electrodos (Ciganda, 2004).

De otra parte, se recomienda que el electrodo debe ser mantenido húmedo y guardado en una solución de 4 M KCl o en un buffer de solución de pH 4 o 7. No debe guardarse en agua destilada pues causaría que los iones “se escurrieran” por el bulbo de vidrio y se volvería inútil.

Conclusiones

Teniendo monitoreada la variable pH se puede garantizar el funcionamiento óptimo de los lodos

Diagrama de flujo 1: transmisión de datos para posteriormente ser visualizados en LabVIEW®.



Fuente: Autores

activados, manteniéndoles las condiciones de vida adecuadas y contribuyendo a la descontaminación de agua.

Este sistema brinda otra una opción adecuada para la medición del factor de pH, siendo a su vez, un método un poco más preciso en comparación con otros empleados en la actualidad.

Con este sistema de medición, se puede conocer la evolución del factor de pH y crear una base de datos

para analizar el comportamiento de esta variable y diseñar más fácilmente algún tipo de control.

Aprovechando las características del circuito integrado 7170 se tiene proyectado tomar este dato con un microcontrolador y acondicionarlo para visualizar in situ el factor de pH.

Realizando una nueva caracterización al sistema se puede diseñar un sistema de visualización para que el usuario conozca el comportamiento de la variable en la planta, tanto en el sitio donde se

está midiendo como también desde un lugar remoto.

Se puede realizar un lazo de control de la variable (pH) que permita garantizar la calidad y eficiencia del proceso.

Este sistema de medición no solamente permite monitorear el factor de pH de la planta de aguas residuales, sino también para otro tipo de sustancias líquidas, teniendo en cuenta las características se uso del electrodo.

Referencias

Lenntech, 2008. Lenntech Agua residual & purificación del aire Holding B.V. Rotterdamseweg 402 M 2629 HH Delft, Holanda. Consultado el 24/06/2008. <http://www.lenntech.com/espanol/pH-y-alcinidad.htm>

Ciganda, Lyl M. (2004). Electrodo para medir pH (Junio 2004). Monografía vinculada a la conferencia del Ing. Quím. Juan Bussi: "Biosensores para determinaciones analíticas", del 20 de abril de 2004. En: Memorias del XIII Seminario de Ingeniería Biomédica. Universidad de la República Oriental del Uruguay.

Consultado el 24/06/2008. <http://www.nib.fmed.edu.uy/Ciganda.pdf>.

Mecanique, 2008. Consultado el 23/09/2008. Figura 7: PIC 16F877 Microcontrolador. <http://www.mecanique.co.uk>

Usategui y Romero, Microcontroladores "PIC". Diseño práctico de aplicaciones. SEGUNDA PARTE: PIC 16F87X José María Angulo Usategui, Susana Romero Yesa, Ignacio Angulo Martínez.

Wikipedia, 2008. Consultado el 06/05/2008. Figura 2: Factor de pH. <http://es.wikipedia.org/wiki/PH>

Sobre los autores:

Jaime Alberto Ospina Duque

Electricista y tecnólogo electrónico, estudiante de la Universidad del Quindío, Armenia (Colombia).
jaospinaduque@ingenieros.com

Ángela Patricia Muñoz Gómez

Tecnóloga electrónica, estudiante de la universidad del Quindío, Armenia (Colombia).
angelapatito1@hotmail.com

Diego Fernando Ramírez Jiménez

Tecnólogo electrónico, estudiante de la Universidad del Quindío, Armenia (Colombia).
diego881008@hotmail.com

Edward J. Marín García

Ingeniero electrónico, Profesor, Universidad del Quindío, Armenia (Colombia).
ing_edward@yahoo.com.ar

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.