

SISTEMA DE CALIBRACIÓN AUTOMÁTICA DE pH EN LÍQUIDOS ASISTIDO POR COMPUTADOR

Ing. Juan Esteban Quiñones Dávalos
Superintendencia de Telecomunicaciones

Ing. Jaime Edison Velarde Guevara
Escuela Politécnica Nacional

RESUMEN

El sistema consiste en un medidor digital de potencial hidrógeno (pH), es decir que detecta la concentración de los iones $[H^+]$ gracias un transductor formado por un electrodo de vidrio y un electrodo de referencia de plata-cloruro de plata.

El sistema está basado en un microcontrolador Intel de la familia MCS-51, puesto que a más de medir el potencial hidrógeno, tiene la capacidad de controlar válvulas solenoide para regular las mezclas líquidas que intervienen en un determinado proceso, y de esta manera ajustar y mantener un valor de pH requerido.

El equipo puede trabajar por si solo como medidor o como sistema de control automático de pH; sin embargo, si se desea ampliar la capacidad del sistema se lo puede conectar a un computador personal a través de su puerto serial. De esta manera, se aprovecha la capacidad de gráficos, la memoria, capacidad de almacenamiento de información, y la versatilidad propia del computador, mejorando el control del proceso y permitiendo un monitoreo continuo de los cambios del valor de este importante potencial.

Correspondencia a:
Juan Esteban Quiñones Dávalos
Dirección: Francisco Galavis # 224 y Toledo
Teléfono: (593-2) 500-712
Quito - Ecuador

ABSTRACT

Automatic pH Calibration System in Liquids Assisted by a Computer

The system consists of a digital meter of hydrogen potential pH, it is to say that detects the concentration of the ions $[H^+]$ thanks a transducer formed by a glass electrode and a reference electrode of silver-silver chloride.

The system is based on an INTEL MCS-51 family microcontroller, since besides of measuring the hydrogen potential, has the capacity of controlling solenoid valves to regulate the mixtures that intervene in a given process, and in this way adjust and maintain a required pH value.

The equipment may work as a stand alone measuring device or as a pH automatic control system, nevertheless, if one desires to widen the capacity of the system it may be connected to a personal computer through its serial port, taking advantage of its graphics capacity, memory, storage capacity, and its own versatility, improving the control of the process and permitting a continuous monitoring of the value changes of this important potential.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Definición de pH

El pH (Potencial Hidrógeno) indica la concentración de iones hidrógeno $[H^+]$ expresados en términos de gramo-ion por litro en una solución, de acuerdo a la ecuación de Sorensen:

$$pH = \log \frac{1}{[H^+]} = -\log[H^+]$$

En una solución acuosa diluida, la concentración del agua sin disociar se considera prácticamente constante, obteniéndose que el producto de los iones H^+ y OH^- es constante:

$$(H^+)(OH^-) = Kw = 10^{-14}$$

en donde Kw es la constante del producto iónico del agua a temperatura ambiente. Por lo tanto, el producto de las concentraciones de los iones hidrógeno y oxidrilos será igual a 10^{-14} gramos-ion por litro.

En el agua pura, las concentraciones de los iones H^+ y OH^- son iguales quedando determinadas de la siguiente manera:

$$(H^+) = (OH^-) = \sqrt{Kw} = 10^{-7}$$

Aplicando la ecuación de Sorensen para facilitar la expresión numérica de las concentraciones, se obtiene que para el agua pura, los valores de pH y pOH son iguales a 7.

En forma general, para soluciones acuosas diluidas, se cumple que:

$$pH + pOH = 14$$

De lo anotado se concluye que al aumentar la concentración de los iones H^+ el valor de pH disminuye, mientras que al disminuir dicha concentración el valor de pH aumenta. Para el agua pura, el valor de pH es 7, por lo tanto si el valor de pH es menor a 7 la solución es ácida, mientras que si el valor de pH es mayor a 7, la solución es alcalina.

1.2. Importancia del Conocimiento del Valor de pH en Diversas Áreas Industriales

El conocimiento de la actividad iónica que presentan las sustancias, y particularmente de los iones H^+ es importante para la predicción de ciertos fenómenos químicos, tales como la velocidad de corrosión, grado de precipitación, grado de acidez, conductividad en soluciones; llegando a tener mucha importancia en los efectos de los iones en fluidos biológicos.

Es por esto que en muchos procesos industriales relacionados con la química, el conocimiento del valor de la acidez, neutralidad o alcalinidad de las sustancias tiene gran importancia, debiéndose en gran parte de ellos controlar sus variaciones en el transcurso del tiempo.

En industrias tales como la textil, de elaboración de pinturas, de obtención de productos químicos y farmacéuticos, laboratorios químicos, laboratorios bioquímicos, camaroneras, laboratorios médicos, y muchas otras se hace necesario el contar con un adecuado monitoreo y control del pH, por lo que el desarrollo del presente trabajo tiene interés para este tipo de empresas.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema de calibración automática de pH en líquidos consiste en un medidor digital de pH, que además tiene la capacidad de controlar válvulas solenoide, de tal manera que se intervenga directamente en las soluciones para de esta manera poder obtener un determinado pH. El sistema también ofrece la posibilidad de conexión con un computador personal, para lo cual ha sido implementado un puerto serial RS 232. En la Figura 1 de la siguiente página se presenta el diagrama de bloques del sistema.

2.1. Transductor

Para la determinación de la concentración de los iones H^+ en la actualidad existen métodos potenciométricos que consisten en la medición directa de un potencial de electrodo, lo que

quiere decir que el instrumento sensor o electrodo debido a efectos fisico-químicos produce una diferencia de potencial dependiente de la concentración de los iones existentes en una solución, con lo cual se puede analizar la actividad o concentración

iónica termodinámicamente libre de un ion activo. Aplicando este método, se pueden encontrar en el mercado los electrodos de vidrio para pH, que en unión con un electrodo de referencia forman el transductor.

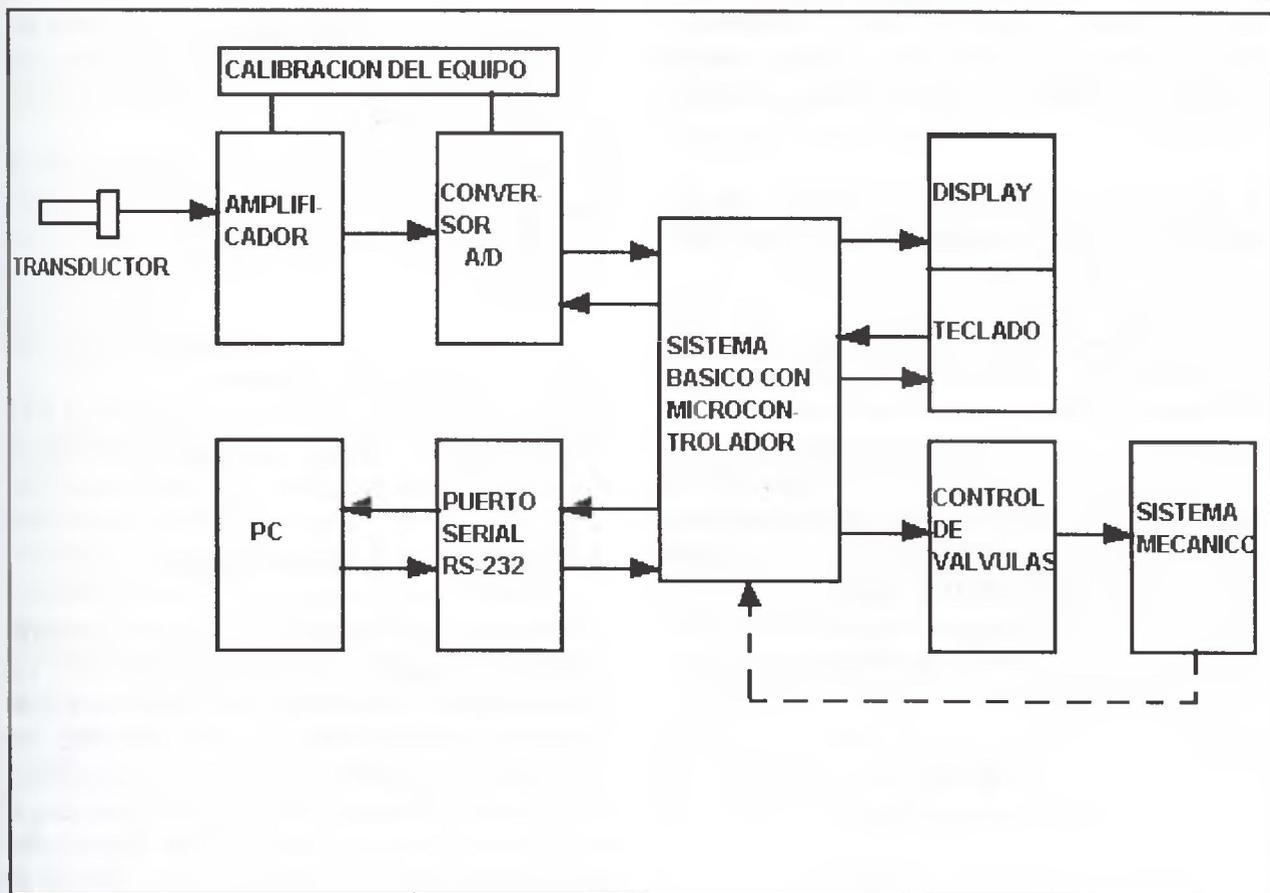


Figura 1. Diagrama de Bloques del Sistema de Medición y Calibración de pH

2.1.1. Electrodo de Vidrio para la Medición de pH

Son aquellos formados por una membrana de vidrio altamente sensible a los iones hidrógeno, siendo mucho menos sensibles a otros iones. Su membrana está conformada por silicatos de litio en unión de iones de Lantano y Bario, siendo los iones de Litio los principales portadores de carga móvil. Estos electrodos no presentan ningún intercambio iónico externo, por lo que no sufre en la presencia de agentes oxidantes ni reductores. La temperatura a la cual pueden trabajar estos electrodos comúnmente oscila entre los -5°C a 60°C , encontrándose algunos especiales que pueden funcionar a otras temperaturas.

2.1.2. Electrodos de Referencia

El electrodo de vidrio en unión de un electrodo de referencia, forma una celda electroquímica de la cual se puede obtener un potencial dado por la suma de los potenciales de los dos electrodos.

Para que el electrodo de vidrio pueda dar información de la actividad iónica de una sustancia, se hace necesario que el potencial del electrodo de referencia se mantenga constante, ante variaciones del medio externo y al paso de corrientes en el orden de 10^{-8} amperios que constituye la corriente que fluye en condiciones normales por la celda. Para este fin, existen algunos tipos de electrodos,

siendo los más importantes los de *calomel* y los de *plata - cloruro de plata*.

Comercialmente se pueden encontrar transductores para la detección del pH que contienen en un solo cuerpo los dos electrodos antes mencionados, y que además poseen un amplificador incorporado, lo que facilita el manejo de la señal de respuesta. Este tipo de transductor se ha utilizado para el presente trabajo obteniéndose buenos resultados.

La respuesta del transductor utilizado es del tipo lineal para todo el rango de pH, tal como se muestra en la Figura 2.

Para encontrar los valores de voltaje de salida del transductor se ha utilizado soluciones de calibración o buffer cuyos valores de pH son de 4.00 ± 0.02 , 7.00 ± 0.02 , y 10.00 ± 0.02 . Los demás valores se han interpolado para toda la escala de pH. Si bien es cierto que para soluciones excesivamente ácidas o básicas se las debe diluir para luego proyectar el valor de pH, de manera que se evite la destrucción del transductor, sin embargo la respuesta es lineal en todo el rango que en la práctica se utiliza.

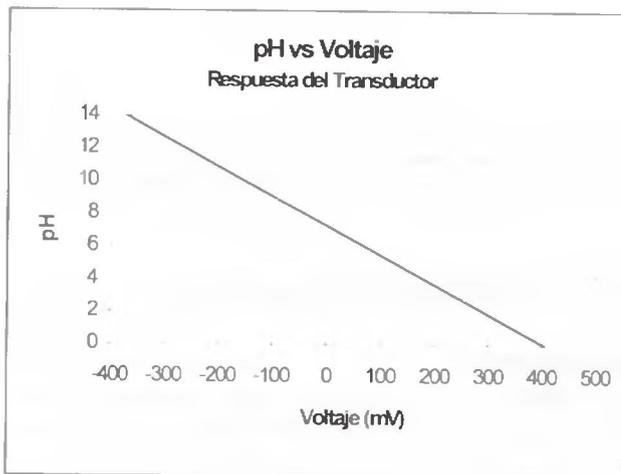


Figura 2. Respuesta de Voltaje del Transductor

2.2. Amplificador

Las señales del transductor, aunque como se ha visto presentan respuestas de voltaje relativamente altas, sus niveles no son los adecuados para digitalizarlos, por lo tanto se hace necesario tener una etapa amplificadora que además acondicione la señal a voltajes

positivos. De esta manera se logra disminuir los requerimientos exigidos para el conversor análogo digital, flexibilizando el diseño del sistema.

La señal de voltaje de salida acondicionada en el amplificador se muestra en la Figura 3.

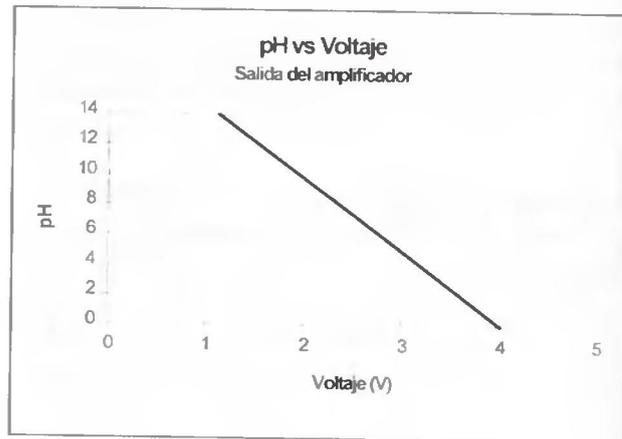


Figura 3. Salida del Amplificador

2.3. Conversor Análogo - Digital

El conversor A/D utilizado digitaliza la señal de voltaje entregada por el amplificador. La velocidad de conversión no constituye una restricción debido a que la velocidad de respuesta del transductor no es muy elevada, y fundamentalmente a que el conversor opera en el modo "Free running", lo que significa que las conversiones se realizan sin importar el estado del sistema, manteniendo en sus salidas la información de la última conversión válida realizada.

La resolución del conversor utilizado es de 8 bits con un error del bit menos significativo (LSB); por lo tanto, la escala de pH (0 a 14) queda dividida para 256, lo que significa que el máximo error de conversión ocurrido es de ± 0.05 de pH. Tomando las debidas precauciones en el diseño de la etapa amplificadora, se ha conseguido que el equipo tenga una precisión de ± 0.1 de pH, lo que lo hace adecuado para la mayoría de aplicaciones.

2.4 Calibración del Equipo

La calibración del equipo se la realiza eléctricamente mediante los niveles de

referencia de voltaje tanto máximo como mínimo del conversor A/D y la ganancia del amplificador.

Para el ajuste de estos parámetros, se utilizan las soluciones de calibración o buffer antes mencionadas, siendo indispensable la de pH 7.00 por tratarse del nivel intermedio, y una de las otras dos soluciones buffer, de modo que las lecturas de pH obtenidas sean de la mayor precisión posible.

Es aconsejable que cada vez que se vaya a utilizar el equipo, se verifique mediante las soluciones buffer si éste se encuentra calibrado.

2.5. Sistema Básico

Está constituido por un microcontrolador Intel de la familia MCS-51, y toda la circuitería que permite su funcionamiento, como memoria de programa, circuito oscilador, reset, etc., que posibilitan la lectura de la información entregada por el conversor, el control de display, teclado y válvulas solenoide, procesando la información recibida. Además tiene la función de realizar la comunicación con un computador personal. El sistema básico constituye la parte central del equipo.

2.6. Display y Teclado

El display o pantalla y el teclado permiten la comunicación del sistema con el usuario. El display está formado por cuatro elementos de 7 segmentos que posibilitan la visualización de la información numérica y alfanumérica necesaria para la fácil utilización del equipo. El teclado elegido es del tipo telefónico de 4 filas por 3 columnas.

Debido a que uno de los objetivos al desarrollar el equipo ha sido el reducir en lo posible la circuitería, llegando a un compromiso entre el software y el hardware, no se han utilizado ningún tipo de decodificadores de display ni de teclado, dejando esta tarea al programa del microcontrolador, utilizándolo acorde a su capacidad, y por lo tanto reduciendo el costo del sistema.

2.7. Control de Válvulas

Es un circuito formado por relés controlados electrónicamente por el microcontrolador que permite el accionamiento de las válvulas solenoide para realizar mezclas de soluciones líquidas con el fin de obtener soluciones con un valor de pH deseado.

El control de válvulas dispone de un sistema manual que posibilita al usuario la operación a voluntad de las válvulas.

Puesto que desde el exterior del equipo se tiene acceso a los contactos fijo y móvil de los relés, se pueden utilizar válvulas de distintos tamaños e inclusive bombas, tomando en cuenta la capacidad de los contactos de los relés.

2.8. Sistema Mecánico.

El sistema mecánico está formado por los recipientes que contienen las soluciones a ser mezcladas, el recipiente en donde se realiza la mezcla, un agitador mecánico que uniformiza la solución resultante, y las válvulas solenoide.

El esquema del sistema mecánico se lo puede apreciar en la siguiente figura.

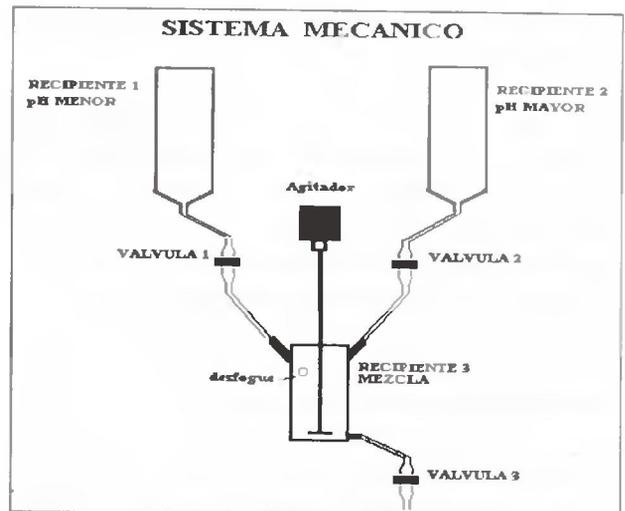


Figura 4. Esquema del Sistema Mecánico

Por razones de diseño del sistema, es necesario observar la disposición de las soluciones a ser mezcladas, debiéndose cuidar que en el recipiente # 1 se coloque la solución de pH menor, mientras que en el

recipiente # 2 se debe poner la solución con pH mayor. Los valores de pH a los que se hacen referencia son relativos entre las dos sustancias.

Dependiendo del tipo de proceso en donde se utilice el sistema, se podrá disponer de una realimentación desde el sistema mecánico hacia el microcontrolador con el fin de poder controlar variables, tales como niveles en los recipientes y otras, mediante el empleo de sensores y actuadores adecuados.

2.9. Puerto Serial RS-232

Para la optimización del sistema, se provee de un puerto serial del tipo RS-232 que permite la comunicación con un computador personal. La circuitería convierte las señales TTL de control y de datos enviadas desde el microcontrolador a RS-232, y transforma las señales transmitidas desde el computador a TTL de manera que la comunicación sea posible.

La comunicación entre el computador y el equipo es del tipo half-duplex, puesto que el computador recibe del equipo un byte que contiene el valor de pH leído por el transductor, y luego de procesar la información recibida transmite al equipo un byte que señala el estado en que deben estar las válvulas.

Gracias a la posibilidad de conexión del equipo a un computador se puede tener un monitoreo continuo en forma gráfica de los cambios de valor de pH en un proceso, registrar esta información para su posterior análisis y opcionalmente realizar variaciones por etapas a lo largo de dicho proceso.

3. OPERACIÓN DEL EQUIPO

El equipo construido tiene algunos dispositivos como interruptores, pulsadores, interfaces, que permiten su operación. En la Figura 5 se presenta el diagrama del equipo construido.

Al encender el equipo, los displays despliegan un mensaje el mismo que contiene la versión y datos referentes al sistema. Si en este momento se presiona una tecla cualquiera del

teclado, se presenta un menú que continúa desplazándose hasta que se haga la correspondiente elección. El menú consta de tres opciones:

- 1.- PH 2.- CAL 3.- PC

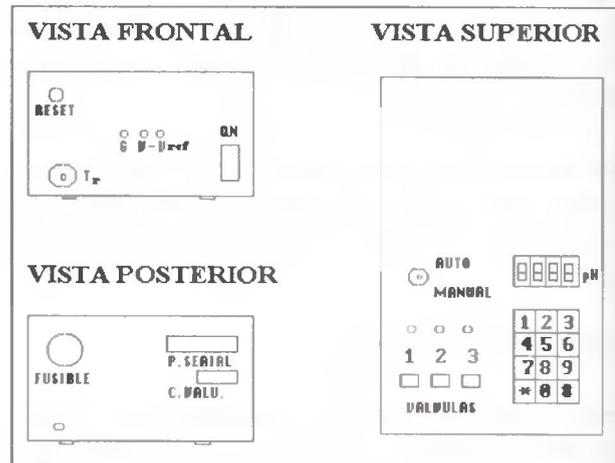


Figura 5. Diagrama del Equipo Electrónico

Si se elige la opción (1), el equipo se convierte en un medidor digital de pH sin tomar en cuenta la parte del control de válvulas.

La opción (2) hace que el equipo entre a operar en el modo de calibración automática de pH pero sin la asistencia de un computador personal. En este caso, al elegir la opción se despliega en el display una pantalla que permite ingresar un valor de pH comprendido entre 0 y 14 que constituye el valor seteado o deseado que deberá ser alcanzado en la solución resultante. Al presionar la tecla *, el proceso se inicia con la consiguiente apertura y cierre de las válvulas 1 y 2 correspondientes a las válvulas de los recipientes que contienen las soluciones a ser mezcladas, este proceso ocurre hasta que se alcance el valor de pH seteado con una tolerancia de ± 0.1 . Este valor será mantenido en todo el proceso.

Si durante la ejecución del proceso se presiona la tecla #, el proceso no se altera, sin embargo en el display se verá el valor de pH deseado precedido de una letra F que nos indica que ese valor ha sido fijado o seteado. Para cambiar el valor deseado de pH se vuelve a presionar la tecla * regresando a la pantalla de presentación que permite ingresos

de valores desde el teclado, ejecutándose nuevamente los mismos pasos antes tratados.

La opción (3) activa el software necesario para la comunicación con un computador personal, en este modo de operación el equipo espera hasta que se establezca la primera comunicación con el PC, luego de lo cual si se interrumpe dicha comunicación se señalará un error. La utilización del software para el PC es similar a lo anotado en la opción anterior, sin embargo es posible ordenar al computador que se almacenen los datos de un proceso para luego ser analizados.

El software para el computador ha sido realizado con un lenguaje de alto nivel, flexibilizando el control del proceso, puesto que se permiten cambios en la tolerancia de la mezcla resultante, detección de errores en las mezclas, errores de comunicación y otros. Además se puede almacenar toda la información del estado del sistema y del valor de pH en la solución resultante, utilizando espacio reducido en el disco duro ya que ha sido implementado un sistema de compresión de información especialmente desarrollado para el propósito. Con todas estas ventajas la capacidad del sistema aumenta notablemente.

Las pantallas de presentación en el computador del software para la calibración automática de pH, se encuentran más adelante al tratarse sobre las pruebas del sistema.

4. PRUEBAS DEL SISTEMA

4.1. Pruebas del Sistema solo para Lecturas del pH

Ya que la confiabilidad del sistema se fundamenta en la capacidad de reproducibilidad y estabilidad de las medidas de pH, se hace necesario hacer las pruebas de lectura contrastándolas con los resultados obtenidos en un equipo de precisión. Estas pruebas fueron realizadas en el Laboratorio de Instrumentales de la Facultad de Ingeniería Química, utilizando el medidor de pH BECKMAN modelo 3500 cuya apreciación es de 0.01 de pH. Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 1.

	Equipo BECKMAN 3500	Equipo Diseñado
Agua	7.44	7.4
Solución ácida	2.41	2.4
Solución ácida	2.93	2.9
Solución ácida	5.32	5.3
Solución básica	10.47	10.4
Solución básica	12.07	12.1

Tabla 1. Prueba de Contrastación

Para verificar la estabilidad del sistema, se volvieron a tomar medidas del pH en las soluciones a prueba después de transcurrido un tiempo, observándose que los resultados no variaron.

4.2. Pruebas del Equipo sin la Asistencia del Computador

La prueba a las que fue sometido el equipo consiste en la obtención automática de soluciones con valores de pH deseados. Para esta prueba se utilizó una solución ácida de pH 3.8 colocada en el recipiente # 1, y agua con un pH de 6.8 en el recipiente # 2. Bajo estas condiciones se ingresaron algunos valores de pH deseado en el equipo, observándose el comportamiento del sistema. En la Tabla 2 que se presenta a continuación se detallan los resultados de la prueba.

pH Seteado	pH obtenido en el Equipo
5.0	4.9
4.0	4.0
4.3	4.2
4.4	4.3
6.0	6.0

Tabla 2. Prueba del Modo de Calibración Automática de pH

Cada cambio de valor de pH seteado se lo hizo transcurridos aproximadamente tres minutos de alcanzado el valor estable.

4.3. Pruebas del Sistema Completo

Debidamente conectado el equipo con el computador, y estando el programa PH.EXE en ejecución, se procedió a realizar variaciones en el pH dependiendo del valor seteado en el computador. Además se varió

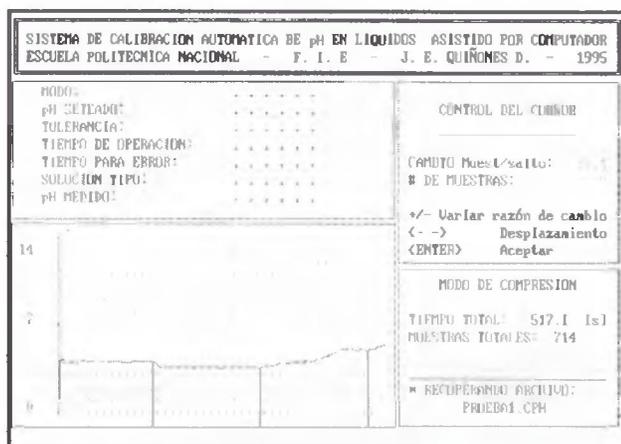
la tolerancia obteniéndose los siguientes resultados:

pH Seteado	pH Medido	Toleran.	Tiempo Operac.
4.2	4.1	0.1	130.0 s
Pausa	---	---	143.2 s
3.7	3.6	0.1	290.9 s
Pausa	---	---	321.8 s
5.1	4.9 a 5.0	0.2	470.2 s
Pausa	---	---	493.1 s
5.5	5.3 a 5.5	0.2	540.5 s

Tabla 3. Prueba de Calibración Automática del Sistema Completo

Los valores deseados de pH fueron alcanzados observándose que para tolerancias mayores, la oscilación que presenta el sistema es menor.

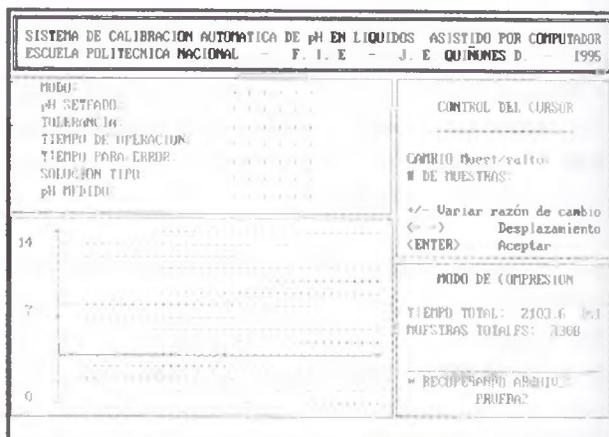
A continuación se presenta la pantalla de recuperación del proceso en el modo de compresión, es decir que se observa la curva total en el tiempo. Las barras verticales que cortan la curva corresponden a las pausas que han sido requeridas.



Pantalla 1. Recuperación del Proceso Indicado en la Tabla 3

La segunda prueba se realizó para ver la estabilidad del sistema, dejando que el sistema compense cualquier variación en la solución resultante si el pH seteado es 4.0, tomando en cuenta la tolerancia predeterminada en el programa que es 0.1 de pH. La duración de esta prueba fue de aproximadamente 35 minutos.

La curva obtenida del proceso se la presenta en la Pantalla 2. Se puede ver que el valor deseado permanece dentro de la tolerancia debido a que el sistema responde ante cualquier variación que ocurra fuera de estos límites, tomando las acciones correctivas necesarias.



Pantalla 2. Prueba de Estabilidad del Sistema

La tercera prueba pretende verificar la respuesta del sistema cuando éste no puede obtener una solución resultante cuyo valor de pH sea el deseado, utilizando para ello la opción TIEMPO PARA ERROR, que ha sido activada para 10 segundos.

En la Pantalla 3 se observa el resultado de la prueba, en donde se puede ver que como no se puede alcanzar el valor deseado el sistema entra en error, poniendo en pausa al proceso sin interrumpirlo, permitiendo efectuar por parte del usuario los ajustes necesarios, disminuyendo el consumo de las soluciones a ser mezcladas.



Pantalla 3. Prueba de Error en la Obtención de pH

Esta pantalla se encuentra en el modo normal de recuperación, y su presentación es similar a la de la pantalla en donde se realiza el control del proceso en tiempo real.

Además se han realizado pruebas al sistema en el modo de operación manual controlando las válvulas con el teclado del computador, y pruebas del software en cuanto a detección de errores, observándose que las respuestas del sistema fueron adecuadas.

5. RESULTADOS

Después de realizadas todas las pruebas del sistema, se ha podido observar que su funcionamiento es el previsto, obteniéndose una confiabilidad y estabilidad para las lecturas de pH con una precisión de ± 0.1 .

En el modo de calibración automática sin asistencia del computador personal, el equipo es capaz de alcanzar y mantener en forma efectiva un valor de pH requerido, manteniendo dicho valor dentro de su rango de tolerancia.

Al obtener la asistencia de un computador personal, se optimizan las características mencionadas, gracias a la capacidad de presentación continua de la información de un determinado proceso, permitiendo además el almacenamiento en disco de esta información, el análisis detenido de un proceso, la detección de error cuando un valor de pH no puede ser alcanzado, y la variación de la tolerancia que flexibiliza el control de las válvulas cuando en un proceso no se requiere de alta precisión.

6. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Se han cumplido en forma satisfactoria todos los objetivos y metas fijadas para la realización de este trabajo, puesto que el sistema construido a más de poder tomar lecturas de pH en líquidos es capaz de controlar válvulas solenoide dependiendo del valor leído, con el propósito de alcanzar y mantener un determinado valor de pH en la solución resultante. La participación opcional de un computador personal presenta grandes mejoras al sistema gracias a su capacidad de graficación que posibilita un monitoreo

continuo de un proceso, su capacidad de memoria y de almacenamiento muy útiles para su posterior análisis.

Las políticas empleadas para el diseño del equipo, han permitido llegar a un compromiso entre el hardware y el software, de tal manera que la circuitería ha sido reducida gracias a que algunas funciones de los circuitos son realizadas por el microcontrolador al ejecutarse el software adecuado. Este compromiso entre la parte física y la de programación, genera una reducción del costo y de la complejidad del hardware, siendo necesario para ello que se aproveche de una manera óptima la capacidad del microcontrolador.

La tecnología empleada en el sistema en cuanto a su circuitería es de fácil acceso, no obstante la precisión que presenta el equipo para la medición del pH es comparable a la de cualquier equipo importado, además se puede observar que el equipo construido presenta algunas ventajas tales como la posibilidad de controlar válvulas, y la comunicación con un computador personal que no son características comunes en equipos para el tratamiento de pH. Esto demuestra que aunque se tenga acceso limitado a la tecnología, es posible diseñar y construir equipos que gocen de características iguales e incluso superiores a los de última tecnología.

El sistema objeto de este trabajo, gracias a todas las características anteriormente mencionadas, puede ser utilizado en procesos industriales que requieran de una adecuada medición de pH, e incluso de la posibilidad de interacción del sistema con el proceso en sí.

En cuanto a la construcción del sistema, se han presentado algunas dificultades, siendo una de las más graves la imposibilidad para conseguir ciertos materiales, llegando al caso de tener que diseñar y construir piezas del equipo tales como las válvulas solenoide de pyrex, los recipientes de cristal, etc. Esto demuestra que es posible superar obstáculos tecnológicos con materiales y recursos nacionales, lo que hace pensar que es factible alcanzar un desarrollo tecnológico adecuado en nuestro país, si existe el suficiente trabajo y

empeño por alcanzar las metas y objetivos fijados.

7. BIBLIOGRAFÍA

Willard, Merrit, Dean, "Métodos Instrumentales de Análisis", México, Ed. Continental S.A., 1981.

Rosenberg, J, "Química General", Mc Graw-Hill, S.A., sexta edición, México, 1985.

Millman y Halkias, "Electrónica Integrada", Biblioteca Técnica, Barcelona, 1976.

González Vásquez, J, "Introducción a los Microcontroladores", Mc Graw-Hill S.A., Madrid, 1992.

"Microsoft Quick Basic Compiler", Microsoft Corporation, Version 3.0, 1987.

Hidalgo, Pablo, "Apuntes de Comunicación Digital", Escuela Politécnica Nacional, Quito, 1993.

Embedded Microcontrollers and Processors, Vol. I, Intel, 1993.

Manual COLE-PARMER Instruments Company, Chicago, 1993-1994.

BIOGRAFÍAS



Juan Esteban Quiñones Dávalos, nació en Quito en el año de 1968. Obtuvo el título de bachiller en Humanidades Modernas especialidad Físico-Matemático en el colegio "Los Andes". Sus

estudios superiores los realizó en la Escuela Politécnica Nacional, obteniendo el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en Abril de 1995. Sus campos de interés abarcan el diseño y construcción de sistemas digitales basados en microprocesadores, y la automatización de procesos.

Jaime Edison Velarde Guevara, nació en Riobamba el 6 de Abril de 1954, realizó sus estudios de bachillerato en el colegio "San Felipe" de esa ciudad. En el año de 1980 obtuvo el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en la Escuela Politécnica Nacional. Actualmente es profesor de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la E.P.N. en el área de Sistemas Microprocesados. Sus campos de interés abarcan los sistemas digitales y microprocesados.