

REGISTRADOR PORTÁTIL DE ODORANTES BASADO EN LA MODULACIÓN DE TEMPERATURA DE UN SENSOR MOS COMERCIAL

Andy Blanco Rodríguez, Juan Jiménez Chacón, Frank Emilio Noda García y Alejandro Durán Carrillo de Albornoz*

Laboratorio Universitario de Caracterización y Estructura de la Sustancia, Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales, Universidad de la Habana, Zapata y G, Vedado, CP 10400, La Habana, Cuba

Alejandro Rafael García Ramírez

Laboratório de Sistemas Embarcados da Universidade do Vale do Itajaí, Rodovia SC 407 Km 4, Sertão do Maruim, 88122-000 São Jose – SC, Brasil

Recebido em 4/4/13; aceito em 1/7/13; publicado na web em 9/8/13

PORTABLE GAS DATA LOGGER BASED ON TEMPERATURE MODULATION OF A SINGLE MOS COMMERCIAL SENSOR. A simple, portable and low-cost system for odor detection was developed using a single MOS commercial sensor and a microcontroller. The temperature modulation technique was implemented applying a DC signal pulse to the sensor heater by a bipolar transistor. Two odorant profiles, ethanol and acetic acid vapors, were obtained and distinguished based on their amplitude versus time responses. Response for acetic acid was not reported by the sensor manufacturer. An ethanol vapor calibration curve was also obtained. Experimental data showed a potential behavior according to the theoretical equation of the MOS sensors. Values of $\log K=0.457$ and $\alpha=-0.213$ for a 95% confidence level were obtained.

Keywords: portable odorant data logger; odor detection; embedded system.

INTRODUCCIÓN

Desde sus orígenes el hombre ha utilizado su sentido del olfato para diagnosticar enfermedades, comprobar el estado de los alimentos o identificar peligros.¹ Con el desarrollo científico-técnico y debido a la necesidad de realizar estas medidas en ambientes nocivos, de difícil acceso o para obtener resultados más precisos y rápidos, se han desarrollado instrumentos que sustituyen o apoyan al hombre en estas tareas. Actualmente, se reportan diferentes tipos de sistemas para mediciones de gases y vapores, que incluyen desde los cromatógrafos gaseosos, analizadores de gases y alcoholímetros hasta otros métodos que emplean la propia nariz humana como los olfatómetros y escatómetros.²

Una alternativa interesante frente a estos equipos de laboratorio son los instrumentos conocidos como sistemas de olfato electrónico o narices electrónicas.³ Las aplicaciones de estos instrumentos son variadas y se reporta su empleo en el campo de la industria alimenticia,⁴ diagnóstico médico⁵ y detección de parámetros medioambientales^{6,7} así como en la industria aeroespacial, cosmética y la rama militar y otras.^{8,9} En particular en la industria vinícola se conocen investigaciones que emplean estos sistemas para detectar y reconocer el grado de envejecimiento de vinos¹⁰ y detectar la presencia de ácido acético.¹¹ También se conocen aplicaciones para discriminar muestras de vinos con diferentes concentraciones de etanol.¹²

Estos sistemas pueden utilizar sensores de diferente naturaleza como los sensores de Metal-Oxido-Semiconductor (MOS), los basados en materiales poliméricos, piezoeléctricos, ópticos, MOSFETs y otros.³ No obstante, en una amplia cantidad de trabajos se reporta el empleo de los sensores comerciales MOS basados en SnO₂.³ Esto se debe a su disponibilidad en el mercado, relativo bajo costo y que no requieren de circuitos acondicionadores complejos. Actualmente existen empresas que comercializan este tipo de sensores como la casa Figaro de Japón.¹³

Se ha reportado que la respuesta transitoria de los sensores es más rica en información a la hora de realizar el análisis.¹⁴ Esta respuesta

puede obtenerse a partir de la modulación de la concentración del analito o de la temperatura del sensor.¹⁵ La modulación de la concentración se basa en obtener el perfil temporal de amplitud, al variar la concentración entre una línea base y el odorante propiamente. En este caso se requiere de un sistema de arrastre que ocupa cierto volumen y tiene un costo adicional en el desarrollo de un sistema portátil.

En particular los sensores MOS requieren de un filamento calefactor que caliente el material semiconductor a una temperatura determinada que garantice el proceso de adsorción para lograr una adecuada transducción.^{3,15} En general, para detectar un odorante, los fabricantes recomiendan una tensión de alimentación estable de 5V que origina una intensidad de corriente a través del filamento.¹³ Sin embargo, como cada gas tiene una velocidad de reacción diferente a diferentes temperaturas, una variación cíclica de esta puede brindar una respuesta única para cada gas.¹⁵ En estos casos se reporta el empleo de diferentes formas de onda para modular o variar la temperatura de trabajo del sensor.¹⁶⁻¹⁸

En este trabajo se presenta el desarrollo de un sistema portátil registrador de odorantes con un sensor MOS comercial. El instrumento tiene la finalidad de capturar, almacenar, visualizar y transmitir las señales eléctricas asociadas a la concentración de dos tipos de odorantes. Se empleó el método de modulación de la temperatura del filamento mediante el uso de un transistor bipolar que trabaja en régimen de corte y saturación.

El sistema está basado en un microcontrolador de la familia AVR-ATMEL que realiza el control y la adquisición de los datos. Se presentan los resultados preliminares al someter el sistema a muestras de vapores de etanol y ácido acético. Se registraron las variaciones de la respuesta de salida en el tiempo y se obtuvo la curva de calibración para el vapor de etanol. No obstante la simplicidad del método de detección utilizado, se logró diferenciar de manera cualitativa la respuesta ante vapores de etanol y ácido acético.

Sensores MOS

Los sensores de gases comerciales de tipo MOS son de principio

*e-mail: duran@imre.oc.uh.cu

resistivo ya que convierten los cambios de concentración del odorante en una variación de su resistencia eléctrica de salida. Estos dispositivos están compuestos por cristales de óxidos metálicos, como por ejemplo el dióxido de estaño (SnO_2) y pueden responder ante gases oxidantes o reductores.³ Se conoce que bajo ciertas condiciones de trabajo, el comportamiento del sensor sigue una relación potencial entre la resistencia eléctrica del material (R_s) y la concentración del gas o vapor a medir, la cual se expresa mediante la ecuación (1):

$$R_s = K \cdot [C]^{-\alpha} \quad (1)$$

Donde R_s es el valor de la resistencia del material para una concentración determinada, K es una constante propia del sensor de gas dada por el fabricante, α es una constante que representa la sensibilidad y C es la concentración del odorante. En la práctica es usual calibrar el sensor a partir de mediciones de R_s para diferentes valores conocidos de C . Con estas mediciones es posible estimar experimentalmente K y α por regresión.

Una vez calibrado el instrumento se puede calcular la concentración del odorante objeto de estudio a partir de la ecuación 2 (ecuación 1 linealizada).

$$\alpha \log C = \log K - \log R_s \quad (2)$$

Acondicionador de salida: circuito divisor de tensión

Existen diferentes circuitos acondicionadores para los sensores de gases de tipo MOS, como son los divisores de tensión, puentes de Wheatstone, amplificadores de ganancia ajustable, convertidores Resistencia-Tiempo y los convertidores generalizados de impedancia con conversión a frecuencia.¹⁹⁻²¹ Entre estos, por su sencillez, los más empleados son los divisores de tensión. En la Figura 1 se muestra el esquema eléctrico de un divisor de tensión conectado a un sensor MOS.

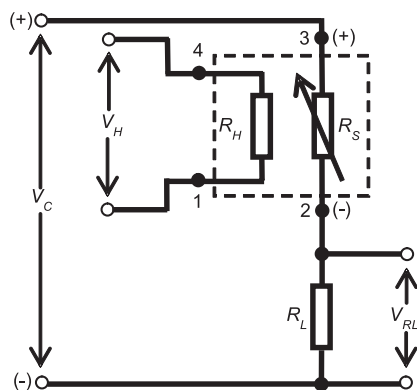


Figura 1. Esquema eléctrico del acondicionador de salida basado en circuito divisor de tensión

La tensión V_C (típicamente 5V) es la diferencia de potencial aplicada entre el terminal 3 del sensor y la resistencia de carga R_L . La resistencia variable R_s representa la variación en la resistencia del material sensor de acuerdo con la concentración del analito, mientras que R_H representa la resistencia del filamento calefactor. La tensión V_{RL} se obtiene a partir de las mediciones realizadas con el sistema. Mediante la ecuación 3 del divisor de tensión se calcula el valor de la resistencia sensora R_s :

$$R_s = \frac{R_L \cdot (V_C - V_{RL})}{V_{RL}} \quad (3)$$

Modulación de la temperatura de los sensores MOS

En la literatura se reportan varios métodos para obtener una respuesta del sensor dependiente de la temperatura. En este sentido se conoce el empleo de diferentes formas de onda para las señales aplicadas al filamento del sensor (V_H), que pueden ser de tipo sinusoidal, cuadrada o diente de sierra. También se reportan trabajos donde se varía la frecuencia o la amplitud de estas señales de tensión en el tiempo.^{15-18,22,23} Otro método reportado se basa en conmutar, entre encendido y apagado, la tensión de alimentación del filamento.²⁰ En este último trabajo se obtuvo una variabilidad interesante de los datos de entrada a partir de un solo sensor de gas.

Para implementar los métodos antes mencionados se emplean diferentes topologías de circuitos electrónicos. Al respecto se conocen aplicaciones que utilizan transistores en configuración Darlington,¹⁷ módulos generadores de ondas,¹⁸ transistores MOSFET,²⁰ así como la técnica de modulación de ancho de pulso.¹⁸

En particular, el método de conmutación de la temperatura del filamento se basa en establecer un régimen de trabajo entre encendido (5V) y apagado (0V). Durante este proceso se adquiere la señal de salida en un intervalo de tiempo.²⁰ Este método es relativamente sencillo y permite un ahorro en el consumo de energía del sensor, lo que es adecuado para los sistemas portátiles.

Debe notarse que las variaciones cíclicas de la temperatura brindan una respuesta única para cada gas y usualmente existe un punto en el ciclo donde se alcanza un máximo en la relación conductancia-temperatura, lo que se traduce en un punto de sensibilidad o selectividad máxima.^{15,16,18,22,24}

MATERIALES Y MÉTODOS

Hardware

Generalidades

El sistema desarrollado cumple ciertos criterios de portabilidad y fácil manejo por el usuario. La portabilidad se garantiza con un hardware empotrado, de pequeño tamaño, de bajo peso y consumo, además de la alimentación mediante una batería de plomo ácido de 12 V y 1.2 A-h que lo hace apropiado para el trabajo *in situ*. Los modos de trabajo programados permiten una comunicación con el usuario de manera simple a través de comandos seleccionados con botones desde el panel del equipo. El equipo consta de dos modos denominados **Modo Continuo** y **Modo Capturar Perfiles**. En el primero se muestran los valores de concentración de etanol, en tiempo real, en unidades relativas de tensión (V). En el modo de captura se adquiere y almacena la señal del sensor asociada a una variación de la temperatura de trabajo del sensor para una concentración de odorante determinada.

En la Figura 2 se presenta el diagrama en bloques del sistema registrador de odorantes desarrollado. Se distinguen el bloque de arrastre con la cámara de medidas, el sensor MOS, los acondicionadores electrónicos de entrada y salida, y el bloque de adquisición y control.

La función del bloque de arrastre es transportar el odorante y el gas de referencia hacia la cámara de medidas, donde se encuentra el sensor. La respuesta del circuito acondicionador de salida es un pulso de tensión eléctrica, que corresponde a un valor de concentración, cuando el filamento es encendido y apagado. La polarización del filamento del sensor se realiza con el circuito acondicionador de entrada.

El sistema incluye una pantalla de cristal líquido (LCD) para visualizar: los datos durante los procesos de captura en tiempo real, los parámetros de configuración del instrumento y el envío de los datos hacia la computadora personal. Fue implementado un protocolo de transmisión serie mediante la interfaz RS232 para el intercambio

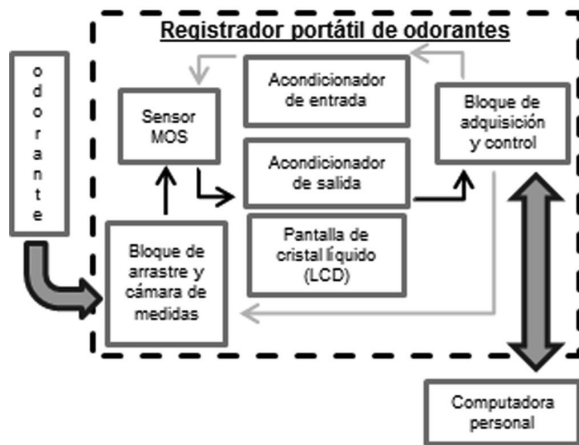


Figura 2. Diagrama en bloques del sistema registrador de odorantes

de datos con la computadora. El procesamiento de los resultados se realiza, finalmente, en la computadora.

Circuitos acondicionadores. Bloque de adquisición y control

En la Figura 3 se muestra una fotografía del registrador portátil de odorantes.

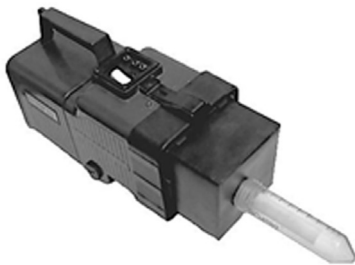


Figura 3. Fotografía del registrador portátil de odorantes

Para la selección de la resistencia de carga R_L del acondicionador de salida (Figura 1) se consideró que la potencia disipada en la resistencia del material del sensor R_s no excediera los 15 mW. El fabricante reporta que esta resistencia R_s varía entre 1 k Ω y 5 k Ω para 300 ppm de etanol,¹³ aunque estos valores fueron obtenidos de manera experimental para las concentraciones de trabajo.

La mayor sensibilidad del circuito acondicionador resistivo se logra al seleccionar un valor de la resistencia de carga $R_L = R_s$ (Figura 1) para una concentración determinada.¹³ El fabricante recomienda un valor de $R_L = 5$ k Ω , que ha sido también reportado en la literatura.^{13,21} En la práctica, no obstante, fue comprobado que este valor resultó adecuado para obtener una salida de tensión apropiada en el intervalo de las concentraciones de trabajo.

La Figura 4 presenta el diagrama eléctrico del circuito acondicionador de entrada empleado para la modulación de la temperatura de trabajo del sensor. En el circuito, el filamento calefactor se representa con la resistencia R_H . A diferencia del acondicionador típico para este sensor, donde el filamento es polarizado con un nivel de tensión constante e igual a 5 V, en este sistema se empleó un transistor bipolar en régimen de conmutación entre corte y saturación. El estado del transistor bipolar se controla con una línea de salida de puerto digital del microcontrolador.

El sistema utiliza un microcontrolador ATMEGA32 (ATMEL, E.U.A.) para adquirir los valores de tensión correspondientes a la concentración de los vapores estudiados, leer el estado de los botones, controlar el régimen de encendido del filamento, comunicarse con la

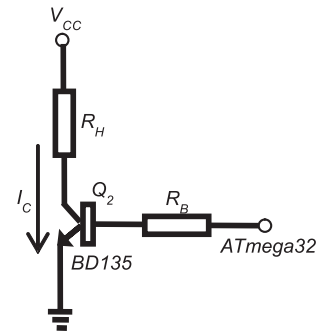


Figura 4. Esquema eléctrico del circuito acondicionador de entrada

computadora y mostrar los resultados en la pantalla LCD.

Las señales son convertidas al dominio digital mediante un convertidor analógico digital disponible en el propio microcontrolador. El período de muestreo programado fue de 200 ms. Para la selección de este valor se tuvo en cuenta que el período de muestreo fuera aproximadamente igual al 10% del tiempo de establecimiento de la señal (3 s en este caso); y que dicho valor no excediera el tiempo máximo de conversión (260 μ s). Así, fueron tomadas 300 muestras por cada pulso de señal capturada.

El microcontrolador escogido dispone de una capacidad de memoria flash de 32 Kbytes y 1 Kbyte de memoria EEPROM para almacenar la información. La frecuencia de operación fue de 8 MHz.

Software

Instrumentación virtual

Para el presente sistema se desarrolló un instrumento virtual (IV) en el ambiente LabVIEW 7.1. En este se ubican seis controles asociados a la configuración del protocolo de comunicación con el microcontrolador y un botón para finalizar la lectura. También se representa en una gráfica la señal del pulso de tensión V_{RL} (eje y) en el tiempo (eje x) asociada a la concentración de una muestra de odorante. Los datos obtenidos con el IV se almacenan en un fichero de texto.

Procedimiento experimental

Previamente fueron determinados, de manera experimental, valores razonables para los tiempos de encendido y apagado del filamento. Esto se realizó teniendo en cuenta los tiempos de respuesta del sensor frente a una muestra de vapores de etanol. En este caso se obtuvieron los valores de 30 s para ambos tiempos de encendido y apagado.

Los análisis seleccionados para validar el sistema fueron el etanol al 90% puro para análisis y el ácido acético glacial. Los vapores con las concentraciones correspondientes fueron obtenidos, de manera indirecta, inyectando muestras líquidas con una micropipeta en recipientes de volumen constante. Fueron utilizados envases de plástico para centrifuga, de 50 mL, sellados adecuadamente.

Las mediciones fueron realizadas bajo condiciones de laboratorio. Se realizaron tres experimentos: Obtención de los perfiles para vapores de etanol y ácido acético y determinación de la curva de calibración para el etanol.

La curva de calibración para vapores de etanol se preparó inyectando siete volúmenes diferentes en el intervalo comprendido entre 1 μ L y 20 μ L. Se realizaron diez réplicas de la curva de calibración.

Una vez preparadas las muestras, se dejaron reposar durante 1 h. Posteriormente fueron presentadas al sistema en el modo **Capturar Perfiles** durante un tiempo de 60 s. En este intervalo el sistema adquiere la señal del odorante. A continuación la muestra es retirada y el sistema se deja expuesto al aire durante un tiempo de 2 min para retirar el odorante de la cámara y que el sensor recupere su estado inicial.

Los datos de los potenciales adquiridos son enviados desde el microcontrolador hacia la computadora empleando un IV para comunicación. Por medio de la ecuación 3, se calcularon los valores de la resistencia sensora R_s . Para obtener la curva de calibración de los vapores de etanol se extrajeron los valores de tensión del estado estacionario de los diez replicados (para cada valor de volumen de etanol) y se calcularon los promedios y las medianas. Dichos valores se graficaron contra el volumen de etanol inyectado.

En el **Modo Continuo** de trabajo es estimado el volumen de etanol inyectado (asociado a una concentración de vapor) que, en este caso, corresponde a un valor de la tensión de salida del sistema. Para ello se utilizó la ecuación de la curva de calibración obtenida a partir de las medianas. Dicho valor es presentado en la pantalla LCD del registrador en tiempo real.

Para la detección de vapores de ácido acético se utilizó una metodología experimental semejante a la empleada para la calibración de vapores de etanol.

A los perfiles de etanol y ácido acético obtenidos les fue aplicada una corrección diferencial de la respuesta del sensor con respecto a la línea base³ ($V_{RL} - V_{AIRE}$). Por último, los datos corregidos fueron representados en gráficos polares que permiten evaluar, de manera cualitativa, los patrones de respuesta de amplitud *versus* tiempo que caracterizan a ambos odorantes.

Programas empleados

El desarrollo de *firmware* sobre el microcontrolador ATmega32 se realizó con el compilador Gcc-AVR de AVRStudio V4.18 (ATMEL, E.U.A.). La hoja de cálculo EXCEL del Paquete Office 2007 (Microsoft, E.U.A.) fue empleada para el tratamiento matemático y estadístico de los datos y su representación gráfica. Los instrumentos virtuales fueron desarrollados en la plataforma LabVIEW 7.1 (National Instruments, E.U.A.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Obtención de los perfiles de vapores de etanol

La Figura 5 muestra ocho ejemplos de perfiles obtenidos para el etanol que están asociados a la respuesta del sensor para una determinada concentración del odorante. Se representa también la respuesta frente al aire. En este gráfico, el eje de las ordenadas representa la caída de tensión en la resistencia de carga del acondicionador (V_{RL}), mientras que el eje de las abscisas representa el tiempo.

El filamento del sensor está apagado inicialmente y los primeros valores que se capturan permanecen en cero puesto que no hay respuesta del sensor. A los 6 s se energiza el filamento y la respuesta

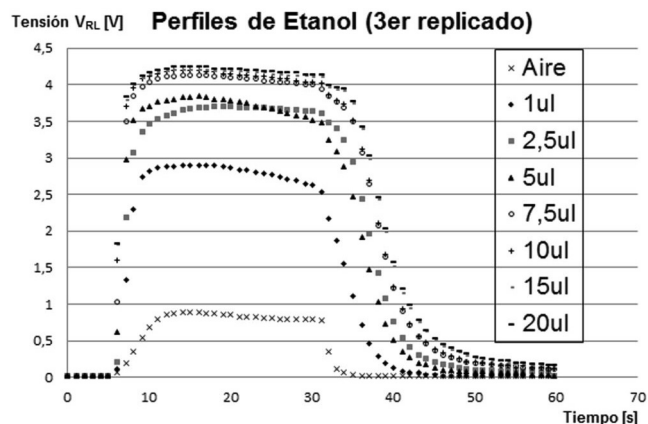


Figura 5. Perfiles temporales para aire y vapores de etanol

del sensor aumenta hasta que se alcanza un estado estacionario para un valor de volumen inyectado constante. Posteriormente, cerca de los 30 s se apaga el filamento, lo que provoca que el material del semiconductor del sensor comience a enfriarse y como resultado su respuesta disminuye puesto que se produce cada vez menos el fenómeno de adsorción en la superficie del material.

El análisis de estos perfiles puede realizarse tanto en amplitud como en el comportamiento temporal de la señal. Se aprecia que la salida del instrumento responde a los cambios de entrada del volumen (concentración) de etanol, siendo mayor la amplitud de salida para mayores volúmenes del analito inyectado. La respuesta para el aire es considerablemente menor que para el resto de las muestras donde se introdujo etanol, como era de esperar. Además, se puede percibir que no existe una correspondencia lineal entre los valores de volúmenes de suministrados y la tensión de salida, lo que corresponde con el comportamiento potencial del sensor.²⁵

En cuanto al comportamiento temporal se puede señalar que la salida del sensor sigue los cambios según la conmutación del filamento calefactor. La curva obtenida para el aire (de trazo gris en forma de cruz y menor amplitud) presenta un tiempo de subida mayor mientras que el tiempo de recuperación es menor (caída más abrupta) en comparación con las curvas asociadas al odorante. Este comportamiento se debe a la poca, o ninguna, adsorción y desorción en el material del sensor cuando es expuesto al aire.

Por último, se observa que a medida que aumenta la concentración, el tiempo que requiere el sensor para recuperar el estado de la línea base es mayor. De hecho, no llega a alcanzar el valor inicial en algunos casos, lo que puede ser debido a un tiempo de apagado insuficiente para que se libere el odorante adsorbido en el material. En general también se observa que, para un valor de volumen dado, los tiempos de subida son menores que los tiempos de recuperación, tal como se reporta en la literatura.³

Curvas de calibración para vapores de etanol

En la Figura 6 a-b se representan los valores experimentales de Tensión vs Volumen de etanol inyectado. Estos fueron calculados a partir de los promedios y las medianas de las tensiones de salida. Se puede observar el comportamiento potencial de dichos datos, lo cual coincide con lo referido en la literatura para este tipo de sensor.^{3,13}

Para explicar el comportamiento de los datos se utilizó la ecuación característica del sensor (ecuación 1). Los coeficientes de determinación obtenidos para los valores promedio y las medianas fueron $R^2=98.9\%$ y 99.4% respectivamente. El mayor valor para la mediana se debe a la menor sensibilidad de esta a las variaciones de tensión en la zona de meseta.

En la Figura 7 se muestran los resultados del ajuste de la ecuación 2 a partir de las medianas. Utilizar dicha ecuación facilita la interpolación lineal de los resultados a la hora de la predicción analítica y su implementación en el *hardware*.

Como se observa en la Tabla 1, los valores de los coeficientes de correlación y determinación son cercanos a uno, lo que indica que existe una relación lineal entre el logaritmo del volumen inyectado y el logaritmo de la caída de tensión en la resistencia sensora. El signo negativo del coeficiente de correlación múltiple -0.997 , indica que esta relación es inversa. En la misma tabla se presentan los valores obtenidos para la pendiente de la recta (α) y el intercepto con el eje 'y' ($\log K$). Se puede apreciar que los valores relativamente bajos de los errores típicos de la regresión, $\log K$ y α dan una medida de la calidad del ajuste de los datos experimentales al modelo que sigue la ecuación 2.

A partir de los resultados obtenidos en la calibración y haciendo

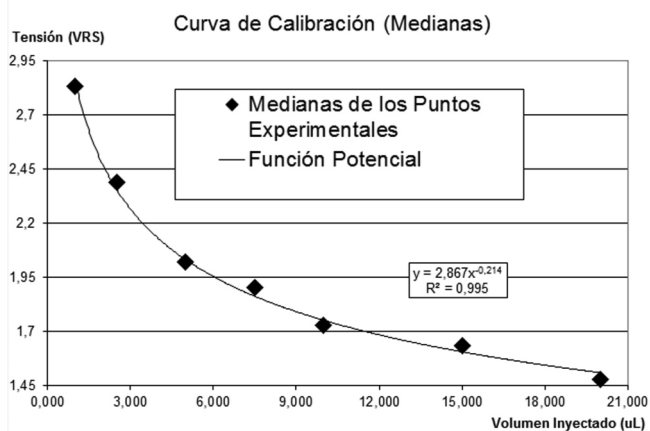
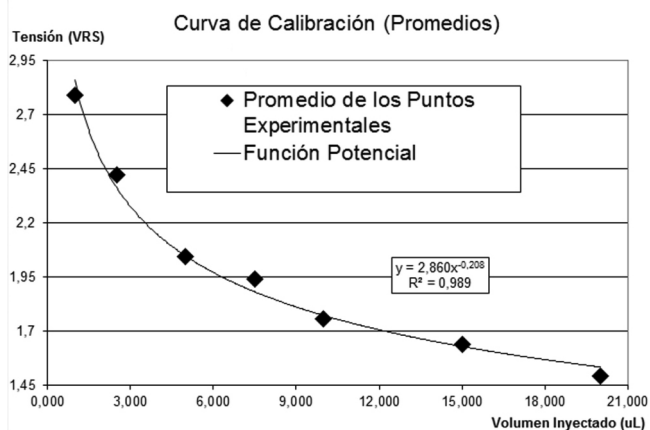


Figura 6. Curva de calibración para vapores de etanol a partir de (a) promedios y (b) medianas

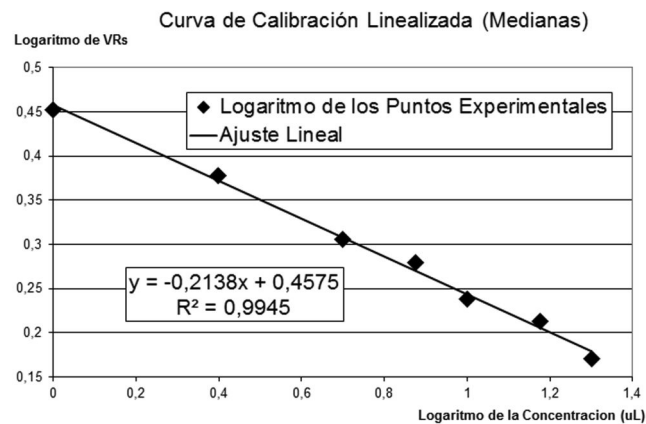


Figura 7. Curva de calibración linealizada para los vapores de etanol a partir de las medianas

uso de la ecuación (2), se puede estimar el volumen de muestra inyectado mediante la ecuación (4):

$$Vol = 10^{\left(\frac{\log R_s - 0,457}{0,213}\right)} \quad (4)$$

Debe notarse que la ecuación anterior se expresa en términos de volumen y no de concentración de etanol como en la ecuación 2. Para esto se consideró la evaporación del volumen total de la muestra líquida inyectada en el recipiente, teniendo en cuenta la diferencia

Tabla 1. Resultados de la regresión para vapores de etanol a partir de las medianas

Parámetros	Coefficientes	Error típico	Inferior 95%	Superior 95%
log K	0,457	0,006	0,441	0,474
α	-0,213	0,007	-0,232	-0,195
Coefficiente de correlación	-0,997			
Coefficiente de determinación R ²	0,994			
Error típico	0,008			
Observaciones	7			

entre el volumen del odorante (entre 1 y 20 uL) y el volumen de aire en el recipiente (50 mL), el tiempo de reposo de las muestras (1 h) y la naturaleza volátil del etanol.

Análisis comparativo de los perfiles de etanol y ácido acético

En la Figura 8 a-b se representan dos ejemplos de perfiles corregidos de vapores de ácido acético y de etanol obtenidos con el registrador. El ángulo representa el tiempo (s) y el radio la amplitud de la tensión de la señal (V).

Se nota que el sensor responde con mayores valores de amplitud a los vapores de etanol que al ácido acético, como era de esperar. Durante el tramo correspondiente al estado estacionario los valores de tensión

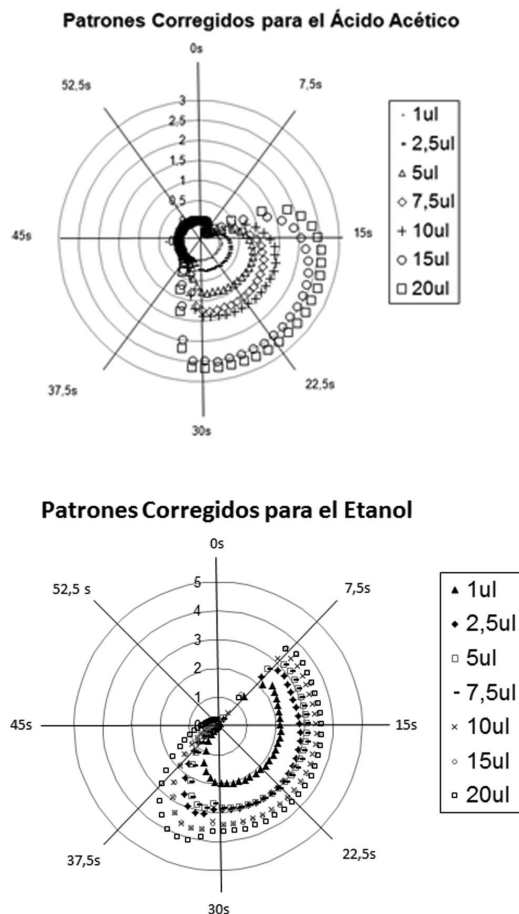


Figura 8. Patrones de respuesta corregidos para (a) vapores de ácido acético y (b) vapores de etanol

para etanol oscilan entre 2,5 y 4,5 V aproximadamente, mientras que para el ácido acético el máximo apenas alcanza los 3,5 V. Los tiempos de subida para el etanol son cercanos a los 5 s mientras que para el ácido acético están cercanos a los 10 s. En el caso de los tiempos de recuperación ocurre un efecto contrario, al apagarse el sensor en presencia de ácido acético, la respuesta del sensor es más pobre y se alcanza el estado de la línea base más rápidamente, en menos de 10 s.

El análisis a partir de la representación polar de los datos permite diferenciar de manera cualitativa los perfiles de los dos odorantes estudiados (etanol y ácido acético). Esta diferencia entre los perfiles temporales se ha logrado gracias a la técnica de modulación de temperatura y la corrección de la línea base aplicada utilizando un solo sensor.

CONCLUSIONES

Se presentó el desarrollo de un sistema portátil registrador de odorantes basado en un sensor comercial MOS TGS-2620 y un microcontrolador ATMEGA32. Los perfiles temporales de amplitud que caracterizan los dos odorantes estudiados (vapores de etanol y ácido acético) fueron obtenidos mediante la técnica de modulación de la temperatura del filamento del sensor. Para esto se emplearon señales de control digitales gobernadas por un sistema empujado basado en un microcontrolador y un circuito de polarización del filamento con un transistor bipolar en régimen de corte y saturación. Los tiempos de encendido y apagado del filamento fueron de 30 s.

Se obtuvo la curva de calibración para vapores de etanol. Los datos experimentales siguieron un comportamiento potencial, acorde con la ecuación teórica de los sensores MOS. El procesamiento estadístico de los datos arrojó valores de $\log K = 0,457$ y $\alpha = -0,213$ para un 95% de nivel de confianza.

La variación de la temperatura, obtenida mediante la conmutación del filamento calefactor provoca que cambie la selectividad del sensor, lo cual enriquece la respuesta al alcanzarse una mayor variabilidad en los datos con un mismo sensor. Esto permitió obtener una respuesta para vapores de ácido acético, no reportada por el fabricante para este tipo de sensor, y una familia de curvas que caracterizan los patrones de vapores de etanol y ácido acético.

TRABAJOS FUTUROS

Realizar un estudio de interferencia con mezclas de etanol y ácido acético para determinar la posible influencia de este último en las medidas de vapores de etanol. Implementar herramientas de reconocimiento de patrones o quimiométricas en el microcontrolador para realizar el reconocimiento de estos odorantes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Proyecto CAPES-MES 139/11, Desarrollo de una nariz electrónica para la detección de sustancias

gaseosas en el medio ambiente: evaluación de impactos de odorantes.

REFERENCIAS

- De Melo, H.; Page, T.; Guy, C.; *Eng. Sanit. Ambient.* **2009**, *14*, 1.
- Powers, W.; disponible en: <http://www.extension.iastate.edu/Publications/PM1963C.pdf>, accesado en Febrero 2013.
- Arshak, K.; Moore, E.; Lyons, G. M.; Harris, J.; Clifford, S.; *Sensor Review* **2004**, *24*, 2.
- Falascioni, M.; Concina, I.; Gobbi, E.; Sberveglieri, V.; Pulvirenti, A.; Sberveglieri, G.; *International Journal of Electrochemistry* **2012**.
- Witt, K.; Inhestern, J.; Guntinas-Lichius, O.; Voss, A.; *Biomed. Tech.* **2012**, *57*, 1.
- Wilson, A.; *Procedia Technology* **2012**, 1.
- Persaud, K. C.; Wareham, P.; Pisanelli, A. M.; Scorsone, E.; *Chem. Senses* **2005**, *30*, 1.
- Alam, H.; Saeed, H.; *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJCEE)* **2013**, *3*, 1.
- Rahman, S.; Usmani, T.; Saeed, S.; *International Journal of Computing and Corporate Research* **2013**, *3*, 2.
- Lozano, J.; Arroyo, T.; Santos, J. P.; Cabellos, J. M.; Horrillo, M. C.; *Sens. Actuators, B* **2008**, *133*, 180.
- Lozano, J.; Álvarez, F.; Santos, J. P.; Horrillo, M. C.; *Proceedings of the AIP Conference* **2011**, *1362*.
- Martin, A.; Mallikarjuan, K.; Zoecklein, B.; *Int. J. Food Eng.* **2008**, *4*, 2.
- TGS 2620 product information; disponible en: <http://www.figarosensor.com/products/2620pdf.pdf>, accesado en Febrero 2013.
- Gardner, J. W.; Bartlett, P. N.; *Sens. Actuators, B* **1994**, *18-19*, 211.
- Lee, A. P.; Reedy, B. J.; *Sens. Actuators, B* **1999**, *60*, 35.
- Martinelli, E.; Polese, D.; Catini, A.; D'Amico, A.; Di Natale, C.; *Sens. Actuators, B* **2012**, *161*, 534.
- Gutierrez-Osuna, R.; Korah, S.; Perera, A.; *Proceedings of the 7th International Symposium on Olfaction and Electronic Nose*, Washington, EUA, 2001.
- Gosangi, R.; Gutierrez-Osuna, R.; *Sens. Actuators, B* **2013**, *185*, 201.
- Durán, A.; Muñoz, D. Sánchez, J.; Casans, S.; Navarro, E.; *Sens. Actuators, B* **2008**, *134*, 591.
- Stewart, R. L.; Russell, R.A.; Kleeman, L.; *Dept. Electric And Computer Systems Engineering, Academic Research Forum* **2003**.
- Arshak, K.; Lyons, G.; Cavanagh, L.; Clifford S.; *Sens. Rev.* **2003**, *23*, 3.
- Huang, X.; Meng F.; Pi, Z.; Xu, W.; Liu, J.; *Sens. Actuators, B* **2004**, *99*, 444.
- Acevedo, J.; Maldonado, S.; Al-Khalifa, S.; Gil, P.; Gardner, J. W.; *Proceedings of the 11th International Symposium on Olfaction and Electronic Nose*, Barcelona, España, 2005.
- Chutia, R.; Bhuyan, M.; *2nd National Conference on Computational Intelligence and Signal Processing (CISP 2012)*, Guwahati, India, 2012.
- Yamazoe, N.; Shimano, K.; *Sens. Actuators, B* **2007**, *128*, 566.