

ELECTRONIC ODOR SYSTEM TO DETECT VOLATILE COMPOUNDS**SISTEMA DE OLFATO ELECTRONICO PARA LA DETECCION DE COMPUESTOS
VOLATILES****Ing. Juan Carlos Rodríguez Gamboa, PhD. Cristhian Manuel Durán Acevedo****Universidad de Pamplona**

Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

Tel: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303 Ext. 156

E-mail: {ju4n, cmduran}@unipamplona.edu.co

Abstract: This paper deals with the design and implementation of a measuring instrument “*prototype of an electronic nose*” initially used as an option for quality control of foodstuff and / or volatile compounds. The device’s function is the signal acquisition from 8 gas sensors in order to monitor and store them on a PC in the form of a matrix of data. Subsequently, a set of data is processed through software; development for samples’ classification, from a prior acquisition and pre-processing of signals.

Resumen: El presente trabajo consiste en el diseño e implementación de un instrumento de medida “*Prototipo de olfato electrónico*” aplicado inicialmente como una opción para el control de calidad de productos alimenticios y/o compuestos volátiles. La función del equipo es realizar la adquisición de las señales provenientes de 8 sensores de gases comerciales con el fin de monitorizarlas y almacenarlas en un PC en forma de una matriz de Datos. Posteriormente un conjunto de datos es procesado a través de un software, implementado para la clasificación de las muestras, y a partir de una previa adquisición y pre-procesado de las señales.

Keywords: Multisensor system, gas sensors, volatile, concentration, measure, chamber.

1. INTRODUCCIÓN

Algunos de los sentidos de los seres vivos se han implementado con bastante éxito de manera artificial mediante sistemas electrónicos, de esta forma, se han descrito aplicaciones de visión artificial, reconocimiento de voz, sistemas táctiles, entre otros. (J. P. Santos, *et al.*, 2000).

Los sistemas de olfato electrónico, popularmente conocidos como “Narices electrónicas”, tienen una historia muy reciente. Aunque sus orígenes se remontan a los primitivos sistemas montados en los

años 60’s, el término “nariz electrónica” y los primeros sistemas inteligentes de olfato electrónico no aparecieron hasta la segunda mitad de la década de los ochenta. (W.F. Wilkens, *et al.*, 1967; Duran, *et al.*, 2005).

Una “nariz electrónica” (NE) ó Sistema de Olfato Electrónico (SDOE) es básicamente un instrumento que es capaz de realizar análisis cualitativos y/o cuantitativos de una mezcla de gases, vapores y olores. El SDOE es un instrumento de olfato artificial que permite distinguir y reconocer aromas utilizando sensores de gas.

Un dispositivo de este tipo lo componen principalmente 4 etapas con diferentes funciones: 1) La primera realiza la adecuación de la mezcla gaseosa y el muestreo. 2) El conjunto de sensores de gases hace la detección de los compuestos volátiles. 3) La electrónica de control se dedica a la gestión del conjunto de sensores y adecuación de la señal. 4) Finalmente, se hace uso de una computadora donde se extraen los rasgos característicos o "huellas" de cada aroma, y se aplican algoritmos de clasificación de patrones (Ej: Redes Neuronales Artificiales). Al final se representan los resultados. (Grupo E – Nose, *et al.*, 1999; J.W. Gardner, *et al.*, 1994).

El sistema diseñado y desarrollado en este trabajo está conformado por las 3 primeras etapas fundamentales mencionadas anteriormente, y se complementa con un software de procesamiento y reconocimiento de patrones "Nose" Version 1.0, realizado en un trabajo preliminar por Dancur (2007) y con la dirección del director de este trabajo, con lo cual se obtiene un sistema de olfato electrónico completo.

El desarrollo del prototipo inicial de sistema multisensorial sirve como base fundamental para posteriores investigaciones en la Universidad de Pamplona en la temática de sistemas Multisensoriales "Olfato electrónico" y Reconocimiento de Patrones.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema desarrollado esta compuesto básicamente por los bloques funcionales que se muestran en la siguiente figura:

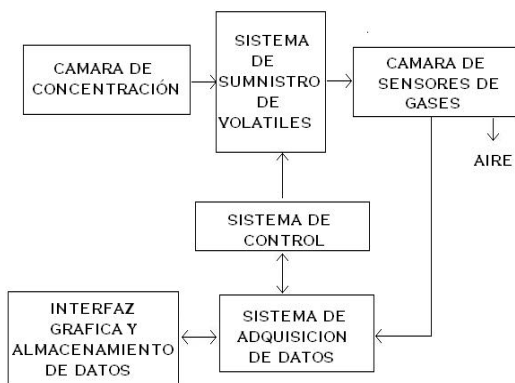


Fig. 1. Diagrama de Bloques del sistema multisensorial de olfato electrónico

A continuación se explica la función de cada parte del Sistema de Olfato Electrónico (SDOE) y sus principales características, así como datos del diseño e implementación del prototipo.

2.1. Cámara de Concentración

La cámara de concentración fue construida en material acrílico el cual da forma a un recipiente hermético en el que se introduce la muestra (compuesto volátil líquido o sólido) que se desea analizar.

La finalidad de la cámara es servir como medio para la acumulación de los volátiles desprendidos por las muestras que se encuentran en su interior.

La cámara de concentración posee sobre una de sus paredes laterales dos orificios, una de entrada y otro de salida de aire que permiten transportar los volátiles hasta la cámara de sensores en la etapa posterior de medición. Si se obstruyen estas entradas mediante electro-válvulas se aísla el interior de la cámara, lo cual se está concentrando gran cantidad de volátiles.

De esa manera, transcurrido un tiempo, se habrá creado una concentración de volátiles que posteriormente serán arrastrados por el flujo de aire (A través de una bomba de aire) hasta la cámara de sensores. Además, esta cámara tiene una cubierta que permite introducir las muestras en el interior de ella. Dicha cubierta se asegura con unos anclajes y una junta de goma situados en su perímetro para poder cerrarla herméticamente.

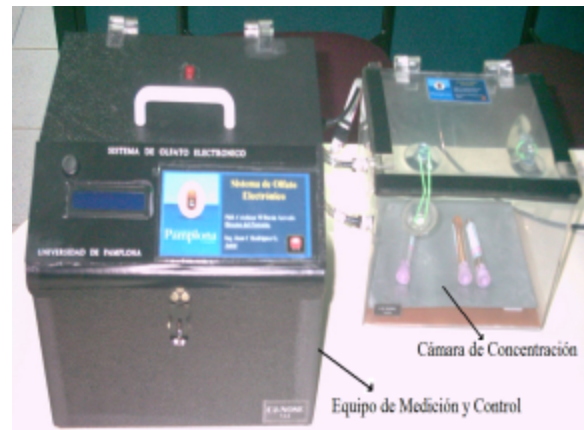


Fig. 2. Fotografía del SDOE, cámara de concentración junto al equipo de medición y Control

El material empleado para la construcción de la cámara es acrílico transparente de 3 milímetros de espesor.

Las dimensiones son: Largo: 20 cm; Ancho: 13 cm; Alto: 13 cm

La siguiente figura muestra la cámara de concentración (Lado derecho) junto con el equipo de medición y control (Lado izquierdo).

En la base de la cámara de concentración se encuentra ubicada en su interior una lámina metálica soportada sobre un circuito a base de resistencias de potencia (150 Ω), las cuales se emplean para calentar la muestra y facilitar así la emisión de los volátiles, siempre y cuando el usuario del sistema, así lo desee.

Sistema de suministro de volátiles. Básicamente se trata de disponer de un mecanismo para transportar la muestra a analizar a la cámara en la que se encuentra la matriz de sensores. En un sistema de olfato típico, una muestra de gas que contiene moléculas olorosas se introduce en un pequeño contenedor en el que se encuentran los sensores.

La técnica empleada en este trabajo para el suministro de volátiles a la cámara de sensores es un proceso automático, en la que las moléculas olorosas se extraen desde la zona en la que se encuentra la muestra a través de la inyección de un gas inerte que las arrastra hasta transportarlas a la cámara.

En el interior del equipo el suministro de volátiles esta conformado básicamente por 2 electro-válvulas de 3 vías y una bomba de aire conectados por medio de tubería de silicona de 1/4 de pulgada, los cuales son comandados por un sistema de control, compuesto por una tarjeta electrónica que contiene un microcontrolador PIC16F877A de Microchip.

Etapas del Proceso de Medición. El proceso de medición con el SMOE lo comprenden tres etapas claramente identificadas: Concentración, Medida y Reposo.

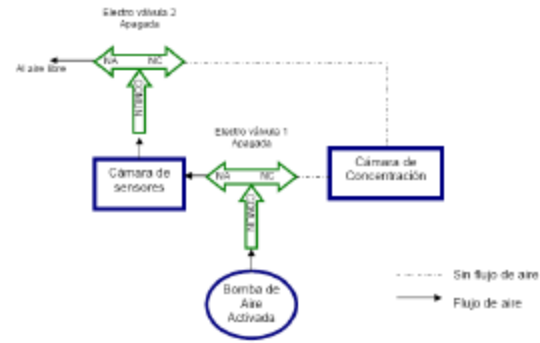


Fig. 3. Diagrama de flujo de aire en la etapa de Concentración y Reposo

Concentración: Es la primera etapa del proceso de medición, su objetivo es concentrar los volátiles de una muestra (Ej: Café) en la cámara de concentración, lo cual se consigue desactivando las dos electro-válvulas de dos vías dispuestas una a la entrada y otra a la salida, para aislar el interior de la cámara de concentración del ambiente exterior. En esta etapa, también se activa la bomba de aire para dirigir el flujo hacia la salida, pasando por la cámara de sensores, con el propósito de limpiar y expulsar los residuos de volátiles almacenados debido a las medidas anteriormente realizadas para estabilizar los sensores. Ver Figura 3.

Medida: En esta etapa del proceso de medición se realiza la adquisición de las señales de los sensores de gases, por lo tanto se deben activar los 2 electro-válvulas y la bomba de aire simultáneamente para dirigir el flujo de aire desde la bomba hacia la cámara de concentración, arrastrando los volátiles desprendidos de la muestra hacia la cámara de sensores. Ver Figura 4.

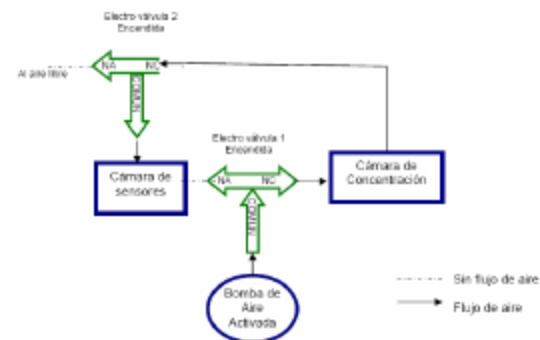


Fig. 4. Diagrama de flujo de aire en la etapa de medida

Reposo: En la última etapa del proceso de medición se busca limpiar y expulsar los residuos de los volátiles de la medida realizada anteriormente, para ello se desactivan las 2 electro-válvulas y se activa la bomba. En esta instancia del proceso se puede abrir la cámara de concentración para retirar la muestra, ayudando a evacuar los volátiles concentrados en ella para comenzar una nueva medición, si es el caso. El proceso se puede observar en la Figura 3, la cual es un proceso similar al de concentración pero sin muestra.

Cámara de Sensores de Gases ó de medida. Los sensores deben estar localizados en una cámara en la que se garanticen unas condiciones adecuadas para que trabajen correctamente. (Lecha, *et al.*, 2001). Principalmente se debe asegurar el adecuado aislamiento que impida que se introduzcan contaminantes, al mismo tiempo fugas de volátiles con el objetivo de mantener la presión y temperatura adecuada (estos parámetros son importantes o críticos en función del tipo de sensor utilizado).

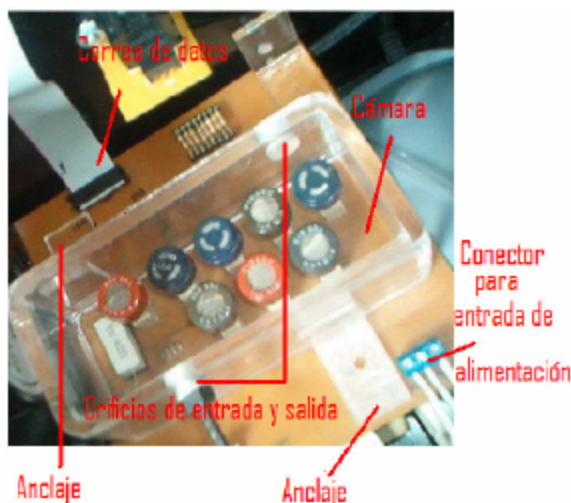


Fig. 5. Cámara de sensores de gases

La cámara de medida contiene 8 sensores de gases comerciales de dos diferentes fabricantes cuya tecnología de producción y respuesta ante la presencia de volátiles es muy eficiente.

El material empleado para la construcción de la cámara es de acrílico transparente de 8 milímetros de espesor.

Las dimensiones son: Largo: 12 cm; Ancho: 6 cm; Alto: 5 cm.

La cámara de sensores posee dos orificios, uno como entrada y el otro como salida, los cuales permiten la circulación de un flujo de aire constante. Para sellar herméticamente la cámara, se emplean 2 amarres que ejercen presión sobre la cubierta y el cuerpo de la misma. Esta cubierta descansa sobre una junta de goma que asegura el cierre hermético. Para el funcionamiento de los sensores de gases se necesitan dos fuentes de voltaje de 5 y 10 VDC. La Figura 5 muestra la cámara de sensores.

Matriz de Sensores. Los sensores utilizados son de óxido de estaño de la casa Figaro y sensores FIS de las series SP y ST. La cámara se diseñó para ser fácilmente reconfigurable. Esta característica se traduce fundamentalmente en poder cambiar de forma sencilla los sensores que constituyen la matriz del SDOE, así como sus resistencias de carga. La tabla 1 especifica los sensores empleados en este trabajo.

Tabla 1. Características de los sensores de gases

NOMBRE	CONEXION DAQ	CATEGORIA	GAS DETECTADO	FABRICANTE	MODELO	CONSUMO DE POTENCIA (mW)
Sensor 1 (CH1)	AI0	Gases Inflamables	Metano	FIS	SP-12A	380
Sensor 2 (CH2)	AI4	Disolventes orgánicos	Propósito general	FIS	SP-31	315
Sensor 3 (CH3)	AI1	Gases combustibles	Propósito General, alta sensibilidad en propano, metano y butano.	FIGARO	TGS-813	835
Sensor 4 (CH4)	AI5	Gases inflamables	Metano	FIGARO	TGS-842	835
Sensor 5 (CH5)	AI2	Control de calidad de aire	Humo de cigarrillo	FIS	SP-AQ3	315
Sensor 6 (CH6)	AI6	Gases combustibles	Propósito General, alta sensibilidad en propano, metano y butano.	FIGARO	TGS-813	835
Sensor 7 (CH7)	AI3	Disolventes orgánicos	Propósito general	FIS	ST-31	315
Sensor 8 (CH8)	AI7	Control de calidad de aire	Aire contaminado, tabaco, gasolina, entre otros.	FIGARO	TGS-800	835

Donde: El nombre CHx es el canal donde está ubicado el sensor en la tarjeta de Adquisición de Datos y sus correspondientes conexiones AIX.

Sistema de adquisición de datos. Para la captura de las señales provenientes de los sensores de gases se utilizó una tarjeta de adquisición de datos (DAQ USB 6009 de *National Instruments*), la cual se encarga de todo el proceso de adquisición.

La tarjeta posee 8 canales de entrada análogos utilizados en este caso para la adquisición de las señales de los 8 sensores de gases. El proceso de adquisición se controla por medio del PC y un software desarrollado en Labview 8.2 de *National Instruments*. (*National Instruments, et al.*, 2007).

Sistema de Control. Como se indico anteriormente la tarjeta de control, esta basada en un microcontrolador P16F877A, que tiene las siguientes funciones:

- Controlar la LCD alfanumérica por medio de la cual se visualizan mensajes de cada proceso, para comprobar el buen funcionamiento del dispositivo.
- Ejerce control sobre la bomba de aire, esta se activa o desactiva de acuerdo al proceso que este en curso.
- Las electro-válvulas son gobernadas por el microcontrolador, para permitir el flujo o obstrucción del aire proveniente de la bomba, de acuerdo a la etapa del proceso que se este ejecutando.
- Los elementos calefactores (resistencias de potencia) de la cámara de concentración, también son gobernados por el microcontrolador, de acuerdo a la opción escogida por el usuario en la interfaz grafica.

Monitoreo y Almacenamiento de datos. La interfaz grafica desarrollada para el SDOE esta conformada básicamente por cuatro ventanas. La primera se inicia cuando se ejecuta la aplicación (Ver figura 6), en ella se realizan las configuraciones de los tiempos de cada proceso (concentración, medida, reposo), el valor de la resistencia de carga, el nombre y ubicación de los archivos que almacenarán los datos de medición; un botón de ayuda enlaza al manual de sistema mutisensorial, donde se pueden encontrar las especificaciones del manejo dispositivo, un selector de opciones para escoger el proceso que se desea ejecutar y un botón de parada.

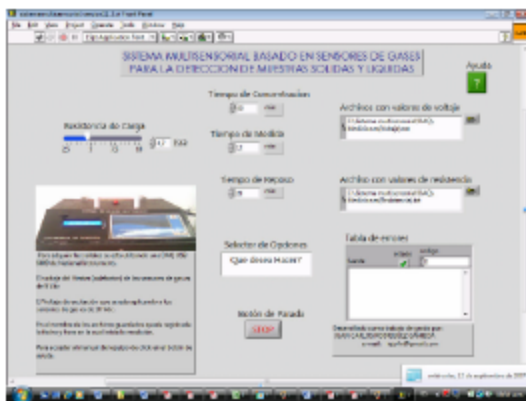


Fig. 6. Ventana inicial de la interfaz grafica

Otras ventanas corresponden a cada etapa del proceso (concentración, medida, reposo), y en ellas se puede visualizar un graficador con las señales capturadas por los sensores en tiempo real.

3. PRUEBAS Y RESULTADOS

A través de la implementación del software "Nose" se lograron obtener los siguientes resultados:

Una de las pruebas que se realizo con el SDOE, consistió en realizar medidas con frutas tales como: Maracuyas y Duraznos.

En total se realizaron 10 medidas, de las cuales 5 fueron de Maracuyas y otras 5 de Duraznos. Los tiempos empleados para la realización de cada medida fueron, 30 minutos para la concentración, 10 minutos para la etapa de medida y 10 minutos para la etapa de reposo, para un total de 50 minutos por cada proceso de medición.

Con base en los conjuntos de medidas realizadas en las cinco medidas de durazno y las cinco medidas de maracuyá, se procedió a realizar el procesamiento de conjunto de datos, obteniendo así una matriz de Datos Principal a partir de las 10 medidas. A continuación se nombran los métodos utilizados para el procesado de datos: PCA (Análisis de Componentes Principales), CA (Análisis de Cluster), y la Red Neuronal Perceptron Multicapa. (Pearce, *et al.*, 2003).

En los resultados obtenidos con el método PCA se puede observar claramente la diferencia entre los dos grupos de medidas, con los cuales se puede clasificar o discriminar entre los dos tipos de muestras, (Ver Figura 7).



Fig. 7. Procesamiento con PCA (Análisis de Componentes Principales)

Usando el método de Análisis de Cluster se puede observar muy claramente las agrupaciones entre los dos tipos de muestras. (Figura 8)

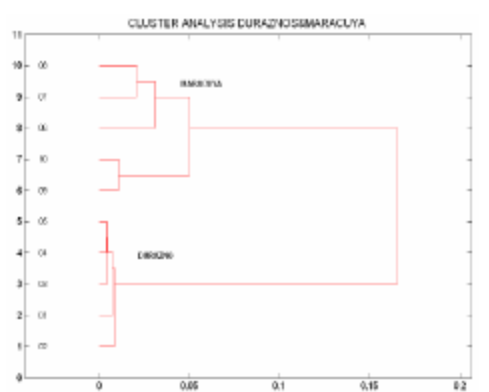


Fig. 8. Respuesta a través de CA (Análisis de Cluster)

A través de la red MLP se obtuvo un porcentaje de clasificación de 100 % de acierto y también se puede apreciar la diferencia entre los dos tipos de categorías (Ver la figura 9). Las líneas punteadas corresponden a la respuesta de la red y la línea sólida corresponde a los objetivos (targets).

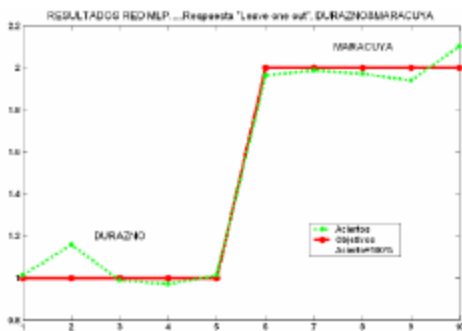


Fig. 9. Respuesta de clasificación con la Red Neuronal MLP

4. FUTURAS INVESTIGACIONES

Se planea darle continuidad al trabajo desarrollado en esta investigación con el ánimo de obtener más y mejores resultados, consolidar los conocimientos en esta importante área de la Electrónica y estar a la vanguardia en lo que avances tecnológicos e investigación se refiere.

Partiendo del hecho que todos los sistemas de olfato electrónico poseen una unidad de procesamiento, cuya función es extraer la huella olfativa de la muestra que se desea analizar y en la

actualidad esa unidad de procesamiento en la mayoría de los sistemas de olfato electrónico existentes (incluyendo el que hay en la Universidad de Pamplona), se basa en software especializado con algoritmos sofisticados que se ejecuta en un computador, lo cual hace a estos sistemas poco portables y con tiempos de respuesta por debajo de los esperados.

Se espera crear una solución a este problema utilizando un procesador digital de señales (DSP por sus siglas en inglés), cuyas características más notables son: su reducido tamaño y mayor velocidad de procesamiento, comparado con un computador convencional, lo cual lo hace bastante atractivo y una buena alternativa para este tipo de aplicaciones.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se diseñó e implementó un dispositivo, basado en sensores de gases químicos y cuya finalidad es la obtención de un Sistema de Olfato Electrónico. Este hardware recibe las señales provenientes de los sensores de gases y los envía a un equipo de procesamiento (PC) haciendo uso de un elemento de adquisición de señales (DAQ USB6009). De acuerdo al tiempo programado previamente para la medición de las señales de los sensores se realiza un número de muestras que debe ser almacenado en un archivo plano.

De acuerdo a las mediciones realizadas con el sistema multisensorial se demostró la repetitividad de varias medidas con dos tipos de muestra (Frutas), además con la ayuda de un software que emplea diferentes técnicas de procesamiento, se pudo realizar clasificaciones de 100% de Acierto con muestras de durazno y maracuyá.

Aunque las pruebas se hicieron con solo dos tipos de muestras, es necesario realizar para un futuro trabajo, un amplio conjunto de medidas de varias categorías.

El sistema multisensorial es una herramienta útil para el desarrollo de proyectos en áreas en las cuales se puedan implementar sistemas de olfato electrónico, por ejemplo, control de calidad de alimentos, sistemas de seguridad en donde se requiere control de gases, en laboratorio de química para análisis de componentes volátiles, entre otros.

REFERENCIAS

- Dancur Reyes, José Carlos. (2007). *Diseño E Implementación De Una Interfaz De Reconocimiento De Patrones Para Aplicaciones Multisensoriales*. Universidad de Pamplona. Software. Colombia
- Durán, Cristhian M. (2005). *Diseño y optimización de los subsistemas de un sistema de olfato electrónico para aplicaciones agroalimentarias e Industriales*. Ed. Universitat Politècnica de Catalunya, Capitulo I, Pág. 3-10. España.
- Grupo E – Nose. (1999). *¿Qué es una nariz electrónica?*. Ed. Grupo E – Nose, Pág. 1. Argentina.
- J. P. Santos, J. Lozano, H. Vásquez, J. A. Agapito, M.A. Martín, J. González. (2000). *Clasificación e identificación de vinos mediante un sistema de sensores de estado sólido*. Ed. Universidad Complutense de Madrid, Pág. 1,2. España.
- J. W. Gardner and P. Bartlett. (1994). *A brief history of electronic noses*. Univ. Warwick. Pág. 211-220. España.
- Llecha, Jesus Brezmes. (2001). *Diseño de una nariz electrónica para la determinación no destructiva del grado de maduración de la fruta*. Universitat Politècnica de Catalunya, Capítulo III, Pág. 35 – 43. España
- National Instruments. (2007). *Que es la adquisición de datos*. National Instruments, Pág. 1. Estados Unidos
- Pearce, T.C, Schiffman. S.S, Nagle. H.T, Gardner.J.W. (2003). *Handbook of machine olfaction”, electronic nose technology*. John Wiley & Sons, Pág. 133 - 149. Alemania.
- W. F. Wilkens, A.D. Hatman. (1964). *An electronic analog for the olfactory processes*. Journal of Food Science, Pág. 3-4. Estados Unidos.