

PROTOTIPO DE UNA NARIZ ELECTRÓNICA

Rojas M.⁽²⁾ c20011121@alumnos.uni.edu.pe; Comina G.⁽²⁾ gcomina@uni.edu.pe;
Solís J.^(1,2) jsolis@uni.edu.pe

(1) Instituto Peruano de Energía Nuclear / Lima, Perú

(2) Facultad de Ciencias – Universidad Nacional de Ingeniería / Lima, Perú

RESUMEN

Se desarrolló una nariz electrónica para la diferenciación automática de diferentes muestras a través del olor. Se utilizó un arreglo de sensores de gas con diferentes características y se implementó el sistema de adquisición de datos y el tratamiento de los mismos. Se utilizó un programa comercial (Scirius 6.5) para el análisis multivariacional de los datos y gráfica de los mismos. El prototipo fue probado utilizando pisco de diferentes fabricantes, logrando diferenciar los diferentes piscos. Adicionalmente, la nariz se probó con diferentes muestras de jabón de tocador, té, tabaco, jugo, y café.

ABSTRACT

An electronic nose was developed for an automatic differentiation of different sample through odour. An array of non-specific gas sensors and a data acquisition and analysis treatment were implemented. A commercial program (Scirius 6.5) for Principal Component Analysis (PCA) was used. The electronic nose was tested with pisco from different producers and could be possible to differentiate them. Additionally, the e-nose was tested with different soap, tee, juice and coffee samples.

1 INTRODUCCIÓN

La industria de alimentos necesita tener un control de calidad bastante estricto dentro de su proceso de producción. La determinación de olores y sabores es muy importante en esta industria porque eso es la clave de la aceptación del producto por el cliente. Mediante el olor o sabor uno puede decir si el producto es el mismo o se ha producido alguna modificación, por ejemplo por el olor uno puede determinar si el pescado que compra en el mercado está fresco, o con el sabor uno puede saber si el vino es de buena cosecha.

Se puede realizar este control utilizando un panel de personas muy sensibles, pero como

es un trabajo rutinario las personas al fatigarse pueden cometer errores. Para el caso específico del vino estas personas se conocen como catadores o enólogos. Estas personas entrenan a su nariz y lengua para poder discriminar las calidades de los vinos. Algunos estimados sugieren que podemos distinguir alrededor de 10 000 diferentes olores. También se pueden usar técnicas analíticas como cromatografía líquida o de gases, estas técnicas son precisas y objetivas pero sólo en determinadas partes del olor o sabor las cuales no son las partes más importantes para los sentidos del ser humano.

La nariz y lengua humana consta de una gran cantidad de células olfativas y del gusto que están en el epitelio olfativo y diseminado por la lengua, respectivamente. Lo que uno toma o huele estimula estas células que envían información a través de las neuronas al cerebro que compara con patrones almacenados y se reconoce el sabor o aroma. Imitando los sistemas biológicos, se han desarrollado narices electrónicas como se observa en la Figura 1.

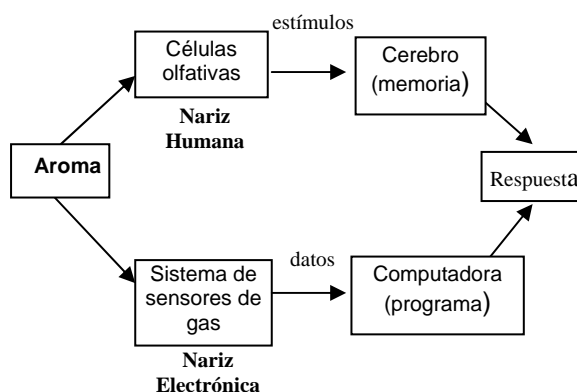


Figura 1. Esquema de una nariz humana y electrónica.

Los sensores de gas de estado sólido están basados en óxidos semiconductores cuya resistencia cambia cuando la concentración de gases en el medio ambiente cambia [1]. Estos sensores no son específicos sino que pueden detectar varios gases simultáneamente sin discriminarlos, sin

embargo tienen una mayor sensibilidad para ciertos gases. Existen sensores comerciales para diferentes gases como el CO, H₂S, alcohol, NO_x, propano, etc. Si tenemos una matriz con diferentes sensores de gas, un sistema de adquisición de datos y una herramienta matemática de reconocimiento en una computadora, este sistema se conoce como nariz electrónica [2,3]. Esta nariz electrónica es similar al sistema olfativo humano (Figura 1). En la nariz electrónica, la computadora colecta y analiza los datos, mientras que la nariz del ser humano esta controlada por el cerebro. Actualmente se esta investigando la forma de reducir la cantidad de sensores en la matriz, llegando incluso a utilizar un solo sensor [4].

Una nariz electrónica puede ser aplicado en los campos de la industria de alimentos, control ambiental, y diagnóstico médico. Las narices electrónicas pueden detectar la frescura de alimentos y bebidas, o pueden ser usados en control de calidad de papeles o producción de cosméticos. También puede ser utilizado para monitorear la calidad del aire, para identificar olores domésticos y revelar emisiones desagradables. Las aplicaciones potenciales de las narices electrónicas en el campo de la industria de alimentos son enormes; por ejemplo inspección de alimentos, inspección del pescado, control de fermentación, inspección de contenedores de líquidos, control automático de sabor, etc [5-9].

2 DESARROLLO DEL PROTOTIPO DE LA NARIZ ELECTRONICA

En la Figura 2 se muestra el esquema de la nariz electrónica desarrollada.

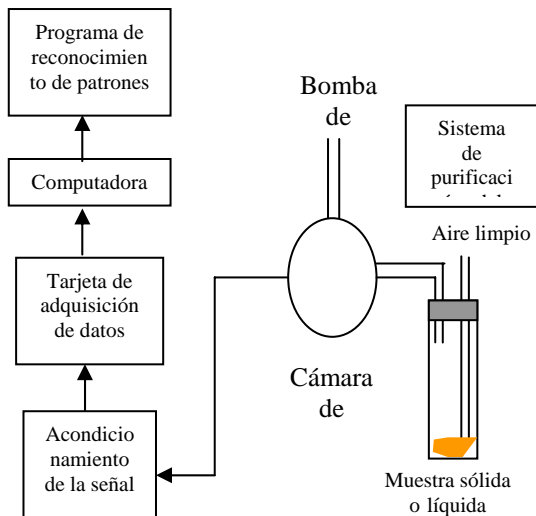


Figura 2. Esquema de la nariz electrónica desarrollada.

2.1 Cámara de medida

La campana de medida diseñada esta hecha en acero inoxidable, con una entrada para el gas y una salida. La Figura 3 muestra el corte transversal de la cámara diseñada donde las flechas indican el recorrido del gas, el diseño se hizo tomando en cuenta que el gas interacciona de una manera uniforme con los sensores de gas, para lo cual se hizo agujeros justo debajo de cada sensor. Para que el gas ingrese a la cámara se usa una bomba de vacío, la cual reduce la presión dentro de la campana, haciendo que el vapor a analizar ingrese a la misma. Dentro de la cámara se puede tener hasta 6 sensores de gas.

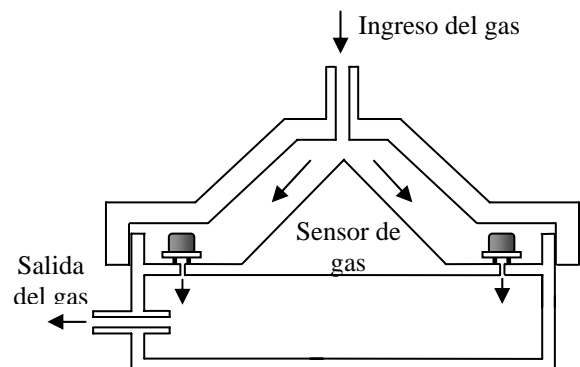


Figura 3. Vista del corte transversal de la cámara de medida.

2.2 Sistema de purificación del aire

Para tener resultados reproducibles es necesario utilizar un aire limpio. Esto se logro utilizando una trampa para gas con una solución de CaCO₃ en agua, debido a que tiene propiedades de retención de gases. Adicionalmente se hizo pasar el aire por carbón activado. El aire purificado ingresa a otra trampa de gas que contiene la muestra, este aire limpio luego se combina con vapores de la muestra para finalmente ingresar a la cámara de medida, donde se encuentran los sensores.

Además de este sistema de purificación, se cuenta con elementos para mantener la cámara limpia, pues se observo algunos inconvenientes al repetir los experimentos, principalmente influenciados por la contaminación de la cámara. Por esta razón se aplica corrientes de aire caliente, para garantizar la limpieza de la campana, además de un filtro de carbón activado, dentro de la cámara.

2.3 Sistema de Adquisición y Acondicionamiento de Señal

Se utilizaron sensores de gas de la serie TGS 800 de Figaro Inc. [10]. Estos sensores no son específicos ya que responde a varios gases en mayor o menor proporción. Estos sensores de gas están compuestos de un calentador interno, alambre de Pt, que sirve para elevar la temperatura del semiconductor que sirve para facilitar la interacción entre el gas y el semiconductor. La temperatura típica de operación de estos sensores es 400 °C y el semiconductor sensible es generalmente el SnO₂.

En la Figura 4 se tiene el esquema de conexiones de un sensor de gas típico [10], donde V_H es el voltaje para el calentador y V_C es un voltaje constante que se aplica entre la resistencia la resistencia del semiconductor sensible a los gases y una resistencia constante R_L , la variación de la resistencia del sensor se vera reflejada en el voltaje V_{RL} . Dentro de la cámara se pueden colocar 6 sensores de gas de diferente características. Para la operación de cada sensor se necesita dos voltajes uno para el calentador y otro para la medida.

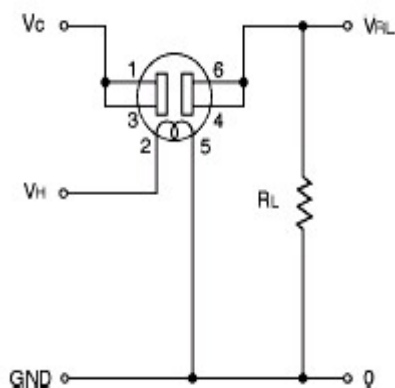


Figura 4. Diagrama básico par el funcionamiento del sensor de gas [10].

La tarjeta de adquisición utilizada fue una tarjeta de National Instruments, modelo PCI-6023E de 12 bits con 16 entradas analógicas, 2 contadores de 24 bits y un puerto bidireccional digital de 8 bits. La velocidad de adquisición puede ser de hasta 200 kS/s. Se diseño un circuito que genere voltajes independientes para el calentador de cada sensor, para lo cual se diseño un circuito que genere 6 señales analógicas a partir del puerto digital de la tarjeta de adquisición, pero al contar con solo un puerto, se multiplexó la salida del puerto

digital, usando el puerto paralelo de la PC y los IC 74ls245, intercambiando la señal del puerto digital para llevarla a cada uno de los conversores digital analógico.

La variación de la resistencia de los sensores se detecto utilizando una resistencia constante en serie R_L y midiendo la caída de potencial sobre la misma. La respuesta de los sensores, se midieron utilizando las entradas analógicas de la PCI-6023E, al mismo tiempo que se realiza el envío de datos a los sensores.

Aunque el hardware este diseñado para trabajar con voltajes variables para cada sensor, para la primera parte de nuestra investigación, solo se usaron voltajes constantes.

Para el prototipo se utilizaron 4 sensores de gas, a continuación damos las especificaciones de los mismos:

Sensores de gas marca Figaro Inc.:

- TGS 813: Sensor de Gases Combustibles
- TGS 822: Sensor de Solventes Orgánicos

Sensores de gas marca Sensera:

- HS 130AS: Sensor de Alcohol
- HS 131: Sensor de Hidrocarburos

2.4 Programas de Adquisición y Ordenamiento de Datos

El programa de adquisición y control ha sido realizado íntegramente en LabVIEW6i. Para la adquisición de las respuestas de los sensores, y el envío de datos por el puerto digital de la tarjeta se aprovecha la fácil comunicación del Labview6i con la tarjeta de adquisición PCI-6023E. El programa puede generar voltajes analógicos constantes o periódicos para el calentador de cada sensor, y almacena la diferencia de potencial en cada resistencia que esta en serie con determinado sensor de gas en función del tiempo de medida. El programa guarda los datos en un archivo, para su posterior ordenamiento en una matriz para el posterior análisis multivariado.

Se tiene que cada sensor se puede controlar independientemente y tiene una pantalla donde se grafica la variación del voltaje en la resistencia de medida en función del tiempo en tiempo real. Los sensores de gas normalmente funcionan a una temperatura

constante, pero si su temperatura varia cíclicamente se puede tener mayor información y se puede discriminar algunos gases usando solo un sensor de gas [4]. En el presente trabajo se utilizó el sistema dinámico pero no periódico sino simultáneamente a que el vapor ingresa a la cámara de medida se calentó el sensor.

2.5 Software de Analisis Multivariacional

El análisis de los datos que se integra a una nariz electrónica tiene su origen en la química analítica [11]. Debido a que es necesario comprimir y extraer toda información relevante del voluminoso conjunto de datos obtenidos, ya que en muchas ocasiones la información esencial no depende de variables aisladas sino de la interrelación entre las mismas. La técnica de análisis de componentes principales (PCA; siglas en ingles) es un método estadístico clásico. Este algoritmo cae dentro de las técnicas denominadas reconocimiento de patrones o técnicas de inteligencia artificial y permite reducir, representar y extraer información relevante al mismo tiempo [12]. El PCA es un procedimiento matemático que transforma un gran número de variables que posiblemente estén correlacionados en un número pequeño de variables no correlacionadas llamadas componentes principales. El algoritmo PCA suele ser clasificado como un método no supervisado de reconocimiento de patrones, ya que su uso más extendido con las narices electrónicas se limita a representar bidimensionalmente un conjunto de medidas para ver si se pueden formar agrupaciones ("clusters") espontáneas entre las diferentes medidas realizadas [13]. El primer componente principal toma en cuenta la máxima variabilidad en los datos, y las siguientes componentes toman en cuenta la máxima variabilidad posible remanente.

Para aplicar el PCA, se parte de un conjunto de datos compuestos, en una estructura matricial (la generada en el ordenamiento de datos) con m filas y n columnas, suponiendo que se han realizado m experimentos y se obtuvieron n variables para cada uno. Cada fila corresponde a la descripción completa de cada experimento, es decir la señal de cada sensor uno tras otro, el orden de los datos de los sensores será el mismo para cada experimento.

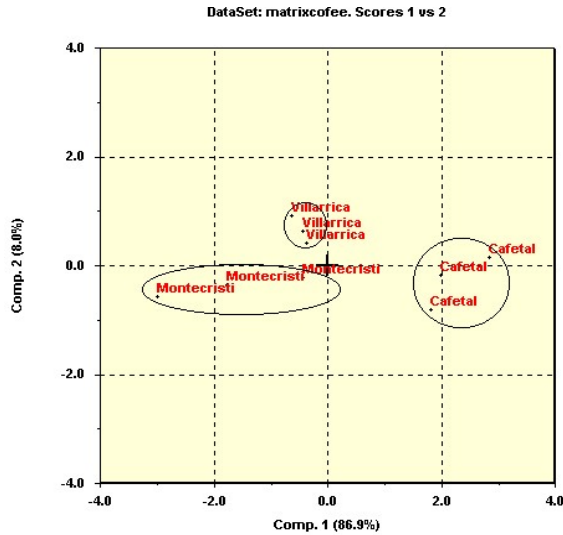
Consideramos que cada experimento o fila es un vector que pertenece a un espacio

vectorial de dimensión n expresado en base canónica. Cada coordenada esta asociada directamente a una de las variables descriptivas que proporciona la toma de datos. El análisis de componentes principales es un cambio de base, pasando de la base canónica a una nueva base formada por los autovectores de la matriz de covarianza de datos. El resultado de este análisis es una grafica en dos dimensiones que muchos le llaman grafico de "score". Después de tener la matriz de datos ordenada se utilizo el programa Scirius 6.5 para el análisis PCA.

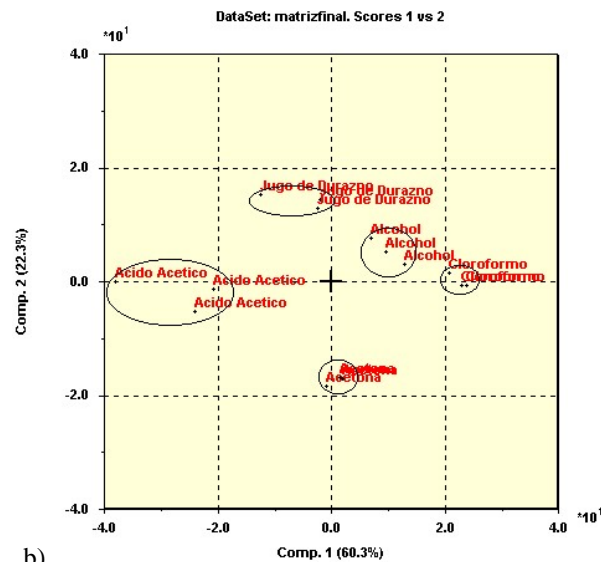
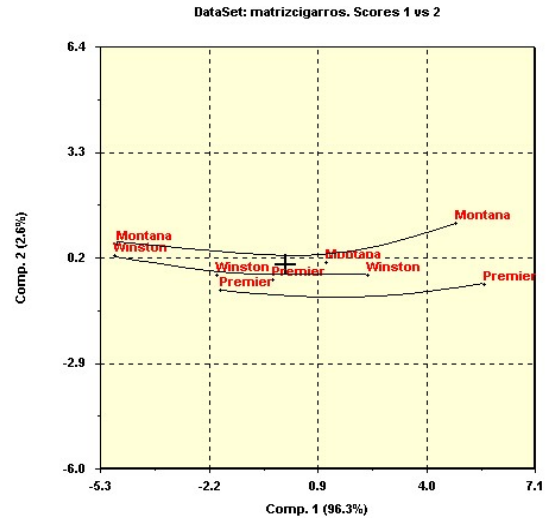
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para las medidas realizadas primero se llena la cámara de medida, se calienta el sensor a un voltaje constante y se procede a realizar la adquisición de datos. Cabe destacar, que el orden de adquisición de datos fue aleatorio, es decir, si tenemos 3 muestras A, B, C, permutamos el orden de medición en cada toma de datos. Las muestras analizadas han sido seleccionadas aleatoriamente. Para probar si nuestro sistema desarrollado funciona, se utilizaron muestras totalmente distintas y si se puede discriminarlas. Inicialmente, se buscó sólo una discriminación de sustancias diametralmente opuestas; como por ejemplo, Acetona, Cloroformo, Alcohol, Ácido Acético y Jugo de Durazno y la Figura 5a muestra su diagrama PCA de esas muestras. Los resultados fueron satisfactorios.

Después de haber probado la efectividad de la nariz en muestras distintas, buscamos hacer lo mismo con muestras similares. Se escogió muestras de café de tres marcas diferentes. La Figura 5b muestra el diagrama PCA del café Cafetal, Montecristi y Villarrica. Nuestro sistema logro diferenciar las muestras analizadas.



a)



b)

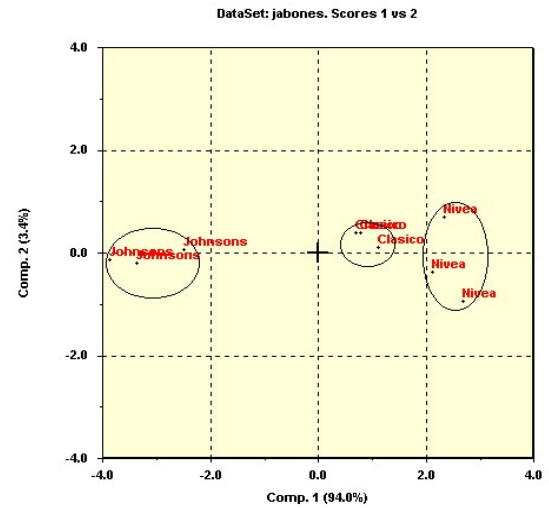


Figura 6. El diagrama del a) tabaco de cigarrillos Montana, Winston y Premier y b) de jabones de tocador Johnsons, Clásico y Nivea.

Figura 5. El diagrama PCA de a) Acetona, Cloroformo, Alcohol, Ácido Acético y Jugo de Durazno y b) café Montecristi, Cafetal y Villarrica.

La Figura 6a representa la respuesta la nariz electrónica para el tabaco de cigarrillo de distintas marcas (Montana, Winston y Premier), esta vez, los resultados no son tan claros, el tabaco de los cigarrillos analizados no pudieron ser diferenciados con nuestro prototipo.

También se logro diferenciar tres tipos de jabones de tocador de diferentes marcas (Fig. 6b). Una de las principales motivaciones de nuestro trabajo fue realizar análisis para clasificar y diferenciar piscos, de la misma clase, pero de distintos productores, se pudo observar, buena efectividad de la nariz en ese análisis.

En la Figura 8 se puede ver que los tres piscos analizados Queirolo, Vargas y Carmelo pueden diferenciarse claramente. Esta parte inicial del proyecto ha sido concluido satisfactoriamente, nuestro prototipo tiene una gran potencialidad para usarlo como diferenciador de piscos. Ahora debemos mejorar el prototipo con ayuda de enólogos especialistas en pisco.

4 CONCLUSIONES

- Se ha podido demostrar la efectividad del prototipo de nariz electrónica para la diferenciación de olores de diferentes muestras.
- El equipo, podría determinar la procedencia de una muestra problema, con una adecuada base de datos.

- La realización de los análisis genera un drift en los sensores, que significa un desgaste en el sensor, lo cual se subsana con una recalibración periódica.
- Los prototipos desarrollados serán mejorados con la ayuda de especialistas como enólogos para el caso de pisco.

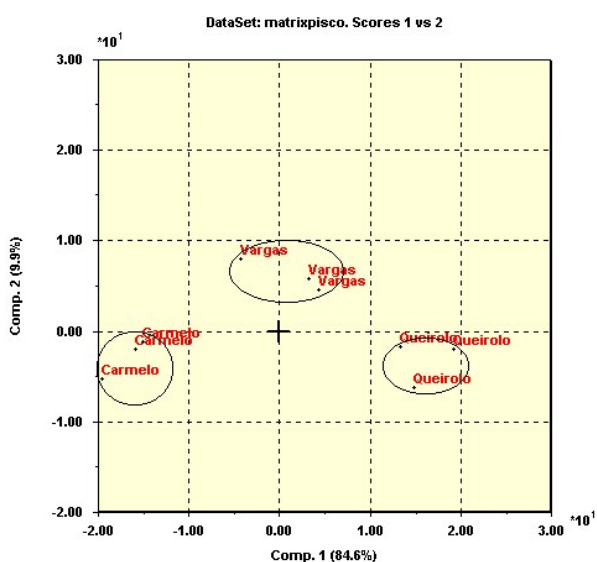


Figura 7. Diagrama PCA de pisco Carmelo, Vargas y Queirolo.

AGRADECIMIENTOS

Por el financiamiento parcial del proyecto al Instituto de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería y al Programa Internacional de Física de Universidad de Uppsala, Suecia. M.A. Rojas desea expresar su agradecimiento al Grupo Estudiantil de Instrumentación Científica de la Universidad de Ingeniería por el apoyo.

5 REFERENCIAS

- [1] Madou MJ, Morrison SR. Chemical Sensing with Solid State Devices. San Diego: Academic; 1989; p. 67-104.
- [2] Gardner JW, Barlett PN. Sensors and Actuators B. 1994; 18-19: 211-220.
- [3] Snopok BA, Kruglenko IV. Thin Solid Films. 2002; 418: 21-41.

- [4] Solis JL, Kish LB, Vajtai R, Granqvist CG, Olsson J, Schnürer J, Lantto V. Sensors and Actuators B. 2001; 77: 312-315.
- [5] Lamagna A, Reich S, Negri M, Boselli A, Cocco M, C. Natale C. Thin Solid Films. 2002; 418: 42-44.
- [6] Mielle P, Marquis F. Sensors and Actuators B. 2001; 76: 470-476.
- [7] O'Connell M, Valdora G, Peltzer G, Negri RM. Sensors and Actuators B. 2001; 80: 149-154.
- [8] Taurino A, Capone S, Distanti C, Epifiani M, Rella R, Siciliano P. Thin Solid Films. 2002; 418: 59-65.
- [9] Nakata S, Akakabe S, Naksuji M, Yoshikawa K. Anal. Chem. 1996; 68: 2067-2072.
- [10] Figaro Engineering Inc., Figaro Gas sensor Technical Reference.
- [11] Abe H, Yoshimura TY, Kanaya S, Takahashi Y, Miyashita Y, Sasaki S. Analytica Chimica Acta. 1987; 194: 1-9.
- [12] Jackson JE, Qual J. Tech. 1981; 3: 1.
- [13] Gardner JW. Sensors and Actuators B. 1991; 4: 108-116.