

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA

EN INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS AVANZADAS

U P I I T A

**“SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN DE PERROS
POR MEDIO DE UNA NARIZ ELECTRÓNICA”**

Trabajo Terminal

Que para obtener el Título de

“Ingeniero en Biónica”

Presentan:

Acosta Arenas Ana Rosa

Mendoza Franco Gloria Adriana

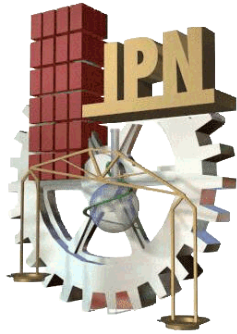
Asesores

Dra. Blanca Tovar Corona

Ing. Carlos Ríos Ramírez



México D.F. Junio del 2011



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA
EN INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS AVANZADAS
U P I I T A

Trabajo Terminal

“SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN DE PERROS POR MEDIO DE UNA NARIZ ELECTRÓNICA”

Que para obtener el Título de

“Ingeniero en Biónica”

Presentan:

Acosta Arenas Ana Rosa

Mendoza Franco Gloria Adriana

Asesores

Dra. Blanca Tovar Corona

Ing. Carlos Ríos Ramírez

Presidente del Jurado

Profesor Titular

M. en C. Ricardo Roberto Horta Olivares

Ing. Enrique Arturo García Tovar



México D.F. Junio del 2011

Agradezco,

A Dios en primer lugar por ser mi fortaleza y mi sostén a lo largo de la carrera.

A mis padres agradezco todo su esfuerzo, amor y sus oraciones que permitieron que este trabajo llegara a su fin, siempre están presentes en mi corazón.

Agradezco a mis hermanas Nohemi y Eli por el apoyo que me brindaron siempre, son una parte muy importante de mi vida.

A mis amigos Mario, Centli, Luis, Fernando, Damián, Celina, Nadia, Lucero, Julio, Itzel y Emmanuel, por su amistad y por haber compartido momentos muy especiales, que hicieron de mi vida profesional una experiencia muy agradable.

Agradezco haber conocido a mi amiga y compañera de equipo Gloria, fue un verdadero honor trabajar con ella, además de su profesionalidad y dedicación encontré en ella una amistad incondicional.

A mis asesores la Dra. Blanca Tovar Corona e Ing. Carlos Ríos Ramírez quiero agradecerles su apoyo, paciencia y sobre todo por compartir sus conocimientos y experiencias tanto a nivel profesional como personal.

Agradezco la colaboración de las personas que nos prestaron las mascotas y de todos aquellos que, de alguna manera me ayudaron a que este proyecto se hiciera realidad.

La vida es como una obra de teatro, solo hasta que se cierre el telón sabrás que lo hiciste bien cuando llegue o no el aplauso.

Ana Rosa Acosta Arenas

Doy las gracias a todas las personas que nos brindaron su apoyo durante la realización de este Trabajo Terminal y que creyeron en nuestro esfuerzo y preparación.

Agradezco a mis padres su amor y comprensión a lo largo de este año de trabajo, porque sin su apoyo incondicional tal vez la meta no hubiera sido alcanzada. Gracias también a mis hermanos Josefina, Jesús y Hortensia, por su tolerancia y paciencia. Gracias al amor y solidaridad de mi familia es que pude terminar con excelentes resultados mi carrera profesional.

Doy también las gracias a Vladimir Escamilla Domínguez, por brindarme su ayuda incondicional, por escuchar todas mis ideas y por estar siempre dispuesto a auxiliarme con un buen consejo. Gracias por tu cariño y por estar siempre al pendiente de mí.

También quiero dar las gracias a nuestros asesores, la Dra. Blanca Tovar y el Ing. Carlos Ríos, por sus consejos y su orientación, por apoyarnos en todas las etapas del proyecto, por sus enseñanzas y su ayuda desinteresada.

Gracias a todos los compañeros y amigos que compartieron con nosotras este camino. Día a día al trabajar en el laboratorio, encontramos personas dispuestas a brindarnos su sostén, ayuda, ideas y sobretodo su amistad, espero haber correspondido de la mejor manera.

Gracias también a todas las personas que nos permitieron trabajar con sus mascotas, y que confiaron en nuestro trabajo y en nuestro sentido de responsabilidad. Especialmente agradezco el apoyo brindado por Adrián Cruz en el proceso de importación de los sensores utilizados en este trabajo, ya que sin su ayuda completamente desinteresada no hubiera sido posible terminar el proyecto en condiciones tan favorables.

Finalmente, y no por eso menos importante, agradezco la paciencia y dedicación de Ana Rosa Acosta Arenas. Fue un privilegio compartir contigo tantas angustias y satisfacciones, admiro tu talento y capacidad, y estoy segura de que tu vida estará llena de éxitos.

Me considero muy afortunada por estar rodeada de tantas personas que me quieren y creen en mí. Por lo mismo, dedico a todos ustedes este trabajo, del cual, cada uno forma parte.

Gloria Adriana Mendoza Franco

Contenido

Índice de Figuras y Tablas.....	VI
Abstract.....	VII
Resumen	VII
Objetivos.....	VIII
Objetivo General.....	VIII
Objetivos Particulares del Trabajo Terminal	VIII
CAPÍTULO 1. Introducción	1
CAPÍTULO 2. Marco Teórico	3
2.1 Definición de Nariz electrónica.....	3
2.2 Sistema olfativo humano.....	4
2.3 Sensores de gas.....	5
2.4 Propiedades de los gases.....	6
2.5 Flujo laminar y número de Reynolds	7
2.6 El olor como factor de identificación.....	8
CAPÍTULO 3. Antecedentes	9
3.1 Primeros trabajos con narices electrónicas	9
3.2 Estado del Arte	10
CAPÍTULO 4. Planteamiento del problema	11
4.1 Definición del problema	11
4.2 Solución Propuesta	11
4.2.1 Sistema de extracción de olores.....	12
4.2.2 Cámara de medida	12
4.2.3 Circuitos de polarización y medida	12
4.2.4 Sistema de conversión A/D.....	12
4.2.5 Procesamiento de las señales e identificación	12
CAPÍTULO 5. Desarrollo de la propuesta	14
5.1 Sistema de extracción de olores	14
5.1.1 Selección de materiales	14
5.1.2 Diseño del sistema de extracción	14
5.2 Cámara de medida.....	16
5.2.1 Contenedor de olores	16

5.2.2 Matriz de sensores.....	17
5.2.3 Tecnologías de los sensores de gas.....	18
5.2.4. Circuitos de instrumentación.....	20
5.2.5 Fuente de Alimentación.....	21
5.3 Adquisición y envío de datos a la computadora	23
5.4 Pre-procesamiento y procesamiento de las señales	25
5.4.1 Extracción de información	25
5.4.2 Preprocesamiento de la señal y filtrado.....	25
5.4.3 Procesamiento.....	27
5.4.4 Calibración sustancias buffer alcohol y thinner.....	35
5.5 Metodología Experimental.....	35
CAPÍTULO 6. Validación del sistema	38
CAPÍTULO 7. Resultados	40
7.1 Pruebas realizadas con el extractor de aromas	40
7.2 Pruebas realizadas con el contenedor A.....	40
7.3 Pruebas realizadas con el contenedor B.....	43
CAPÍTULO 8. Conclusiones	45
CAPÍTULO 9. Discusiones.....	46
Bibliografía	47
Anexo 1. Modelos comerciales de sensores de gas.....	50
Anexo 2. Ventilador del sistema de extracción de olores	52
Anexo 3. Tapa del sistema de extracción de olores	53
Anexo 4. Camisa del sistema de extracción de olores	54
Anexo 5. Cople motor - ventilador.....	55
Anexo 6. Contenedor de olores.....	56
Anexo 7. Respuestas en Resistencia de los sensores de gas	57
Anexo 8. Diseño de Circuitos impresos	59

Índice de Figuras y Tablas

	Página
Figura 1. Sistema Olfatorio Humano.	5
Figura 2. Sensibilidades solapadas de los sensores que forman una nariz electrónica.	6
Figura 3. Diagrama de bloques de una nariz electrónica	13
Figura 4. Contenedor de aromas A	16
Figura 5 Contenedor de aromas B.	17
Figura 6. Encapsulado de cinco pines de los sensores tipo SP.....	19
Figura 7. Encapsulado de tres pines de los sensores tipo SP.....	19
Figura 8. Encapsulado del sensor SB	19
Figura 9. Circuito de medida de los sensores de tecnología tipo SB.....	21
Figura 10. Encapsulado de cinco pines para los sensores tipo SP.....	21
Figura 11. Encapsulado de tres pines para los sensores tipo SP.....	21
Figura 12. Fuente variable de 0V a 30V	22
Figura 13. Comparador de ventana para asegurar una alimentación entre 0.9V y 1V	22
Figura 14. Diagrama eléctrico de la fuente de alimentación.....	23
Figura 15. Diagrama de bloques del programa en LabView	24
Figura 16. a) Señal antes de preprocesar b) Señal ya preprocesada.....	26
Figura 17. Función de activación de la red neuronal	30
Figura 18. Configuración de la red neuronal.....	31
Figura 19. Matriz de distancias	33
Figura 20. Matriz de costos acumulados en escala de grises.....	34
Figura 21. Respuesta de los diferentes sensores de la matriz a alcohol y thinner	36
Tabla 1. Modelos de los sensores de gas	18
Tabla 2. Requerimientos de corriente.....	23
Tabla 3. Tabla comparativa de los resultados obtenidos al reconocer sustancias aromáticas.	39
Tabla 4. Pruebas realizadas en el contenedor A	40
Tabla 5. Estudio de las muestras por día en el contenedor A.....	41
Tabla 6 Estudio de muestras por día en contenedor A para diferentes categorías.....	42
Tabla 7. Pruebas realizadas en el contenedor B.	43
Tabla 8. Tabla comparativa de objetivos planteados y logrados.	44

SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN DE PERROS POR MEDIO DE UNA NARIZ ELECTRÓNICA.

Abstract

Key words: Electronic nose, array of gas sensors, neural networks, pattern recognition.

In this terminal work, a viability study has been carried out to see whether an electronic nose could be used as an instrument to identify the members of a group of dogs in a non-invasive manner. Electronic noses are systems based on an array of gas sensors with overlapped sensitivities. The signal processing algorithms embedded into these instruments are based on neural networks with the pattern recognition and they play a very important role since they process the information generated at the sensor array to obtain the desired output.

Resumen

En el presente trabajo se describe un diseño original de nariz electrónica para verificar la posibilidad de identificar a los miembros de un grupo de canes, utilizando como factor discriminante el olor propio de cada perro. Para tal fin, se detallan esquemas de circuitos electrónicos, cálculos y dibujos que en conjunto representan la nariz electrónica que contiene una matriz de sensores químicos. El sistema que se propone presenta la ventaja de ser completamente no invasivo, a diferencia de los sistemas de identificación actuales como son tatuajes, aretes y microchips. Dentro de las aplicaciones de este sistema se encuentran: la identificación de mascotas, control de la población de ganado y dentro de una reserva ecológica.

Objetivos

Objetivo General

Determinar los factores discriminantes de la huella aromática de los miembros de un grupo de canes para la identificación de ellos a través de un sistema olfativo artificial.

Objetivos Particulares del Trabajo Terminal

Construir una matriz de sensores de gas que imite el sistema sensorial propio de una nariz humana, que brinda información para clasificar el olor sin necesidad de conocer exactamente la concentración de sus componentes.

- Diseñar un sistema de extracción del aroma del canino a identificar.
- Construir una cámara de medida donde la matriz de sensores tendrá contacto con el aroma extraído.
- Diseñar y construir los circuitos electrónicos para la obtención de las señales dadas por la matriz de sensores y el acondicionamiento de las mismas.
- Implementar un sistema de envío de datos a la computadora.
- Diseñar e implementar un método de procesamiento digital de las señales adquiridas por la computadora.
- Diseño e implementación de un sistema de reconocimiento de patrones basado en redes neuronales que permita la identificación del canino.

Introducción

Se han aplicado numerosas técnicas de reconocimiento a mascotas y ganado. La identificación de mascotas tiene valor desde dos puntos de vista diferentes: las expectativas del propietario y el valor para las autoridades sanitarias.

Algunos de los motivos por los cuales el dueño desea identificar a sus animales son: la propiedad legal o titularidad sobre el animal, recuperación de animales perdidos, robados, abandonados etc. y registros genealógicos (papeles o pedigree) más certeros, ya que proporcionan a cada animal una identificación inviolable.

Los requisitos de un sistema de identificación canina, comprenden las siguientes características [1]:

- **PRECISO:** Que una vez realizado no quede duda de la identidad del animal.
- **INVIOLABLE:** Que después de su aplicación no pueda ser modificado.
- **DURADERO:** Para toda la vida del animal.
- **INOCUO:** No dañino para el animal.
- **NO TRAUMÁTICO:** Que no ocasione ningún traumatismo al momento de su aplicación.

A principios de los años ochenta empezó a utilizarse el tatuaje como medio de identificación, pero no prosperó ya que no cumplía con los objetivos antes descritos. Actualmente los métodos de identificación de perros hacen uso de: características externas que son poco precisas y subjetivas, tatuajes que provocan traumatismos en la mascota y los microchips, que hasta ahora son la opción más viable, ya que una vez colocado el microchip, es imposible violar el código, es para toda la vida del animal, y es muy poco traumático ya que la colocación es similar a la de una vacuna. Este sistema permite registrar datos del animal y del propietario. Éstos se cargan a una base de datos, la cual se comunica con otras de diferentes lugares.

En la actualidad muchos países de Europa y América están formando registros de animales de compañía con el fin de tener distintos tipos de controles sobre estas poblaciones y sus propietarios [1]. En México existe el sistema *locacan* donde los propietarios registran el

microchip de sus mascotas, además de obtener ayuda en caso de robo o extravío de las mismas.

Existen sistemas comerciales de narices electrónicas de varias empresas que van desde el control de calidad de alimentos y bebidas hasta diagnóstico médico, control ambiental, seguridad y uso militar.

El sistema que se propone presenta la ventaja de ser completamente no invasivo, a diferencia de los sistemas de identificación actuales como son tatuajes, aretes y microchips, además que podría representar en un futuro una alternativa no invasiva e inocua en reservas ecológicas, control de ganado e identificación de mascotas. En comparación con los sistemas actualmente implementados como *locacan*, la ventaja de éste además de ser no invasivo, se vería reflejada en el costo total, ya que no se requeriría comprar un dispositivo por mascota; el dueño sólo cubriría el gasto por el registro de su mascota en la base de datos.

Este reporte está organizado de la siguiente manera: en el capítulo 2 de este trabajo se define el concepto de nariz electrónica así como la analogía entre el sistema olfativo humano y los diseñados artificialmente. El capítulo 3 está enfocado a dar una reseña sobre los primeros trabajos de aplicaciones de la nariz electrónica así como el estado del arte. En el capítulo 4 se define el problema a resolver en este trabajo terminal así como una posible solución basada en los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, se identifican las etapas del desarrollo del prototipo. En el capítulo 5 se plantean los circuitos y diseños que servirán para resolver el problema técnico, en el capítulo 6 se presenta la validación del sistema y en el capítulo 7 se presentan los resultados. Finalmente en el capítulo 8 se analizan los resultados para llegar a las conclusiones y en el capítulo 9 se discuten las conclusiones y se sugiere trabajo a futuro.

Marco Teórico

En este capítulo se define una nariz electrónica como un sistema inteligente capaz de analizar olores simples y complejos. También se describe, de forma general, el funcionamiento del sistema olfatorio humano en el que está inspirada una nariz electrónica. Posteriormente se detallan las tecnologías existentes así como el principio de funcionamiento de los distintos tipos de sensores de gas disponibles en el mercado. Al tratarse de moléculas aromáticas gaseosas las que serán analizadas por el sistema, se resaltan algunas propiedades de los gases y las características del flujo laminar para el sistema de extracción. Finalmente se describen los factores que permiten que el olor propio de cada individuo sea único, característica que será explotada para la realización de este trabajo.

2.1 Definición de Nariz electrónica

Una nariz electrónica es un sistema olfativo artificial, es decir, un instrumento diseñado para el análisis de aromas complejos. El concepto de nariz electrónica como sistema inteligente apareció en 1982 y la define como: “Instrumento que comprende una agrupación de sensores químicos con sensibilidades parcialmente solapadas junto a un sistema de reconocimiento de patrones, capaz de analizar y reconocer olores simples y compuestos.”[2].

Este dispositivo está inspirado en el sistema olfativo humano, y comprende un conjunto de sensores químicos, específicamente sensores de gas, que responden cada uno de una forma distinta a diferentes tipos de gas. Cuando el conjunto de sensores es expuesto a una muestra aromática se obtiene un patrón de concentraciones, al cual se le conoce como “huella aromática”. Después es necesario realizar un reconocimiento de patrones para clasificar o identificar dicha huella, tal cual lo hace el cerebro humano.

La nariz electrónica procesa el aroma de forma global, igual que el sistema olfativo humano, logrando clasificar alimentos, animales o compuestos olorosos por su similitud aromática sin determinar la composición química de este. Por lo que su objetivo es relacionar el aroma que se percibe con una respuesta, que tras ser almacenada en una memoria, servirá como patrón de comparación. [3]

2.2 Sistema olfativo humano.

El sentido del olfato funciona por medio de un mecanismo químico; es decir, las sensaciones provenientes de la interacción de moléculas aromáticas con los receptores olfatorios y gustativos. Los impulsos nerviosos generados por estos receptores se propagan al sistema límbico (y también a centros corticales superiores) y es por ello que ciertos olores pueden despertar emociones o evocar recuerdos.

La nariz comprende entre 10 y 100 millones de receptores especializados en el olfato u olfacción. El epitelio olfatorio tiene un área total de 5 cm². Ocupa la parte superior de las fosas nasales, cubre la superficie interior de la lámina cribosa y se extiende por el cornete nasal superior y la parte superior del cornete nasal medio. El epitelio olfatorio consta de tres tipos de células: receptores olfatorios, sustentaculares y células madre basales [4].

Los sitios de transducción de los receptores olfatorios son los cilios olfatorios que cuando perciben el estímulo químico de una molécula aromática producen un potencial generado, con lo que se inicia la respuesta. Desde la base de cada uno de estos receptores, se extiende un solo axón por la lámina cribosa hacia el bulbo olfatorio [4].

Se han realizado muchos intentos para distinguir y clasificar las sensaciones olfatorias “primarias”. En la actualidad hay datos genéticos que indican la existencia de cientos de esencias primarias. La capacidad del ser humano para reconocer casi unos 10,000 aromas distintos depende de la actividad encefálica que provoca la activación de muchas combinaciones diferentes de receptores olfativos.

Los receptores olfativos reaccionan a moléculas aromáticas del mismo modo en que lo hacen muchos otros receptores sensoriales al percibir sus estímulos específicos. Se activa un potencial generador (despolarización) que desencadena uno o más impulsos nerviosos. Dichos impulsos nerviosos son enviados al sistema nervioso para ser interpretados. En la figura 1 se observa el sistema olfatorio humano [4].

El sistema olfatorio de un canino es muy distinto al del humano, ya que posee una sensibilidad hasta 40 veces mayor. Una sensibilidad tan desarrollada no es su única cualidad, también cuenta con la particularidad de un órgano vomeronasal situado detrás de la mucosa olfativa que se conecta con la boca del animal. Se piensa que entre más grande es el perro y más largo es su hocico, más aguda es su capacidad olfativa [5].

El diseño de una nariz electrónica está inspirado en el sistema olfativo humano ya que éste es más simple que el canino y la tecnología existente al día de hoy no permite desarrollar un sistema olfativo artificial tan complejo. En este estudio se evalúa la viabilidad de utilizar una nariz electrónica como medio de identificación de perros, considerando que un sistema olfativo real sólo puede ser simulado en su forma más simple por su análogo electrónico.

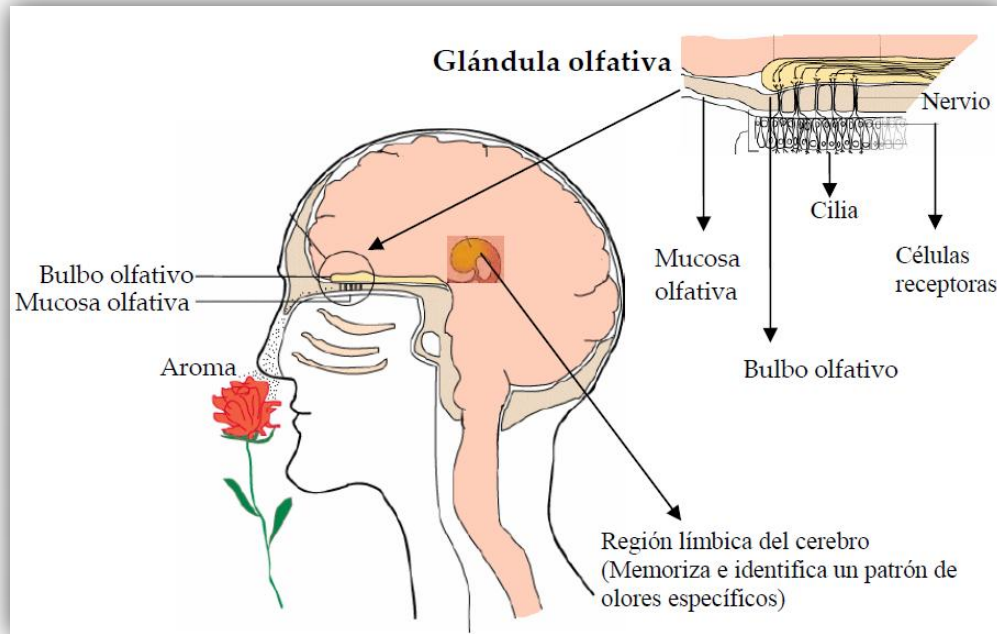


Figura 1. Sistema Olfatorio Humano. Tomada de [4].

2.3 Sensores de gas

Los principios de funcionamiento de la mayor parte de los sensores de gas disponibles en el mercado pueden agruparse de la siguiente forma:

- De propiedades eléctricas (corriente, capacidad, resistencia y tensión)
- De cambio en la masa (piezoeléctricos)
- De generación de calor
- De cambios en sus propiedades ópticas (absorción, fluorescencia y reflectividad)

Los sensores más utilizados son los de semiconductor, de óxido de estaño. La preferencia por estos sensores es debido a que presentan una alta sensibilidad, pueden ser integrados a un sistema portátil y su fabricación es de bajo costo. Estos sensores basan su funcionamiento en la variación de la resistencia que presenta su capa activa en presencia de diferentes compuestos volátiles [6].

Cuando el sensor se calienta a más de 400°C, las moléculas gaseosas son adsorbidas por la superficie de dióxido de estaño modificando la barrera de potencial en las fronteras granulares. De esta forma se dificulta o facilita el paso de los electrones, es decir, se modifica la resistencia del sensor [6].

En determinados rangos de concentración, la relación entre la resistencia del sensor y la concentración del gas puede ser descrita mediante la ecuación (2.1):

$$R = A \cdot [C]^{-\alpha} \quad (2.1)$$

Donde, R es la resistencia eléctrica del sensor, A y α son constantes características de cada sensor y $[C]$ la concentración del gas.

Instrumentando adecuadamente el sensor se obtiene una respuesta eléctrica de salida proporcional a la concentración del gas analizado.

Muchos de los sensores químicos son inespecíficos, es decir, que proporcionan una respuesta igual ante compuestos químicos distintos. En consecuencia, un único sensor de gas no constituye una nariz electrónica, ya que no es capaz de diferenciar ni clasificar olores. Por lo que, para el análisis de aromas se utiliza un conjunto o matriz de este tipo de sensores, con selectividades diferentes. A una matriz de sensores de gas se le conoce como de sensibilidades solapadas, ya que cada sensor responde a un amplio espectro de gases a los que también responde en mayor o menor medida el resto de sensores [7]. En la figura 2 se muestra el espectro de respuesta de este tipo de sensores.

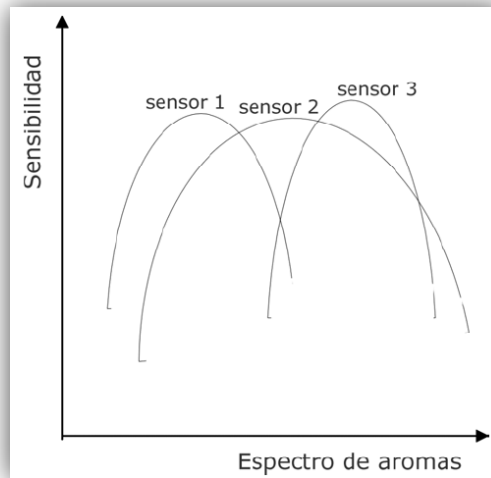


Figura 2. Sensibilidades solapadas de los sensores que forman una nariz electrónica. Tomada de [6].

En la actualidad existen sensores de gas comerciales sensibles a cerca de 25 gases diferentes. En el anexo 1 se muestran los sensores disponibles en el mercado de las marcas Fis y Figaro.

2.4 Propiedades de los gases

Los fluidos pueden ser gases o líquidos. Están sujetos a variaciones grandes de presión en función del sistema en que se utilizan. Con frecuencia se almacenan gases como el oxígeno, nitrógeno y helio en cilindros muy resistentes a presión alta, para permitir que haya una cantidad grande en un volumen relativamente pequeño. Si se mantiene un gas a presión en un recipiente cerrado, tiende a expandirse y llenarlo por completo. Si el contenedor se abriera, el gas tendería a expandirse y aún más a escapar de él. Las propiedades de los gases se detallan a continuación.

- Se adaptan a la forma y el volumen del recipiente que los contiene. Un gas, al cambiar de recipiente, se expande o se comprime, de manera que ocupa todo el volumen y toma la forma del nuevo recipiente.
- Se dejan comprimir fácilmente. Al existir espacios intermoleculares, las moléculas se pueden acercar unas a otras reduciendo su volumen, cuando aplicamos una presión.
- Se difunden fácilmente. Al no existir fuerza de atracción intermolecular entre sus partículas, los gases se esparcen en forma espontánea.
- Se dilatan, la energía cinética promedio de sus moléculas es directamente proporcional a la temperatura aplicada.

Además los gases se ven afectados por variables como presión, temperatura, densidad, volumen y número de moles [8].

La cantidad de fluido que pasa por un sistema por unidad de tiempo puede expresarse por medio de tres términos distintos:

- Q . El flujo volumétrico, es el volumen del fluido que circula en una sección por unidad de tiempo.
- W . El flujo en peso, es el peso del fluido que circula en una sección por unidad de tiempo.
- M . El flujo másico es la masa del fluido que circula en una sección por unidad de tiempo.

El flujo volumétrico Q es el más importante de los tres y se calcula con la ecuación 2.2.

$$Q = Av \quad (2.2)$$

Donde A , es el área de la sección y v es la velocidad promedio del flujo. Al consultar el SI, obtenemos las unidades de Q del modo siguiente [8]:

$$Q = Av = m^2 \times \frac{m}{s} = \frac{m^3}{s} \quad (2.3)$$

2.5 Flujo laminar y número de Reynolds

Cuando existe un flujo que parece estable, donde la corriente tiene un diámetro casi uniforme se dice que es un flujo laminar. Se le llama así porque el fluido parece moverse en láminas continuas con poca o ninguna mezcla de una capa con las adyacentes. Por el contrario, cuando los elementos del fluido parecen mezclarse de forma caótica dentro de la corriente se dice que el flujo es turbulento [8].

Tener un flujo laminar permite que la composición del fluido permanezca igual a lo largo de su trayectoria.

Se demuestra en forma experimental y se verifica de modo analítico, que el carácter del flujo en un tubo depende de cuatro variables: la densidad del fluido ρ , su viscosidad η , el diámetro del tubo D y la velocidad promedio del flujo v . Osborne Reynolds fue el primero en demostrar que es posible pronosticar el flujo laminar o turbulento si se conoce la magnitud de un número adimensional, al que se le denomina número de Reynolds (Re). El número de Reynolds se define por la siguiente ecuación [8]:

$$Re = \frac{vD\rho}{\eta} \quad (2.4)$$

Para aplicaciones prácticas, si el número de Reynolds es menor a 2000 se trata de un flujo laminar, mientras que si es superior a 4000 el flujo es turbulento. Para flujos cuyo Re está entre 2000 y 4000, no se puede predecir su comportamiento, por lo que se le denomina región crítica [8].

2.6 El olor como factor de identificación

Cada mamífero posee un olor característico único que está estrechamente relacionado con su sistema inmunológico. El olor en los animales es provocado por las bacterias que viven en su piel y pelo. Por lo que el tipo y cantidad de bacterias presentes serán determinantes en cuanto a la naturaleza del olor de dicho animal.

El olor propio que cada animal despiden se programa genéticamente. No obstante que los agrupamientos raciales le brindan al individuo un olor y rasgos de olfacción comunes, el olor propio del cuerpo es tan singular y único como lo son las huellas dactilares. Incluso gemelos idénticos, que presumiblemente tienen las mismas características genéticas, pueden distinguirse por el olor que despiden. La diferencia se debe a la química corporal, síntesis bacteriana de ácidos grasos, dieta y hábitos [9].

Antecedentes

En este capítulo se hace un breve recorrido por la historia de las narices electrónicas que abarca prácticamente un siglo y muestra la evolución de las técnicas detectoras de olores, desde las primeras teorías que en su momento no pudieron llevarse al plano físico hasta los últimos trabajos que han logrado resultados importantes.

3.1 Primeros trabajos con narices electrónicas

En 1920 se postularon las primeras teorías sobre la posibilidad de detectar olores midiendo la carga eléctrica de una difusión de agua que contuviera la sustancia olorosa correspondiente, pero no se pudo llegar a fabricar ningún dispositivo basado en ese principio.

El primer instrumento experimental que puede considerarse como “olfato electrónico” data de mediados de los años cincuenta, y consistía en un sensor electroquímico basado en un electrodo metálico en contacto con la superficie de una barra porosa saturada con un electrolito diluido. El principio en el que se basaba era el de un sensor de gases amperométrico y electroquímico. Aproximadamente en la misma época otros investigadores desarrollaron dispositivos similares basados en el uso de termistores recubiertos con distintos materiales.

A mediados de los años sesenta se propusieron detectores basados en la modulación de la conductividad o del potencial de contacto. Los primeros trabajos en el desarrollo de esta instrumentación son los trabajos de Montcrief de 1964, quien desarrolló una nariz mecánica. Las primeras narices electrónicas son de Wilkens y Hatman en 1964 (reacciones redox de olorantes-electrodo) [10].

Sin embargo, el concepto de nariz electrónica, como un sistema inteligente basado en un conjunto de sensores químicos para clasificación de olores no apareció sino hasta los años 80, en los que los desarrollos simultáneos de sensores electrónicos y técnicas computacionales hicieron posible su existencia [11].

3.2 Estado del Arte

Las narices electrónicas son utilizadas actualmente en una gran variedad de aplicaciones de determinación de olores y compuestos volátiles. Por ejemplo, en procesos de la industria alimenticia y control de calidad, diagnóstico médico, monitoreo del medio ambiente, control de procesos industriales, desarrollo de fragancias y cosméticos, seguridad y toxicología, detección de narcóticos, sistemas de acondicionamiento de aire, etc. [12]. Las aplicaciones comerciales más comunes son en procesos de la industria alimentaria.

En el 2004, Nidal F. Shilbayeh y Mahmoud Z. Iskandarani [13] abordaron el problema de clasificar diferentes tipos de café utilizando una red de retro-propagación y un algoritmo de clasificación inteligente, y para el 2007 N. Paulsson y colaboradores implementaron una nariz electrónica para la detección y evaluación de medidas de alcohol en la respiración (prueba de alcoholemia), realizando una extracción y selección de parámetros a través de métodos clásicos como el “forward selection” combinado con redes neuronales artificiales para predecir las concentraciones de etanol [14].

En el año 2009, investigadores de la universidad de Yale realizaron una nariz electrónica que permite la detección de vapores producidos a partir de un método de ionización de los ácidos grasos de la piel humana [15].

Algunos trabajos de investigación, como el realizado en la universidad de Yale [15], sobre el olor propio de las personas y animales, han demostrado que el olor es una característica biométrica única. Es decir, que un individuo puede ser identificado por su aroma propio. En efecto, se considera que es de esta forma como los perros identifican a sus amos y a otros canes.

Finalmente, desde el año 2007, en España se trabaja en el desarrollo de una nariz electrónica capaz de identificar personas a través de su olor, este proyecto denominado Neblí, no ha sido terminado [16].

Planteamiento del Problema

En este capítulo se define y acota el problema que se desea resolver a lo largo del trabajo. Se propone una solución y se describen cada una de las etapas que deberán ser estudiadas y desarrolladas. Al final se muestra un diagrama de bloques que resume la configuración del sistema completo.

4.1 Definición del problema

El fin de este trabajo terminal es encontrar los factores discriminantes que permitan la identificación de los miembros de un grupo de canes por medio de su olor característico. Para lo cual se requiere diseñar y construir una nariz electrónica que haga la función de sistema olfativo artificial. Dicho dispositivo será implementado utilizando sensores de gas disponibles de forma comercial.

4.2 Solución Propuesta

Una nariz electrónica típica es un sistema que consiste en varios componentes funcionales que operan en serie sobre una muestra olorosa. Dichos componentes son [17]:

- Un sistema de extracción de olores.
- Una cámara de medida en la que se encuentra un arreglo de sensores químicos.
- Un sistema electrónico que procesa la salida de los sensores químicos, y que además acondiciona sus características según sea necesario.
- Un sistema de conversión A/D.
- Un sistema de que lleve a cabo los procesos de detección y discriminación de la señal.
- Un sistema de visualización de los resultados.

4.2.1 Sistema de extracción de olores

Esta parte de la nariz electrónica permite concentrar la muestra de gases que producen un olor en particular. En el sistema olfativo humano, es la acción de inhalar la que provoca que las sustancias que constituyen un aroma entren al sistema sensitivo. Para lograr concentrar el aroma en un contenedor, se puede introducir la sustancia a oler (café, vino, fruta) y esperar a que su aroma se encuentre esparcido en el contenedor. En el caso del olor canino se utilizará un paño impregnado con el aroma del perro, un sistema de extracción de aromas y un contenedor donde se alberga al perro.

4.2.2 Cámara de medida

Se trata de un contenedor en el que se encuentra el arreglo de sensores para que estén en contacto con los gases a evaluar [2].

4.2.3 Circuitos de polarización y medida

Se trata de los circuitos de instrumentación de los sensores así como de acondicionamiento de las señales obtenidas por la matriz de sensores.

4.2.4 Sistema de conversión A/D

La etapa de detección y discriminación es realizada por dispositivos digitales, ya sean microcontroladores o por la computadora. Es necesario entonces llevar a cabo una conversión analógico-digital que adecúe las señales obtenidas de los sensores para su procesamiento de forma digital. Para realizar esta etapa se utilizan convertidores A/D, microcontroladores que cuentan con canales de conversión A/D o tarjetas de adquisición que realizan esta función.

En el sistema que se propone se utilizará una tarjeta de adquisición de datos fabricada por National Instruments.

4.2.5 Procesamiento de las señales e identificación

Para el procesamiento de la señal, lo más usual es utilizar técnicas de reconocimiento de patrones, ya que se trata de comparar huellas olfativas y no de caracterizar olores. Existen varias técnicas para el reconocimiento de patrones, entre las que destacan los métodos estadísticos complejos, comparación de momentos estadísticos y redes neuronales.

Para el análisis y reconocimiento del patrón de la huella olfativa se diseñará e implementará un programa en Matlab que, utilizando redes neuronales, permita hacer la identificación del can.

En el diagrama de la figura 3 se representa el sistema de nariz electrónica propuesto, donde se muestran las partes que se han mencionado.

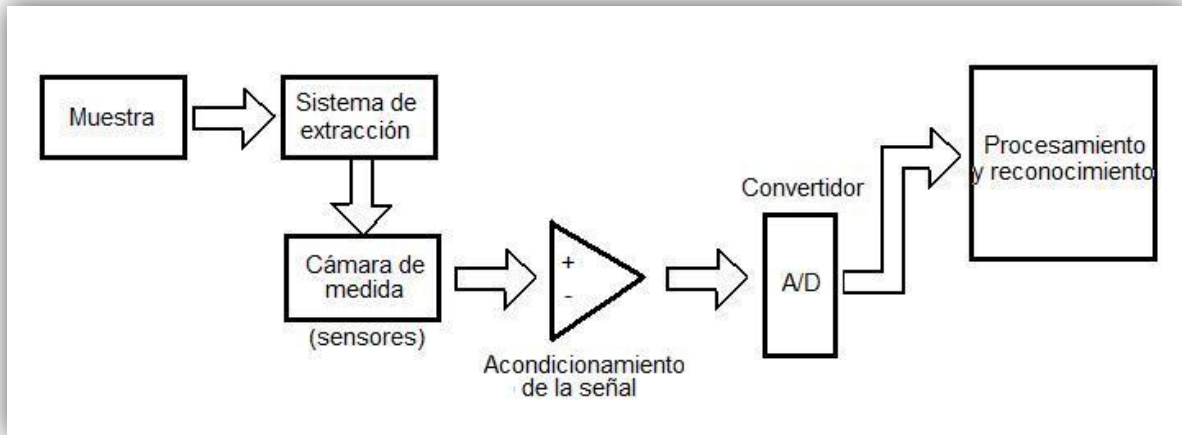


Figura 3. Diagrama de bloques de una nariz electrónica.

Desarrollo de la propuesta

En este capítulo se hace una descripción detallada del proceso de diseño y construcción del sistema. Se incluye información sobre el preprocesamiento de la señal obtenida por la matriz de sensores de gas así como tres algoritmos de procesamiento, Programación Dinámica (DTW) y Redes Neuronales con Análisis de Componentes Principales y Correlación.

5.1 Sistema de extracción de olores

5.1.1 Selección de materiales

De acuerdo a la investigación bibliográfica se encontraron cuatro materiales adecuados para la fabricación del contenedor y del sistema de extracción de aromas: vidrios refractarios, cerámicas, Nylamid (M) y acero inoxidable. Los cuatro materiales cuentan con propiedades higiénicas que los hacen adecuados para concentrar un aroma evitando la contaminación de la muestra con el recipiente. De estas alternativas se seleccionaron el Nylamid y el acero inoxidable; los vidrios y las cerámicas quedaron descartados por su fragilidad.

La dura superficie metálica del acero inoxidable hace que sea difícil que las bacterias se adhieran y sobrevivan en ella cuando está en contacto con otras sustancias agresivas. Hablando cualitativamente de aromas no se combinan los olores con este material. Otra ventaja que representa el uso de este material es su limpieza que se lleva a cabo mediante el uso de jabones, productos antisépticos o esterilizadores [18].

El Nylamid M (M=Mecánico) es un material de fácil maquinado, es decir, que no requiere de herramienta especial para ser trabajado a diferencia del acero inoxidable, además es de grado alimenticio por tanto libre de olores y sabores [19]. El precio tanto del material como de la manufactura fueron determinantes para elegir estos dos materiales.

5.1.2 Diseño del sistema de extracción

El sistema de extracción consiste esencialmente en una aspiradora constituida por un ventilador, que se muestra en el anexo 2, acoplado a un motor de CD alimentado a 24 V y 150 mA. Se escogió este tipo de motor por ser de baja potencia esto permite que el ruido producido por el movimiento del rotor y las aspas sea menor al causado por los de CA

utilizados en las aspiradoras domésticas convencionales. El aire entra por el centro del rotor también llamado impulsor y las aspas giratorias curvadas hacia adelante lo lanzan hacia afuera en dirección tangencial [8].

Es necesario considerar que, en uno de los tres métodos a ensayar, la obtención de la huella olfativa se realizará durante la etapa de funcionamiento del extractor. Por lo mismo, se requiere de homogeneidad en la concentración del aire que contiene el aroma, es decir, el flujo del aire debe ser de tipo laminar.

Las características físicas del sistema que influyen en el tipo de flujo son los diámetros de entrada y salida de aire, el caudal del sistema, la velocidad de extracción y la forma de la compuerta de salida [20].

Para asegurarnos que el flujo sea laminar, el número de Reynolds debe ser inferior a 2000, y se define por:

$$Re = \frac{vD\rho}{\eta} \quad (5.1)$$

Donde, v es la velocidad promedio del flujo, D el diámetro del tubo, ρ la densidad del fluido y η la viscosidad.

De forma experimental, se determinó que con un diámetro de tubo de entrada de 3mm, el caudal del ventilador es de $3.37 \times 10^{-4} \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Se hicieron cálculos para un número de Reynolds de 1000, 1250 y 1500 de los cuales se seleccionó 1250, debido a que el diámetro de entrada tiene un valor congruente a la escala del resto de las piezas. Entonces se calcula la velocidad deseada como sigue:

$$v = \frac{Re \eta}{D\rho} = \frac{1250 \cdot 1.783 \cdot 10^{-5}}{D \cdot 1.18} = \frac{0.01889}{D} \text{ ms}^{-1} \quad (5.2)$$

En el cálculo anterior se consideraron la viscosidad y la densidad del aire, ya que el aroma se encuentra en el aire ambiente. Además, sustituyendo (5.2) en (2.2):

$$Q = \frac{0.01889A}{D} \quad (5.3)$$

Reemplazando A y D por su definición matemática tenemos:

$$Q = \frac{0.01889\pi r^2}{2r} \quad (5.4)$$

Donde, r es el radio del tubo. Despejando obtenemos:

$$r = \frac{2Q}{0.01511\pi} = \frac{2(3.374 \cdot 10^{-4})}{0.01889\pi} = 0.0114\text{m}$$

La tapa de entrada está diseñada para la captación de la muestra, suele tener una forma ahuesada [20], se construirá de acero inoxidable y en base a los cálculos anteriores tiene un diámetro de entrada que se aproximó a 2.3 cm como se muestra en el anexo 3.

La compuerta de salida consiste en una camisa maquinada en Nylamid M, como se muestra en el anexo 4, tiene 12 rejillas rectangulares distribuidas alrededor del diámetro. Este diseño produce un flujo laminar ya que la salida de aire del ventilador es tangente a la superficie de las rejillas. Para el cálculo de las dimensiones de estos orificios de salida se consideró que el área transversal sea la misma que la de la tapa de entrada.

Para acoplar el motor CD al ventilador se requirió de la fabricación de una pieza de cople en Nylamid M debido a su gran resistencia ante la fricción. En el anexo 5 se muestra el diseño de esta pieza.

5.2 Cámara de medida

5.2.1 Contenedor de olores

Se diseñaron y construyeron dos contenedores de olores para concentrar el aroma a analizar.

Contenedor A

La motivación de incluir una cámara de medida donde se introduce la muestra, en este caso un perro, por un periodo de tiempo es para obtener una mayor concentración de compuestos volátiles orgánicos de la piel de este. Es un recipiente construido en acrílico de dimensiones 49x30x30 cm que proporciona un volumen total de 44100 cm³ con la desventaja de que solo pueden introducirse mascotas de raza pequeña. Las paredes del contenedor cuentan con 34 orificios de 1/8 " de diámetro que permiten la respiración de las mascotas. La matriz de sensores se ubica en la tapa de la caja, distribuidos en línea recta como se observa en la figura 4.

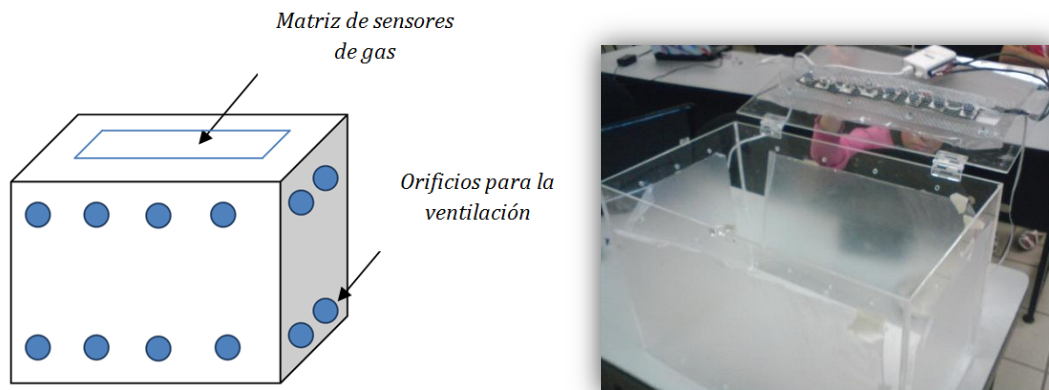


Figura 4. Contenedor de aromas A.

Contenedor B

El contenedor de olores B que se muestra en la figura 5 consiste de un recipiente cilíndrico de acero inoxidable y de cierre hermético. Dentro de este contenedor se concentrará el olor de los perros, se consideraron dos formas de concentración de olores: por medio de la introducción de un paño impregnado con el aroma y haciendo uso del sistema de extracción anteriormente diseñado.

Dentro de este contenedor se encuentra la matriz de sensores. Los ocho sensores están distribuidos en el perímetro del recipiente lo que les permite estar en contacto con el aroma contenido.



Figura 5 Contenedor de aromas B.

En el anexo 6 se observa la distribución de los sensores así como las medidas de la cámara.

5.2.2 Matriz de sensores

La matriz de sensores está compuesta por ocho sensores de gas de la marca Fis. En la tabla 1 se muestran los modelos de los sensores así como sus sensibilidades.

Debido a que el olor de los animales está compuesto principalmente por fragmentos de ácidos grasos producidos en la piel [15], se eligieron sensores sensibles a gases de naturaleza orgánica así como a gases producidos junto con las heces y la orina, dichos sensores son de amoníaco, propano y butano, metano y solventes orgánicos. De forma adicional, se eligieron dos sensores de gases tipo VOC.

Tabla 1. Modelos de los sensores de gas.

Sensor	Gas detectado
SB – EN3 – 02	Respiración
SP – 53A – 00	Amonia (baja conc.)
SP – 53B – 00	Amonia (alta conc.)
SP – 12A – 00	Metano
SP – 31 – 00	Solventes orgánicos
SP – 15A – 00	Propano y butano
SP3 – AQ2 – 01	Gases VOC
SP3S – AQ2 – 01	Gases VOC

Los gases VOC, componentes orgánicos volátiles por sus siglas en inglés, son producidos por distintas fuentes a través de muchos procesos tanto naturales como artificiales. El término VOC incluye cualquier compuesto carbonado orgánico en forma gaseosa emitido por fuentes estacionarias, móviles y difusas. Los gases VOC contienen mezclas de numerosas sustancias orgánicas en concentraciones variables. Para su estudio se han clasificado en:

- No halogenados: alcanos, alquenos, aromáticos, alcoholes, aldehídos, cetonas y ésteres.
- Halogenados: hidrocarburos halogenados, otros compuestos orgánicos halogenados.

Muchos de los gases VOC son perjudiciales a la salud si se encuentran en altas concentraciones. Este tipo de gases son producto de la refinación y combustión de derivados del petróleo y de la degradación de desechos principalmente [21].

Algunos estudios sobre el olor de la piel han demostrado que en la superficie de la piel se producen algunos gases tipo VOC, muchos de ellos son aromáticos [22]. Razón por la cual se espera que la información dada por los sensores de gases VOC sea útil para el reconocimiento de los perros a partir de su olor. En el anexo 7 se muestran las curvas de respuesta de cada uno de los sensores.

5.2.3 Tecnologías de los sensores de gas

Tecnología SP

Son sensores de óxido de estaño cuyo funcionamiento y tecnología de impresión Thick-Film aplicada sobre un delgado substrato cerámico de alúmina en el que se encuentran los electrodos de oro. Esta configuración permite una reducción de potencia del 50% respecto a los sensores de la casa Fígaro. Existen dos encapsulados para este tipo de tecnología, uno de cinco pines y otro de tres disponible únicamente para dos modelos de sensores. En la cara opuesta del substrato se deposita el calentador de platino u óxido de rutenio. Los encapsulados que protegen al elemento sensor se puede observar en las figuras 6 y 7 [17].

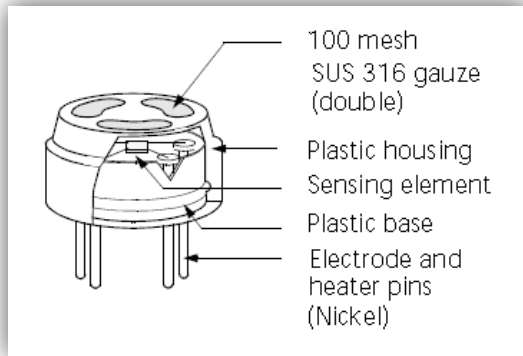


Figura 6. Encapsulado de cinco pines de los sensores tipo SP.

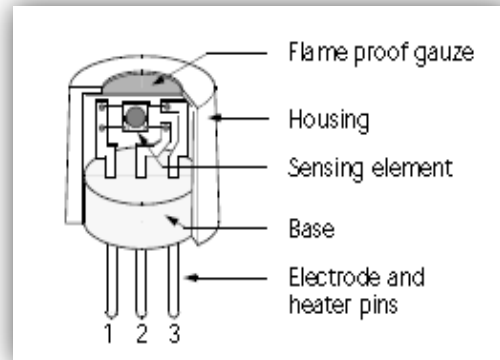


Figura 7. Encapsulado de tres pines de los sensores tipo SP.

Tecnología SB

En los sensores de la serie SB, el objetivo primordial ha sido la disminución del consumo de potencia y tamaño del sensor gracias a la integración de todo el conjunto que constituye el sensor (elemento sensor, encapsulado y patillaje). Consta de un semiconductor tipo *mini bead*, principalmente compuesto de óxido de estaño (SnO_2). La bobina calefactora y los electrodos están incrustados en el elemento sensor como se observa en la figura 8.

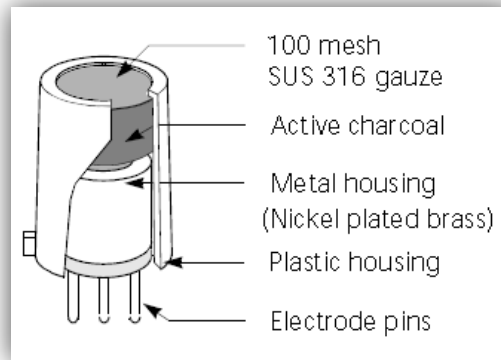


Figura 8. Encapsulado del sensor SB.

Su funcionamiento está basado en la relación entre la resistencia del sensor (R_s), y la concentración de los gases. La resistencia del sensor disminuye en función del gas depositado sobre el sensor de forma logarítmica

Estos sensores micro bola presentan un encapsulado metálico que protege al elemento sensor y está compuesto por dos mallas metálicas de acero inoxidable que descansan sobre una base de plástico. Cabe mencionar que el consumo de potencia es inferior al de la serie SP, facilitando su incorporación en equipos portátiles. Al igual que los sensores de la serie SP, son de tipo resistivos.

El rasgo más significativo de estos sensores es el bajo consumo del calentador, garantizando además, las características típicas de un sensor de óxido de estaño [17]:

- Larga vida útil
- Alta fiabilidad
- Bajo costo
- Modo de empleo sencillo

Para elegir los modelos de sensores no se consideró únicamente su sensibilidad sino también su tecnología. Las diferencias entre tecnologías se enumeran a continuación:

- **Potencia.** Los sensores SB fueron creados para trabajar a baja potencia, sin embargo, consumen más corriente que los sensores tipo SP que requieren una tensión de 5V; la resistencia del calentador de los sensores SB requieren 130mA por sensor, mientras que los sensores SP consumen 80mA.
- **Instrumentación.** Los sensores tipo SB requieren de un amplificador operacional a la salida para referenciar la tensión de salida, mientras que los SP no.
- **Desgaste.** El desgaste presentado por los sensores SB es mayor que el de los sensores SP, lo que provoca la necesidad de calibrar el sistema constantemente [23].

Considerando lo anterior, se decidió que los sensores fueran preferentemente de tipo SP. El único sensor tipo SB es el de respiración, ya que no existe el equivalente en otra tecnología.

5.2.4. Circuitos de instrumentación

Los circuitos de instrumentación son distintos para cada una de las tecnologías. Para los sensores de tipo SB, el circuito propuesto por el fabricante [24] se muestra en la figura 9, se utiliza un amplificador operacional en su configuración diferenciador que permite tener la tensión de salida referenciada a tierra. De otra forma, la salida directamente del sensor se encuentra en los extremos de la resistencia de carga y referenciada a 5V.

La instrumentación de este tipo de sensores requiere de:

- Alimentación 0.9V – 130mA (por sensor)
- Alimentación 5V – 150mA (por sensor)
- Alimentación -5V – 135mA (por sensor)

Los sensores de tecnología SP no requieren del amplificador operacional, ya que por la forma en que están configurados, la salida directa del sensor se encuentra referenciada a tierra. En las figuras 10 y 11 se muestran los circuitos de instrumentación propuestos por el fabricante [24] tanto de los sensores de tres pines como de los de cinco pines.

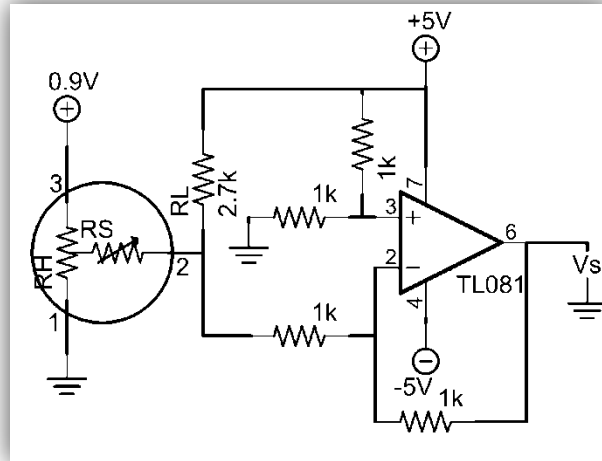


Figura 9. Circuito de medida de los sensores de tecnología tipo SB.

Los sensores de tipo SP requieren:

- Alimentación 5V - 80mA (por sensor)

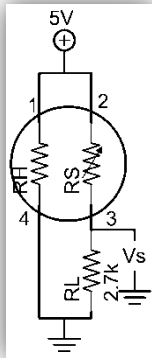


Figura 10. Encapsulado de cinco pines para los sensores tipo SP.

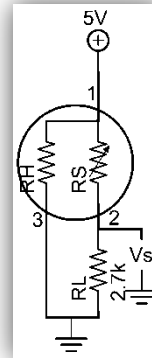


Figura 11. Encapsulado de tres pines para los sensores tipo SP.

Con estos circuitos de instrumentación la tensión de salida V_s se encuentra entre 0.5 y 5 V de manera que se encuentran dentro de los límites TTL. En el anexo 8 se muestran los diseños de circuitos impresos para las diferentes tecnologías de sensores.

5.2.5 Fuente de Alimentación

De acuerdo a las necesidades de los circuitos de instrumentación de los sensores, se requiere una fuente de alimentación que otorgue tensiones de 5V, -5V y 0.9V. De forma comercial no

existen reguladores de tensión a 0.9V, por lo que se utilizará un regulador de tensión variable LM317T. El regulador utilizado en su configuración más simple no es capaz de dar una tensión menor a 1.2V por lo que es necesaria una configuración distinta. En la figura 12 se muestra el circuito propuesto por el fabricante para realizar una fuente variable de 0V a 30V.

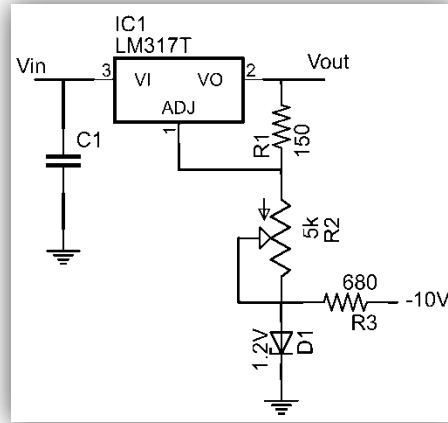


Figura 12. Fuente variable de 0V a 30V.

La alimentación de la resistencia del calentador de los sensores SB debe estar entre 0.9V y 1V según las especificaciones del fabricante, por esta razón se implementó un arreglo de comparadores que permitirá, por medio del estado lógico de un LED, asegurar que la tensión dada por la fuente variable esté dentro de los límites. No se sustituyó el potenciómetro por una resistencia fija porque el valor ideal de ésta no es comercial. En la figura 13 se muestra el circuito para hacer funcionar los comparadores como es deseado [25].

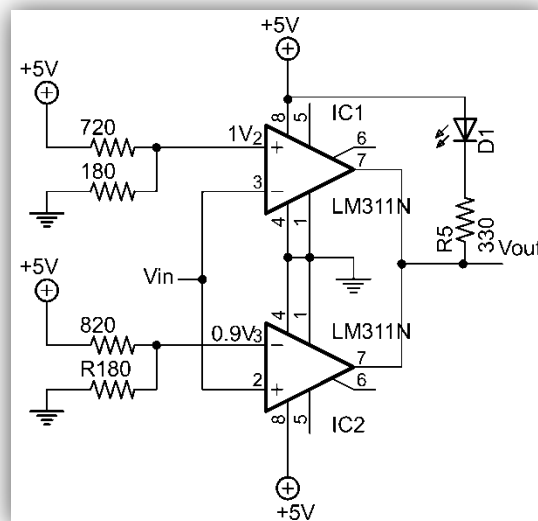


Figura 13. Comparador de ventana para asegurar una alimentación entre 0.9V y 1V.

De acuerdo con los requerimientos de los sensores y demás componentes, las exigencias de corriente de la fuente se muestran en la tabla 2:

Tabla 2. Requerimientos de corriente.

Tensión	Corriente
5V	730 mA
-5V	150 mA
0.9V	130 mA

La corriente total demandada es mayor a 1 A, así que los reguladores que fueron escogidos para la fuente, y que se muestran en la figura 14, tienen empaque tipo TO-3 de manera que se asegure el buen funcionamiento sin que se calienten los dispositivos de forma insegura. En la figura 14 se muestra el esquemático de la fuente completa y en el anexo 8 se muestra su circuito impreso. Los capacitores que se encuentran a la entrada y salida de los distintos reguladores son los recomendados por el fabricante.

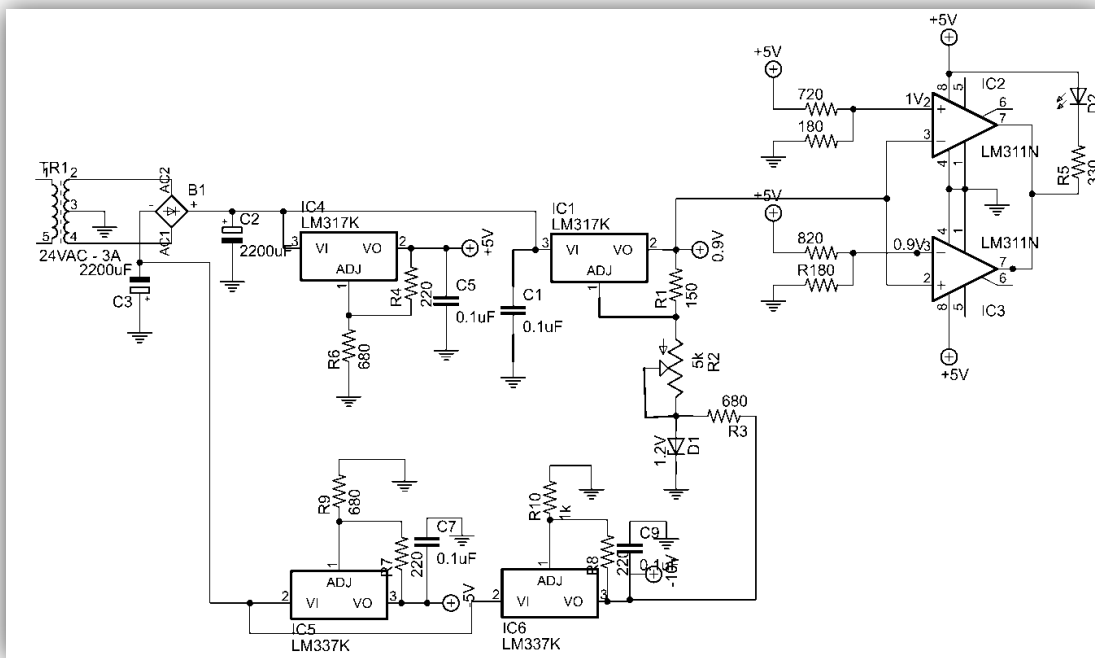


Figura 14. Diagrama eléctrico de la fuente de alimentación.

5.3 Adquisición y envío de datos a la computadora

Para la adquisición de las señales se utiliza una tarjeta de National Instruments USB – 6009. Esta funciona como convertidor analógico-digital y además envía las señales a la computadora. La tarjeta cuenta con ocho canales analógico-digitales sencillos, además de que puede adquirir señales de tipo corriente alterna. Para hacer uso de la tarjeta es necesario

instalar un controlador proporcionado por National Instruments. La adquisición se hace utilizando el programa LabView, del mismo fabricante. Este programa permite realizar adquisición, procesamiento y control. La desventaja de esta plataforma es que realizando adquisición multicanal, no es posible procesar las señales adquiridas en el mismo programa, ya que la capacidad de procesamiento no es suficiente y el programa presenta errores de ejecución. Como son ocho las señales a adquirir, LabView se utiliza únicamente para la adquisición y para guardar en un archivo los valores numéricos de las señales ya digitalizadas.

Las señales se guardan en un archivo de extensión *.lvm* donde se escriben en forma de columnas los valores de tiempo y magnitud de cada uno de los canales de adquisición. Los archivos *.lvm* generados pueden ser cargados directamente a Matlab por medio de la función *load*. En la figura 15 se muestra el diagrama de bloques del programa en LabView que permite la adquisición.

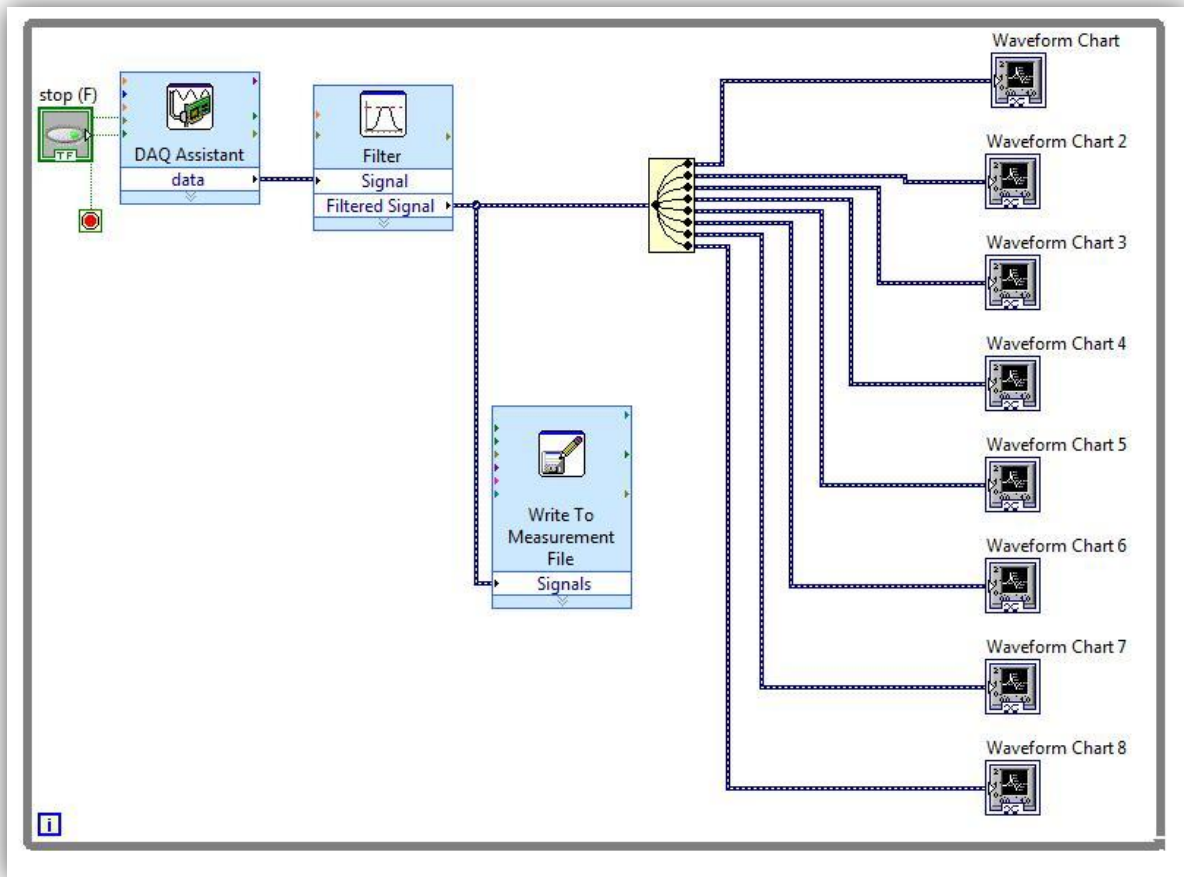


Figura 15. Diagrama de bloques del programa en LabView.

5.4 Pre-procesamiento y procesamiento de las señales

5.4.1 Extracción de información

Las respuestas obtenidas de la matriz de sensores se traducen en cambios de tensión en función del tiempo. La curva generada por cada sensor nos brinda información sobre la interacción entre las moléculas aromáticas y cada uno de los dispositivos sensitivos.

La selección de los sensores estuvo basada en las características de sus curvas de respuesta, de esta manera se tomaron aquellos que brindaron mayor información, sin embargo hay que considerar que al aumentar la cantidad de información no siempre se obtienen mejores resultados. Es posible diferenciar visualmente los sensores que aportan información útil sobre los que no, ya que su curva respuesta presenta más variaciones al cambiar la sustancia a la que son expuestos.

El escoger sensores con mayor sensibilidad lo único que garantiza es una capacidad de detección superior, pero no un mayor poder de resolución que identifique y distinga los diferentes compuestos volátiles, ya que tal vez los sensores con mayor sensibilidad reaccionan de manera muy parecida y no cubren correctamente el espectro de aromas a medir [23].

El objetivo principal del pre-procesado de las señales es el de extraer la información relevante para ser procesada y comparada, minimizando las interferencias como el ruido causado por los circuitos electrónicos.

5.4.2 Preprocesamiento de la señal y filtrado.

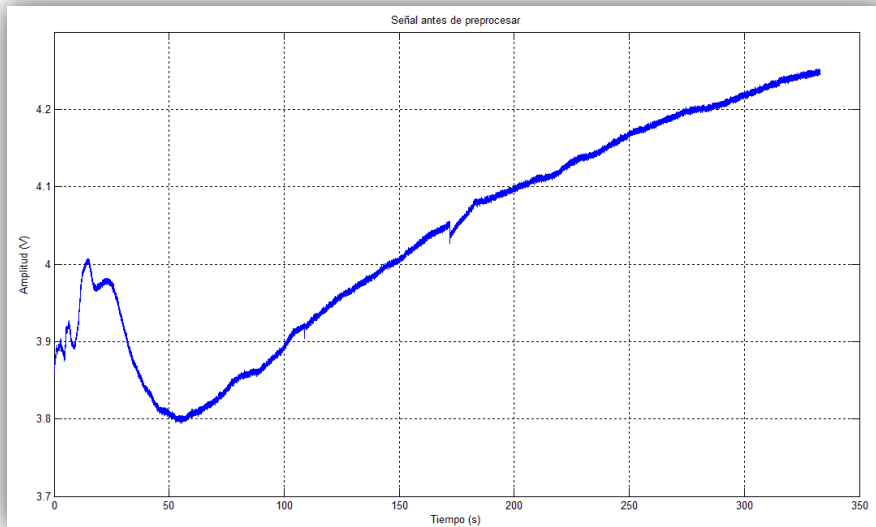
❖ Disminución de ruido por medio de PCA

La aplicación de métodos de extracción de características y procesamiento de la matriz de sensores de gas se enfrenta a dificultades si los datos medidos presentan ruido inherente a cualquier medición. Los datos generados por sensores electrónicos están influenciados por las interacciones de vapor de estado de los sensores, además contienen contribuciones de ruido por interferencias químicas de inhomogeneidad química, termofluctuaciones, desviación de potencia, inestabilidad del circuito e interferencias eléctricas en la electrónica del sensor. Los procesos de ruido pueden ser aditivos y no aditivos en la respuesta del sensor [26].

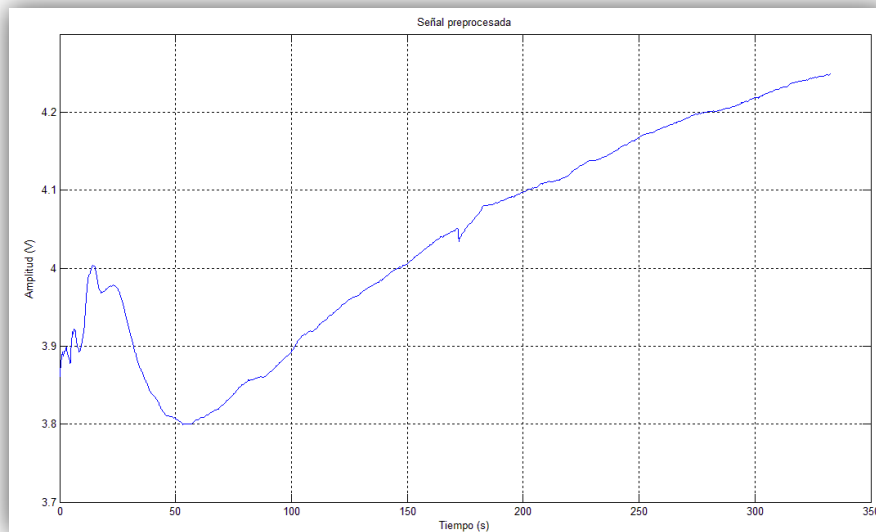
Una fuente no aditiva de ruido causa una fluctuación aleatoria en la transducción eficiente relacionada a las variables latentes del estímulo. Esto genera efectivamente una correlación espuria entre las variables latentes independientes. Las variables de ruido aditivo no están relacionadas con las variables de transducción y su influencia en la respuesta del sensor se puede representar como la suma con la señal original. Las variables de ruido aditivo pueden ser tratadas similares a las variables independientes de las muestras de aroma. La aplicación de métodos lineales de correlación como PCA, Análisis de Componentes Principales por sus

siglas en inglés, debería transformar las contribuciones de ruido aditivo a lo largo de direcciones ortogonales en el espacio de características [27].

Se implementó el método de disminución de ruido o “denoising” por PCA en Matlab con la función *wmspca*. Esta función busca y reconoce ciertas estructuras dentro de una señal y las simplifica descomponiéndolas en sus componentes principales, obteniendo así una señal más “limpia”, libre de ruido. Para lograr la identificación de las estructuras deseadas, la función de Matlab utiliza una *wavelet*. Se eligió la *wavelet tipo sym*, ya que es la más parecida a la forma de onda de nuestra señal obtenida por la matriz de sensores y nos permite eliminar las componentes de ruido.



a)



b)

Figura 16. a) Señal antes de preprocesar b) Señal ya preprocesada.

❖ *Filtro*

Además de la disminución de ruido por PCA se lleva a cabo un filtrado digital. Se hace pasar cada señal por un filtro pasabajas de tipo Butterworth de segundo orden con una frecuencia de corte de 4Hz, con una frecuencia de muestreo de 300Hz. La frecuencia de corte fue elegida considerando que la frecuencia de los artefactos presentes en las señales no rebasa los 4Hz. En la figura 16 se muestra una señal antes y después de ser sometida al pre-procesamiento.

5.4.3 Procesamiento

Se implementaron tres algoritmos en Matlab con la finalidad de identificar la huella aromática correspondiente a cada olor, a continuación se detallan cada uno de los métodos.

❖ ***Análisis de Componentes Principales (PCA)***

La señal obtenida en la etapa de preprocesamiento en muchas ocasiones no es adecuada para ser procesada debido a su alta dimensionalidad y redundancia. Si los patrones son de alta dimensionalidad, el costo computacional asociado a la clasificación puede ser muy alto. Muchos clasificadores están basados en cálculos de distancias y estos cálculos pueden depender de forma cuadrática respecto a la dimensionalidad de los patrones. Como otra consideración computacional hay que considerar el espacio de almacenamiento adicional que supone guardar los valores de nuevas variables. Además, algunas de las variables pueden ser redundantes con otras y no aportar información adicional. El problema de la redundancia es bastante significativo en las narices electrónicas debido a las selectividades parcialmente solapadas de los sensores de gases. Una de las técnicas más comúnmente utilizadas para la reducción de variables es el Análisis de Componentes Principales (PCA).

El método de análisis de componentes principales PCA es un procedimiento que asume colinealidad entre las variables que intervienen. En otras palabras, se trata de un algoritmo lineal que puede funcionar incorrectamente en procesos altamente no lineales como pueden ser las interacciones químicas entre sensores y compuestos volátiles. De todas formas, funciona sorprendentemente bien en muchas aplicaciones, en las que las concentraciones de volátiles no son muy elevadas y el comportamiento de los sensores no es lineal [23].

La compresión de datos y extracción de información relevante se hace más necesaria en aquellas situaciones en las que existe una falta de selectividad en cada uno de los sensores que componen la matriz. Por este motivo el análisis de componentes principales es un método idóneo para explorar el concepto de sensibilidades solapadas que se aplica en la matriz de sensores.

El análisis de componentes principales es una potente técnica de reconocimiento de patrones, no supervisada y lineal basada en la expansión de Karhunen-Loeve [28]. Los vectores respuesta, constituidos por las respuestas de cada sensor a cada muestra realizada, se agrupan en forma de columnas para constituir la matriz respuesta $X (n \times m)$ donde n es el

número de sensores en el arreglo y m es el número de muestras experimentadas. Por lo tanto el espacio de respuestas es n -dimensional. El objetivo de la técnica de análisis de componentes principales es expresar la información de la matriz respuesta mediante un número menor de variables, variables más descriptivas llamadas componentes principales [29]; de esta forma se eliminan los datos redundantes y se reduce la dimensionalidad del problema.

Los componentes principales se eligen de tal manera que en el menor número posible de ellas resida la máxima varianza de datos, siendo ortogonales entre sí (inexistencia de correlación entre ellas). El método PCA elimina cualquier redundancia o correlación que exista en las respuestas de los sensores. Normalmente la n -dimensionalidad del problema se reduce a los dos primeros eigenvectores (primeros dos componentes principales) que contienen la máxima información [6-8].

Aunque el PCA encuentra componentes que son muy útiles para representar los datos de los sensores, puede ser que no lo sea para discriminar entre datos de diferentes clases. Si reunimos todas las muestras, las direcciones descartadas por el PCA pueden ser exactamente las necesarias para distinguir entre las clases. Al proyectar los datos de n dimensiones en una línea arbitraria, incluso cuando las clases están lo suficientemente separadas, puede producir una confusa mezcla de muestras de todas las clases y de esta forma tener un pobre rendimiento al reconocer los diferentes patrones [30].

Implementación.

El algoritmo básico para identificar señales en diferentes subespacios es el siguiente:

1. Se calcula un subespacio (generado por las propias señales) donde proyectar las señales.
2. Una vez generado el subespacio, todas las señales de entrenamiento son proyectadas en el subespacio.
3. Cada señal test se proyecta en el subespacio y es comparada con todas las proyecciones de las señales de entrenamiento por similitud o por medida de distancias, la señal patrón con mayor similitud o más cercana a la señal de prueba se utiliza para identificar esa señal prueba.

El eigenespacio se calcula identificando los eigenvectores (vectores propios) de la matriz de covarianza obtenida del conjunto de señales patrón. Los eigenvectores correspondientes a eigenvalores (valores propios) no nulos de la matriz de covarianza forman una base ortonormal que refleja las imágenes en un espacio N -dimensional.

Cada señal se almacena en un vector de longitud N :

$$\vec{\varphi}^i = [\varphi_1^i \dots \varphi_N^i]^T \quad (5.5)$$

Se combinan los vectores de entrenamiento para crear una matriz de datos de tamaño $N \times P$ (donde P es el número de señales).

$$\varphi = [\tilde{\varphi}^1 | \tilde{\varphi}^2 | \dots | \tilde{\varphi}^P] \quad (5.6)$$

La matriz de covarianza se obtiene multiplicando la matriz de datos por su transpuesta:

$$W' = \varphi \cdot \varphi^T \quad (5.7)$$

La matriz de covarianzas tiene cuanto mucho P eigenvectores asociados a P eigenvalores no nulos. Se supone siempre que $P < N$, es decir, es mayor el tamaño de la señal que el número de señales. Los eigenvectores se ordenan de mayor a menor, según el valor de su eigenvalor asociado. El eigenvector asociado al mayor eigenvalor es el eigenvector que encuentra mayor variación entre las señales. El eigenvector asociado al segundo mayor eigenvalor es el eigenvector que encuentra la segunda mayor variación entre las señales. Esto continúa hasta llegar al más pequeño de los valores propios, cuyo vector propio asociado encuentra la menor variación entre las señales.

El proceso de reconocimiento se divide en dos fases fundamentales: entrenamiento y test.

Entrenamiento:

1. Se selecciona un conjunto de señales de entrenamiento
2. Se genera la matriz de datos (ecuación 5.6).
3. Se obtiene la matriz de covarianzas W' .
4. Se calculan los eigenvalores y los eigenvectores de W' .
5. Se calcula y ordena de mayor a menor los eigenvectores de W según el valor de los eigenvalores.
6. Cada una de las señales de entrenamiento se proyecta en el subespacio. Para proyectar una señal en el subespacio, calculamos el producto escalar de cada una de las señales con los dos primeros componentes principales que corresponden a los dos eigenvectores con los eigenvalores más altos.

$$\tau = \varphi \cdot b_1 + \varphi \cdot b_2 \quad (5.8)$$

Donde b_1 y b_2 corresponden a los dos primeros eigenvectores y τ es la señal proyectada.

A las proyecciones de las imágenes patrón dentro del subespacio se las denomina clases.

Test:

1. Cada señal test es proyectada dentro del mismo eigenspacio definido por V .

$$V = [b_1, b_2, \dots, b_p] \quad (5.9)$$

2. La proyección de la señal test es comparada con cada una de las clases [30].

Para llevar a cabo la comparación de la señal test con cada una de las clases se implementaron dos métodos de reconocimiento de patrones: Redes Neuronales y Programación Dinámica.

❖ Red Neuronal

Se utiliza una red neuronal multicapa con entrenamiento de retro-propagación. El método de aprendizaje utiliza la regla delta generalizada por lo que se requiere que la función de activación sea derivable en todos sus puntos [31]. La función de activación utilizada es la función sigmoide, cuya representación se muestra en la figura 17 y su ecuación es la que sigue:

$$h(I_j) = \frac{1}{1 + e^{-I_j}} \quad (5.10)$$

La arquitectura de la red fue determinada a partir del número de puntos que forman cada patrón y el número de patrones, siguiendo los parámetros:

- Número de neuronas en la capa de entrada igual al número de puntos de cada patrón.
- Número de neuronas en la capa de salida igual al número de patrones.
- Número de neuronas en la capa oculta igual al doble del número de neuronas en la capa de entrada más uno.

Por lo que la configuración de la red se muestra en la figura 18.

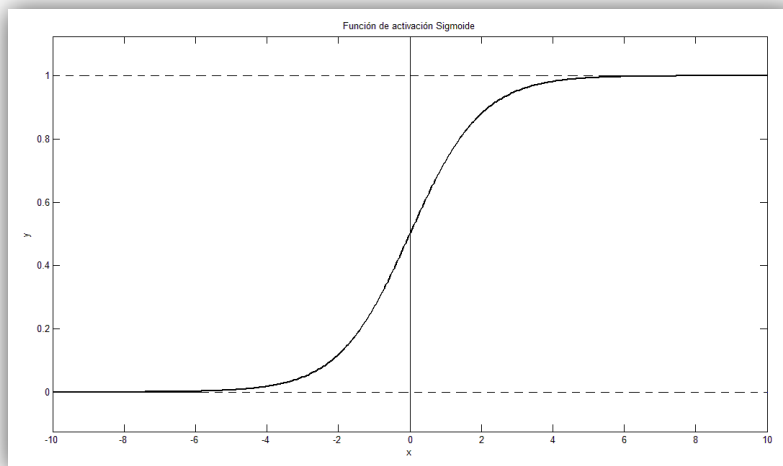


Figura 17. Función de activación de la red neuronal.

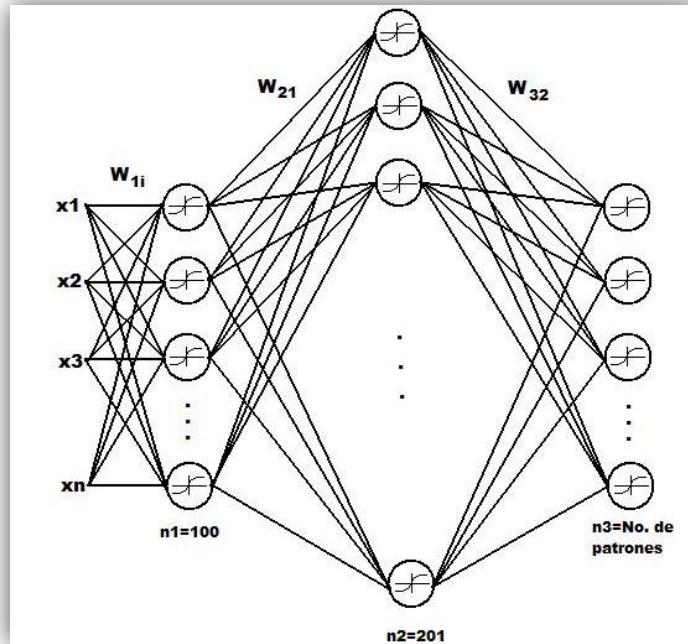


Figura 18. Configuración de la red neuronal.

La salida de cada neurona es binaria, y puede tomar los valores 0 y 1. El reconocimiento de un patrón se muestra por la activación de sólo una neurona en la última capa. La entrada de cada neurona es la suma de las salidas de las neuronas en la capa anterior ponderadas por los pesos w [31].

$$I_j = \sum_{k=1}^{N_k} w_{jk} O_k \quad (5.11)$$

Donde,

- I_j es la entrada a una neurona en la capa j .
- w_{jk} son los pesos entre las capas j y k
- O_k es la salida de una neurona en la capa k
- N_k es el número de neuronas en la capa k

La salida de cada neurona está dada por:

$$O_j = h(I_j) \quad (5.12)$$

El aprendizaje por retro-propagación busca la minimización del error entre la salida obtenida y la salida esperada, y utiliza este error para definir la magnitud y la dirección del cambio en los pesos a utilizar en la siguiente iteración. El cambio de los pesos queda definido por [34]:

$$\Delta w_{jk} = \alpha \delta_j O_k \quad (5.13)$$

Donde, α es la tasa de aprendizaje de la red y,

$$\delta_j = -\frac{\partial E_j}{\partial I_j} \quad (5.14)$$

Donde, E_j es el error en la salida de la neurona.

Como no se conoce la salida deseada en las neuronas de las capas ocultas, la expresión anterior no puede ser utilizada en todas las neuronas, por lo que se requiere una nueva definición del error. De acuerdo al desarrollo matemático presente en [34] δ_j se puede definir como:

$$\delta_q = (r_q - O_q)h'(I_q) \quad (5.15)$$

Para la capa de salida Q, donde h' es la derivada de la función de activación h y r_q la salida deseada para cada patrón.

$$\delta_j = h'(I_j) \sum_{q=1}^{N_q} \delta_q w_{qj} \quad (5.16)$$

Donde, q es la capa siguiente a la capa j hacia la derecha.

Finalmente, la derivada de la función de activación está definida por:

$$h'(I_j) = O_j(1 - O_j) \quad (5.17)$$

El conjunto de ecuaciones anteriores utilizado para el entrenamiento de la red es conocido como regla delta generalizada. El procedimiento de entrenamiento se muestra a continuación.

1. Se determinan pesos iniciales de forma aleatoria, es importante que no sean iguales.
2. Se evalúa la red hacia adelante hasta obtener una salida con alguno de los patrones como entrada.
3. Se calculan los Δw de la capa de salida.
4. Se calcula el resto de Δw avanzando "hacia atrás", es decir de la penúltima capa oculta hasta la capa de entrada.
5. Se ajustan los pesos.

6. Se repite a partir del número 2 hasta que las salidas para cada patrón de entrada sean las deseadas [31].

❖ **Programación Dinámica. Dynamic Time Warping (DTW).**

Una vez que el conjunto de señales fue procesado por PCA y reducido a una sola señal se aplica un método de programación dinámica conocido como DTW (Dynamic Time Warping) que permitirá comparar la señal a evaluar con las señales patrones también reconstruidas por el PCA.

El objetivo del método es llevar a cabo una comparación entre dos señales al mismo tiempo que las alinea en el tiempo [32]. Para llevar a cabo dicha comparación se utiliza la distancia euclidiana punto a punto. El DTW busca un camino que minimice la distancia acumulada entre el patrón y la señal de prueba [33].

Primero se calculan las distancias punto a punto en una matriz tal como se muestra en la figura 19.

		Patrón				
		T1	T2	T3	...	Tn
Señal	x1	d ₁₁	d ₁₂	d ₁₃	...	d _{1n}
	x2	d ₂₁	d ₂₂	d ₂₃	...	d _{2n}
	x3	d ₃₁	d ₃₂	d ₃₃	...	d _{3n}
	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮
	x _m	d _{m1}	d _{m2}	d _{m3}	...	d _{mn}

donde, $d_{ij} = |T_i - x_j|$ $1 < i < m$
 $1 < j < n$

Figura 19. Matriz de distancias.

Posteriormente se calcula una matriz de costos acumulados, donde la primera fila es la suma acumulada del primer renglón de la matriz de distancias. Los demás elementos se calculan utilizando la ecuación (5.18).

$$MC_{ij} = d_{ij} + \min(d_{(i-1)j}, d_{(i-1)(j+1)}, d_{i(j+1)}) \quad (5.18)$$

El elemento MC_{mn} representa el costo acumulado total, y es inversamente proporcional a la similitud entre el patrón y la señal a evaluar. Si la matriz MC se representa en escala de grises donde el valor de cada elemento es un nivel de gris, se observa que los elementos más claros se encuentran en las orillas mientras que los más oscuros se concentran en forma diagonal

uniendo el elemento (1,1) con el (m,n), tal como se muestra en la figura 20. Cuando la señal es igual al patrón la diagonal obtenida es perfecta.

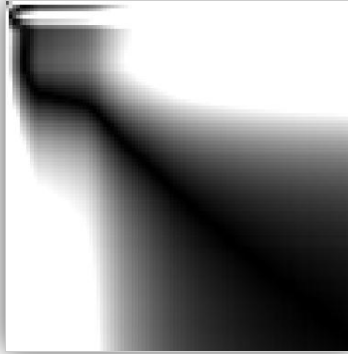


Figura 20. Matriz de costos acumulados en escala de grises.

Para tomar una decisión se considera que la señal evaluada corresponde a la sustancia cuyo patrón arroja el menor costo acumulado.

❖ **Correlación**

La correlación de dos funciones continuas $f(x)$ y $g(x)$, representada por $f(x) \circ g(x)$, se define por la relación:

$$f(x) \circ g(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) * g(x+\alpha) d \alpha \quad (5.19)$$

donde * es el conjugado complejo. Así para realizar la correlación simplemente se desplaza $g(x)$ sobre $f(x)$ y se integra el producto desde $-\infty$ hasta ∞ para cada valor de desplazamiento x .

El equivalente discreto de la ecuación (5.19) se define como:

$$f_c(x) \circ g_c(x) = \sum_{m=0}^{M-1} f_c(x) * g_c(x+m) \quad (5.20)$$

para $x = 0,1,2, \dots, M-1$. En el caso bidimensional siguen siendo válidas las expresiones similares. Así si $f(x,y)$ y $g(x,y)$ son funciones de variables continuas, su correlación se define como:

$$f(x,y) \circ g(x,y) = \int \int_{-\infty}^{\infty} f^*(\alpha, \beta) g(x+\alpha + \beta) d \alpha d \beta \quad (5.21)$$

Para el caso discreto,

$$f_c(x,y) \circ g_c(x,y) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f_c^*(m,n) g_c(x+m+n) \quad (5.22)$$

para $x = 0, 1, 2, \dots, M - 1$ e $y = 0, 1, 2, \dots, N - 1$. Al igual que en el caso de la convolución discreta $f_c(x, y)$ y $g_c(x, y)$ son funciones extendidas y periódicas.

Una de las principales aplicaciones de la correlación en el procesado de imágenes es en el campo de formatos o ajuste de prototipos, donde el problema consiste en hallar el mayor parecido entre una imagen desconocida y un conjunto de imágenes conocidas. La solución consiste en calcular la correlación entre la imagen desconocida y cada una de las conocidas. El mayor parecido puede determinarse seleccionando la imagen que da el mayor valor de la función de correlación. Debido a que las correlaciones resultantes son funciones bidimensionales, esta tarea implica buscar la amplitud máxima de cada función. Al igual que en el caso de la convolución discreta, el cálculo de $f_c(x, y)$ y $g_c(x, y)$ se realiza habitualmente con mayor eficacia en el dominio de frecuencias empleando un algoritmo de FFT para obtener las transformadas directa e inversa [34].

5.4.4 Calibración con sustancias buffer alcohol y thinner.

Se realizaron pruebas con alcohol y thinner como soluciones buffer con la finalidad de verificar el funcionamiento de la nariz electrónica. En la figura 21 se muestran los resultados dados por la matriz de sensores de gas, esto además sirvió para considerar la repetibilidad y tiempo de descontaminación de los sensores.

A partir de las pruebas realizadas con las soluciones buffer se concluyó que el tiempo de concentración y medida de una sustancia aromática es de 5 minutos dentro de la cámara de medida A y que el tiempo de descontaminación es de 8 minutos haciendo uso del ventilador.

Uno de los problemas en la matriz de sensores de gas es el desgaste, resulta conveniente tener en cuenta este efecto en los resultados sobre las medidas. Idealmente si no hubiese desgaste, las medidas de calibración deberían caer todas en el mismo punto del gráfico, ya que todas ellas se realizan en idénticas condiciones. Sin embargo, en las medidas de calibración con la solución buffer pudo observarse falta de repetibilidad de los sensores causado por el desgaste repartiendo las proyecciones por diferentes zonas del gráfico.

5.5 Metodología Experimental.

Se realizaron pruebas utilizando los tres métodos de extracción de aroma antes mencionados:

- Mediante el extractor de aromas, aspirando el olor de la piel de los perros.
- Introduciendo al perro en el contenedor A para que se concentre su olor.
- Impregnando un paño con el aroma del animal y depositándolo en el contenedor B.

De forma general, los sujetos de prueba se dividen en dos grupos y cada grupo cuenta con las siguientes características:

Grupo 1:

- Mascotas que conviven con otros perros.
- Mascotas de edad menor a un año.
- Mascotas que no conviven con otros perros.
- Mascotas hembras y machos de la misma raza.

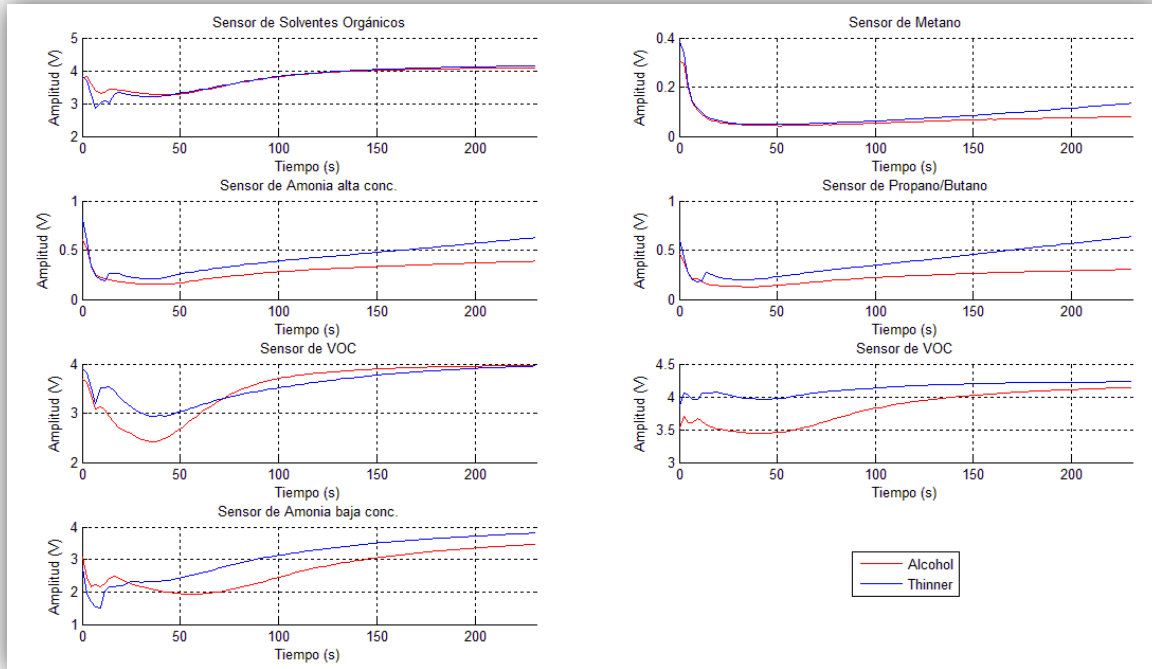


Figura 21. Respuesta de los diferentes sensores de la matriz a alcohol y thinner.

De este grupo se tomaron sus características como edad, periodo de baño, alimentación y talla. En este caso el canino se introduce en el contenedor A por un periodo de tiempo de 15 min y se espera 15 min para la descontaminación de los sensores y el recipiente; además se utilizó jabón y alcohol para limpiar y desinfectar el contenedor. Para cada muestra se realizaron al menos 3 medidas con la matriz de sensores de gas.

En total se realizaron 30 muestras para el entrenamiento de la red neuronal. La tabla 4 muestra el número de medidas realizadas así como mediciones de la temperatura ambiente.

Una vez recolectada la muestra aromática se procede a su análisis en Matlab mediante los métodos de procesamiento antes descritos.

En el segundo caso, sin la restricción del tamaño de la raza, las características distintivas que se tomaron fueron las siguientes:

Grupo 2:

- Mascotas que conviven con otros perros.
- Mascotas de edad menor a un año.
- Mascotas que no conviven con otros perros.
- Mascotas de diferentes razas y tamaños.
- Mascotas con parentesco genético.

En el experimento se utiliza un paño de algodón impregnado con el aroma del perro, que se introduce en el contenedor B y se espera 15 minutos a que se concentrara el aroma en el recipiente, durante este periodo se registra por medio de la matriz de sensores la evolución de la huella aromática, transcurrido este tiempo se procede a la descontaminación del recipiente por 15 minutos con ayuda del ventilador.

La toma de muestras con ayuda del extractor se realiza a ambos grupos. Se coloca el extractor a una distancia aproximada de tres centímetros de la piel del perro y se procede al aspirado durante 15 minutos. Posteriormente es necesaria la descontaminación de los sensores durante un tiempo también de 15 minutos.

Validación del sistema

Para verificar el buen funcionamiento de la nariz electrónica como clasificador de aromas independientemente de su naturaleza, se hicieron pruebas de reconocimiento, utilizando los tres métodos antes mencionados. Las pruebas se realizaron a ocho sustancias aromáticas que se muestran en la tabla 3 realizadas en tres días y horarios diferentes.

El método de toma de muestras se describe a continuación:

1. El sistema se encuentra apagado.
2. Se energiza la matriz de sensores.
3. Se inicia la adquisición de señales.
4. Se coloca la muestra aromática dentro del contenedor B.
5. Se cierra el contenedor para que el olor pueda ser concentrado.
6. La adquisición se lleva cabo durante cinco minutos.
7. Se detiene la adquisición y se apagan los circuitos.
8. Se abre el contenedor y se sustrae la muestra.
9. Finalmente se procede a la descontaminación del contenedor con ayuda del ventilador durante ocho minutos.

En la tabla 3 se muestra la eficiencia que cada uno de los métodos de reconocimiento presentó durante las pruebas.

Tabla 3. Tabla comparativa de los resultados obtenidos al reconocer sustancias aromáticas.

Sustancia Aromática	Número de muestras procesadas	Eficiencia de DTW	Eficiencia de la Red Neuronal	Eficiencia Método correlación
Alcohol etílico 96%	6	67%	50%	66.6%
Thinner	6	83%	83%	100%
Acetona Perfumada	5	60%	60%	100%
Monómero para placas dentales	5	60%	100%	100%
Esmalte de uñas	5	60%	100%	100%
Aceite esencial herbal	5	100%	100%	100%
Barniz Acrílico	5	60%	60%	60%
Cloro	5	40%	80%	100%
Total	42	66.67%	78.57%	90.48%

Resultados

7.1 Pruebas realizadas con el extractor de aromas

La toma de muestras de olor utilizando el extractor no pudieron ser completadas con éxito. A pesar de las precauciones tomadas para reducir el ruido de la espiradora, el nivel de estrés de los perros al estar cerca del extractor en funcionamiento no permite tener lecturas adecuadas. Como no es posible mantener quietos y relajados a los sujetos de prueba, las lecturas tomadas presentan muchos artefactos que representan ruido para la señal y que no pueden ser filtrados porque son de naturaleza aleatoria.

7.2 Pruebas realizadas con el contenedor A

Se realizaron 30 pruebas utilizando el contenedor A con el grupo 1 de sujetos de prueba. En la tabla 4 se muestra la eficiencia del sistema al evaluar las muestras tomadas por cada categoría del grupo.

Tabla 4. Pruebas realizadas en el contenedor A.

Categoría		Número de Muestras	Eficiencia de DTW	Eficiencia de la Red Neuronal	Eficiencia de Correlación
Mascotas que conviven con otros perros.	Toby	3	67%	33 %	67 %
	Poly	3	67%	67 %	100%
	Total		67%	50%	83.5%
Mascotas de edad menor a un año	Dogy	9	33%	44 %	60%
	Sansón	3	33%	33 %	67%
	Berny	10	90%	80 %	30%
	Total		52%	52.33%	52.33%

Mascotas que no conviven con otros perros.	Berny	10	20%	80 %	30 %
	Dogy	9	55%	55 %	40%
	Poly	3	100%	67 %	100%
	Sansón	3	67%	33 %	67%
	Total		60.5%	58.75%	59.25%
Mascotas hembras y machos de la misma raza	Berny	10	20%	60%	60 %
	Poly	3	67%	100%	100 %
	Toby	3	67%	67%	67 %
	Sansón	3	67%	67%	67 %
	Total		55.25%	73.5%	73.5%
Todas las categorías	-----	30	46.67%	43%	53.33%

Las muestras de Berny y Dogy presentan eficiencias bajas sin importar la categoría en que se encuentren, la diferencia a las demás muestras radica en que esta base de datos se registró en diferentes días al contrario de las demás mascotas que solo se tomaron en un día. Por esta razón se hace un estudio considerando las muestras que se tomaron el mismo día, los resultados se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Estudio de las muestras por día en el contenedor A.

	Nombre	Número de Muestras	Eficiencia de DTW	Eficiencia de la R.N.	Eficiencia de Correlación
Día 1	Berny	3	100%	100%	100%
	Dogy	3	67%	67%	67%
Día 2	Berny	3	100%	100%	100%
	Dogy	2	100%	100%	100%
Día 3	Berny	2	100%	100%	100%
	Dogy	2	100%	100%	100%
Día 4	Berny	2	100%	50%	100%
	Dogy	4	100%	100%	100%

Los resultados de la comparación de muestras tomadas el mismo día para Berny y Dogy presentan eficiencias muy altas, la mayoría del 100%. Del estudio de las muestras realizadas por día podemos concluir que es posible identificar a las mascotas si el patrón de referencia y la señal evaluada son registrados el mismo día con una diferencia de 3 hrs entre mediciones. Intuitivamente este estudio revela que el aroma de los perros se modifica día con día.

El cambio en el olor podría atribuirse a cambios en el metabolismo de las mascotas debidos a la cantidad de actividad física que haya realizado, el tiempo transcurrido desde su última comida, la cantidad de alimento ingerido además de las interacciones de los ácidos grasos con el ambiente.

Con los resultados anteriores se recalcularon las eficiencias mostradas en la tabla 4 considerando las muestras de Berny y Dogy tomadas en un mismo día.

Tabla 6. Estudio de muestras por día en contenedor A para diferentes categorías.

Categoría		Número de Muestras	Eficiencia de DTW	Eficiencia de la R.N.	Eficiencia de Correlación
Mascotas que conviven con otros perros.	Toby	3	67%	33 %	67 %
	Poly	3	67%	67 %	100%
	Total		67%	50%	83.5%
Mascotas de edad menor a un año	Dogy	4	100%	75 %	100%
	Sansón	3	33%	33 %	67%
	Berny	2	67%	100 %	100%
	Total		66.6%	69.33%	89%
Mascotas que no conviven con otros perros.	Berny	2	100%	100 %	100 %
	Dogy	4	100%	75 %	100%
	Poly	3	100%	100%	100%
	Sansón	3	33%	33 %	67%
	Total		83.25%	77%	91.75%
Mascotas hembras y machos de la misma raza	Berny	2	50%	100%	100 %
	Poly	3	67%	100%	100 %
	Toby	3	67%	67%	67 %
	Sansón	3	67%	33%	67 %
	Total		62.75%	75%	83.5%
Todas las categorías	-----	15	73.33%	73.33%	80%

Los resultados de la tabla 6 muestran que si las muestras se comparan en un mismo día las eficiencias parciales y totales son similares en promedio. Las eficiencias totales son mayores que las presentadas en la tabla 4. De manera intuitiva encontramos que es posible identificar a un miembro de un grupo de perros si se sigue esta metodología, con una eficiencia cercana al 75%, sin embargo debido a las interacciones moleculares de las partículas orgánicas de la piel de perro, con este estudio no es posible descartar las categorías propuestas en un principio.

7.3 Pruebas realizadas con el contenedor B

Se realizaron 17 pruebas utilizando el contenedor B con el grupo 2 de sujetos de prueba. En la tabla 6 se muestra la eficiencia del sistema al evaluar las muestras tomadas por cada categoría del grupo.

Tabla 7. Pruebas realizadas en el contenedor B.

Categoría		Número de Muestras	Eficiencia de DTW	Eficiencia de Correlación
Mascotas que conviven con otros perros.	Toby	2	50%	50%
	Poly	2	50%	50%
	Total		50%	50%
Mascotas de edad menor a un año	Dogy	2	100%	100%
	Berny	2	100%	100%
	Total		100%	100%
Mascotas que no conviven con otros perros.	Dogy	2	100%	100%
	Berny	2	50%	100%
	Toby	2	100%	100%
	Nena	4	50%	50%
	Total		75%	87.5%
Mascotas con parentesco genético	Nena	4	75%	50%
	Cuca	4	50%	100%
	Total		62.5%	75%
Todas las categorías		17	52.94%	52.94%

Como se observa en la tabla 7 las eficiencias parciales en cada categoría son altas, sin embargo la eficiencia total para todas las categorías resulta ser más baja, lo que es contradictorio pero puede explicarse si consideramos que el número de patrones a discriminar es mayor cuando se realiza el estudio completo. Si al aumentar el número de patrones se reduce la eficiencia total entonces el sistema no está clasificando de una manera eficiente lo que nos lleva a concluir que este método de concentración de aroma por medio del contenedor B no es el adecuado para muestras de perros tomadas con ayuda de un paño de algodón.

En la tabla 8 se muestra que todos los objetivos planteados fueron cumplidos acorde a la programación.

Tabla 8. Tabla comparativa de objetivos planteados y logrados.

Objetivos planteados	Objetivos logrados
Diseñar un sistema de extracción del aroma del canino a identificar.	Se diseñó e implementó un sistema extractor de olores.
Construir una cámara de medida donde la matriz de sensores tendrá contacto con el aroma extraído.	Se construyeron dos cámaras de medida que permiten la concentración de aromas utilizando dos técnicas diferentes.
Diseñar y construir los circuitos electrónicos para la obtención de las señales dadas por la matriz de sensores y el acondicionamiento de las mismas.	Se diseñaron e implementaron los circuitos de instrumentación de los ocho sensores utilizados.
Implementar un sistema de envío de datos a la computadora.	Se implementó un sistema de envío de datos utilizando una tarjeta de adquisición y un programa realizado en LabView.
Diseñar e implementar un método de procesamiento digital de las señales adquiridas por la computadora	Las señales adquiridas fueron filtradas y procesadas utilizando un Análisis de Componentes Principales.
Diseño e implementación de un sistema de reconocimiento de patrones basado en redes neuronales que permita la identificación del canino.	Se implementaron tres métodos de reconocimiento de patrones para evaluar la capacidad de identificación del sistema: <ul style="list-style-type: none"> - PCA y DTW - PCA y Redes Neuronales - Correlación

Conclusiones

- El sistema que se diseñó es capaz de discriminar aromas complejos mediante una matriz de sensores de gas con una eficiencia de hasta 90%, cuando se trata de sustancias químicamente estables.
- El método de correlación presenta eficiencias más altas que DTW y Redes Neuronales lo cual lo hace más adecuado para esta aplicación.
- Es posible identificar a un miembro de un grupo de perros si las muestras que se comparan son tomadas el mismo día y con un lapso de tiempo máximo de 3 horas.
- La huella aromática que se obtiene a través de la matriz de sensores de gas se modifica día con día.
- La concentración del aroma canino mediante la utilización de un paño no es suficiente para la lograr la discriminación de la huella aromática.
- El método de concentración utilizando el contenedor A permite la identificación de los perros aunque está limitado al tamaño de los mismos.
- Con el diseño de nariz electrónica que se propuso, utilizando los sensores disponibles en el mercado, se encontró como principal factor discriminante de la huella aromática los cambios debidos a las interacciones bioquímicas.

Discusiones

Uno de los problemas principales que se enfrentaron en la realización de este prototipo experimental fue el método de concentración del aroma, puesto que el sistema está limitado a ser una alternativa no invasiva ni traumática para los animales, por esta razón los métodos de obtención de la muestra fueron elegidos cuidadosamente.

El aroma canino está compuesto por ácidos grasos volátiles fragmentos de orina y residuos de heces en su pelaje, la naturaleza química de estos componentes produce una señal de baja intensidad en la matriz de sensores de gas. La idea de construir un sistema portátil basado en una nariz electrónica que permitiera la identificación de los miembros de un grupo queda limitada por las interacciones bioquímicas que modifican el aroma de los perros en el transcurso del día.

En un trabajo a futuro se propone estudiar este tipo de interacciones moleculares mediante equipos más sofisticados y una metodología experimental más detallada en cuanto a los tiempos entre muestras la alimentación, actividad física, etc. para la correcta identificación de individuos, es decir se requiere de mayor selectividad del sistema de manera que no se vea afectado por las variaciones del aroma en el transcurso del día.

Bibliografía

- [1] www.foyel.com/.../la_identificacion_de_mascotas_-_microchip.html. 28-06-2010.
- [2] J. Lozano, J. P. Santos, M. Aleixandre, I. Sayago, M. García, A. Martínez, M. Cabellos, J. Girón, M. C. Horrillo, **“Sistema de nariz electrónica para el análisis de la evolución del vino controlada por PC”**, Laboratorio de sensores, Instituto de Física Aplicada, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Universidad Complutense de Madrid.
- [3] O. Busto, **“La nariz electrónica: una nueva herramienta para analizar el aroma”**, Unidad de Enología del CeRTA, Departamento de Química Analítica y Química Orgánica, Facultad de Enología, Universidad Rovira i Virgili, Tarragona.
- [4] G. Tortora J., S. Reynolds Grabowski, **“Principios de Anatomía y Fisiología”**, 9ª Edición, Editorial Oxford, México, 2003, pág 517-519.
- [5] <http://blogperrosygosos.wordpress.com/2010/06/28/las-razones-del-extraordinario-olfato-del-perro/>
- [6] FIS web site, <http://www.fisinc.co.jp/Enew051111/products/index.htm>
- [7] M. Morata Cariñena, **“Resonadores micromecanizados para su aplicación en la detección de gases”**, Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra, Marzo 2004.
- [8] Robert L. Mott, **“Mecánica de fluidos”**, Editorial Pearson, 6ª edición, México 2006.
- [9] Peter Damian, Kate Damian, **“Aromaterapia: El olor y la Psique”**, Inner Traditions, Bear & Company, México 1996, Pag. 80.
- [10] F. J. Gutiérrez, M.C. Horrillo, I. Sayago, L. Arés, M. J. Fernández y R. Gómez, **“Sensores inteligentes. Aplicaciones industriales de sensores olfativos”**, Instituto de Física Aplicada
- [11] <http://www.e-nose.com.ar/paginas/funcionamiento.htm>. 28-06-2010
- [12] J. Macías Guarasa, **“Los sistemas del olfato y el gusto. Fisiología y funcionamiento. El olfato y el gusto electrónico”**, Ingeniería Neurosensorial. Departamento de Ingeniería Electrónica.
- [13] Nidal F. Shilbayeh and Mahmoud Z. Iskandarani, **“Quality control of coffee using an electronic nose system”**, American Journal of Applied Sciences, 1(2):129-135, 2004.
- [14] Julian W. Gardner, and Philip N. Bartlett, **“A brief history of electronic nose”**, Department of Chemistry, University of Southampton, January 2002.
- [15] Servicio de Información y Noticias Científicas,
<http://www.plataformasinc.es/esl/Noticias/Crean-una-nariz-electronica-para-detectar-los-vapores-de-la-piel>

- [16] Centro Tecnológico Cartif
<http://www.cartif.com/index.php/es/laboratorios/laboratorio-de-analisis-y-ensayos/proyecto-nebli.html>
- [17] **“Diseño de una nariz electrónica para monitorizar el grado de maduración de la fruta”**, Prototipos de olfato electrónico, Pag. 35 – 68, (No hay nombre de autor publicado).
- [18] Acero inoxidable en el hogar
http://www.euro-inox.org/pdf/home/StainlessSteelinHome_SP.pdf
- [19] Nylamid
<http://www.nylamid.com.mx>
- [20] Salvador Escoda, **“Manual Práctico de Ventilación”**.
- [21] S. Vigneron, J. Hermia, J. Chaouki, **“Characterization and control of odours and VOC in the process industries”**, Elsevier, Amsterdam 1994, Pag. 12.
- [22] Piel – L Latinoamericana. El análisis del olor de la piel mejorará el diagnóstico del cáncer cutáneo. <http://piel-l.org/blog/archives/4376>
- [23] Jesús Brezmes Llecha, **“Diseño de una nariz electrónica para la determinación no destructiva del grado de maduración de la fruta”**, Pág. 144
- [24] Datasheets de los sensores FiS
- [25] Robert F. Coughlin, Frederick F. Driscoll, Raúl Bautista Gutiérrez, **“Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales”**, Pearson Education, 5ª Edición, México 1999, Pag. 111
- [26] I. Song, J. Bae, and S. Y. Kim, **“Advanced Theory of Signal Detection”**. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2002, sec. 1.3, p. 8.
- [27] D. W. Tufts, R. Kumarsen, and I. Kirsteins, **“Data adaptive signal estimation by singular value decomposition of a data matrix”**, Proc. IEEE, vol. 70, pp. 684–685, 1982.
- [28] E. Llobet, J. Brezmes, X. Vilanova, J.E. Sueiras y X. Correig, **“Sensors and Actuators B”**, 41 (1997) 13-21.
- [29] J. Kittler y P.C. Young, **“Pattern Recognition”**, 5 (1973) 335-352.
- [30] P. McAlernon, J.M. Slater, P.Lowthian y M. Appleton, **“Analyst”**, 121 (1996) 743-748.
- [31] Gonzalez Rafael C., Woods Richard E., **“Digital Image Processing”**, Prentice Hall, segunda edición, EUA 2001, Pag. 719 – 726.

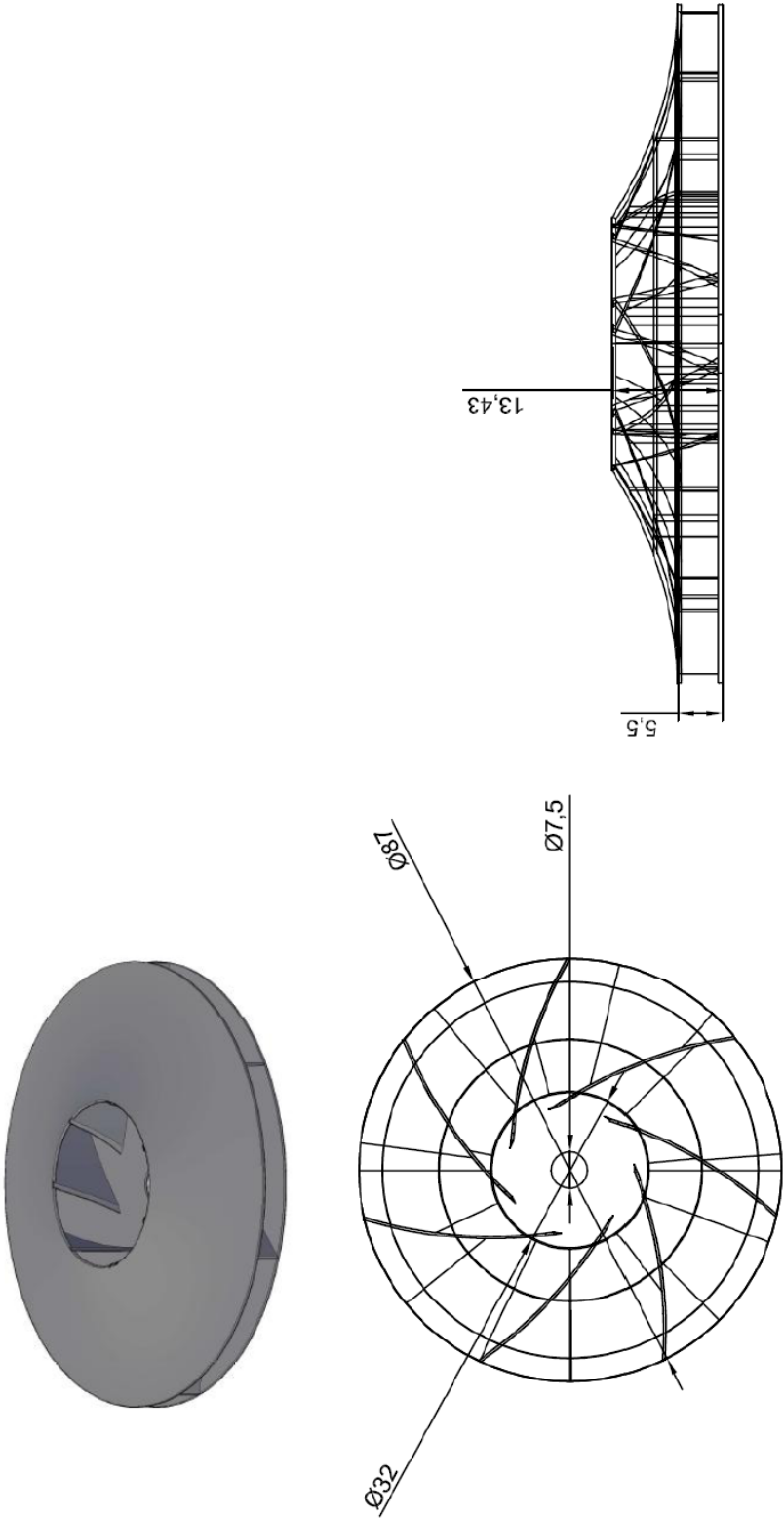
- [32] Mejía Carlos José, Vanegas Hernández Mauricio, **“Modelo de un reconocedor de palabras aisladas e independiente del locutor”**, Universidad Pontificia Bolivariana.
- [33] Rojas Huerta Manuel, **“Modelo de mezclas gaussianas”**, UAM Iztapalapa.
- [34] Tratamiento digital de imágenes . Rafael C. González, Richard E. Woods. págs. 119-121

Anexo 1. Modelos comerciales de sensores de gas

Gas detectado	Modelos Figaro		
Gas LP/propano	TGS813	TGS2610	TGS6810
Gas Natural/metano	TGS842	TGS2611	TGS6810
Gases combustibles	TGS813	TGS2610	
Hidrógeno	TGS821	TGS6812	
Monóxido de carbono	TGS2442	TGS5042	
Amonia	TGS826	TGS2444	
Sulfito de Hidrógeno	TGS825		
Metano y monoxide de carbono	TGS3870		
Alcohol, tolueno	TGS822	TGS2620	
Vapores volatiles orgánicos	TGS822	TGS2620	
R-22, R-113	TGS830		
R-21-R-22	TGS831		
R-134a,R-22	TGS832		
Gases refrigerantes	TGS83x	TGS2630	
Bióxido de carbono	TGS4161	TGS4160	
Aire contaminante	TGS800	TGS2600	
Desechos de gasolina	TGS2104		
Desechos de gasolina y Diesel	TGS2201		
Alcoholes	TGS880		
Vapor de Agua	TGS883T		
Oxígeno	KE-25		

Gas detectado	Modelos Fis	
CO y metano	SB-95-12	
Gas combustibles	SB-11A-00	SP-11-00
Metano	SB-12A-00	SP-12A-00
Propano/Butano	SB-15-00	SP-15A-00
Monóxido de carbono	SB-500-12	
Hidrógeno	SB-19-00	SP-19-00
Solventes Orgánicos	SB-30-00	SP-31-00
Freón(R-22)	SB-41-00	SP-41-00
Freón(R-134a, R-410a, R-407C)	SB-42A-00	SP-42A-00
Amonia		SP-53A-00 (Alta conc.) SP-53B-00 (Baja conc.)
Monóxido de Carbono	SB-500-12	
Ozono		SP-61-00
Óxidos nitrosos		SP-62 (en desarrollo)
Respiración	SB-EN3-02	
Alcohol	SB-EN2-02 SB-30-00	
Propósito general	SB-AQ1-06	SP3-AQ2-01 SP3S-AQ2-01
CO₂	SB-AQ6A-00	
Gas y CO₂	SB-AQ6B-00	SP6-AQ6-00
Desechos de gasolina	SB-AD3-00	
Desechos de Diesel	SB-AD2-00	

Anexo2. Ventilador del sistema de extracción de olores

	<p>IPN – UPIITA</p> <p>Trabajo Terminal 1. Sistema de identificación de perros por medio de una nariz electrónica</p>	<p>Material: Lámina de Acero</p> <p>Unidades: mm</p> <p>Fecha: 03 – noviembre – 2010</p>
	<p>Acosta Arenas Ana Rosa</p> <p>Mendoza Franco Gloria Adriana</p>	<p>Ventilador del sistema de extracción de olores</p>

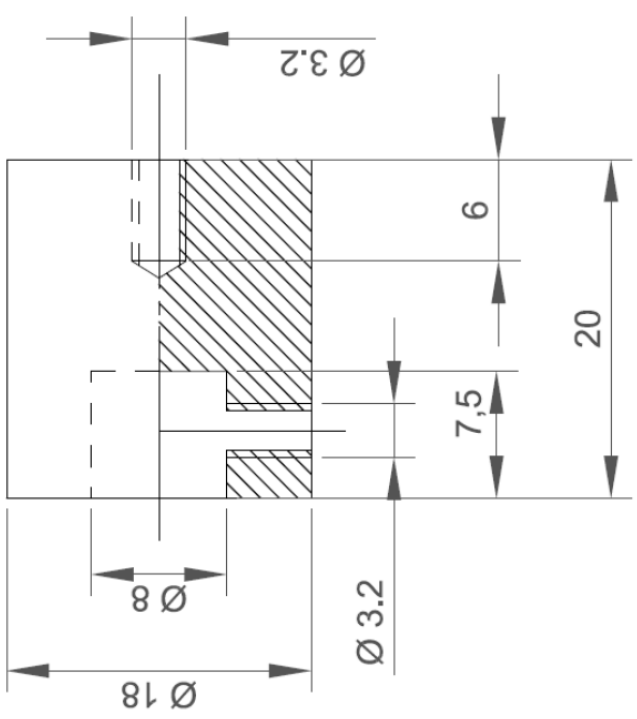
Anexo3. Tapa del sistema de extracción de olores

	<p>IPN – UPIITA Trabajo Terminal 1. Sistema de identificación de perros por medio de una nariz electrónica</p>	<p>Material: Lámina de acero Inoxidable Unidades: mm Fecha: 03 – noviembre – 2010</p>
<p>Acosta Arenas Ana Rosa Mendoza Franco Gloria Adriana</p>	<p>Tapa del sistema de extracción de olores</p>	

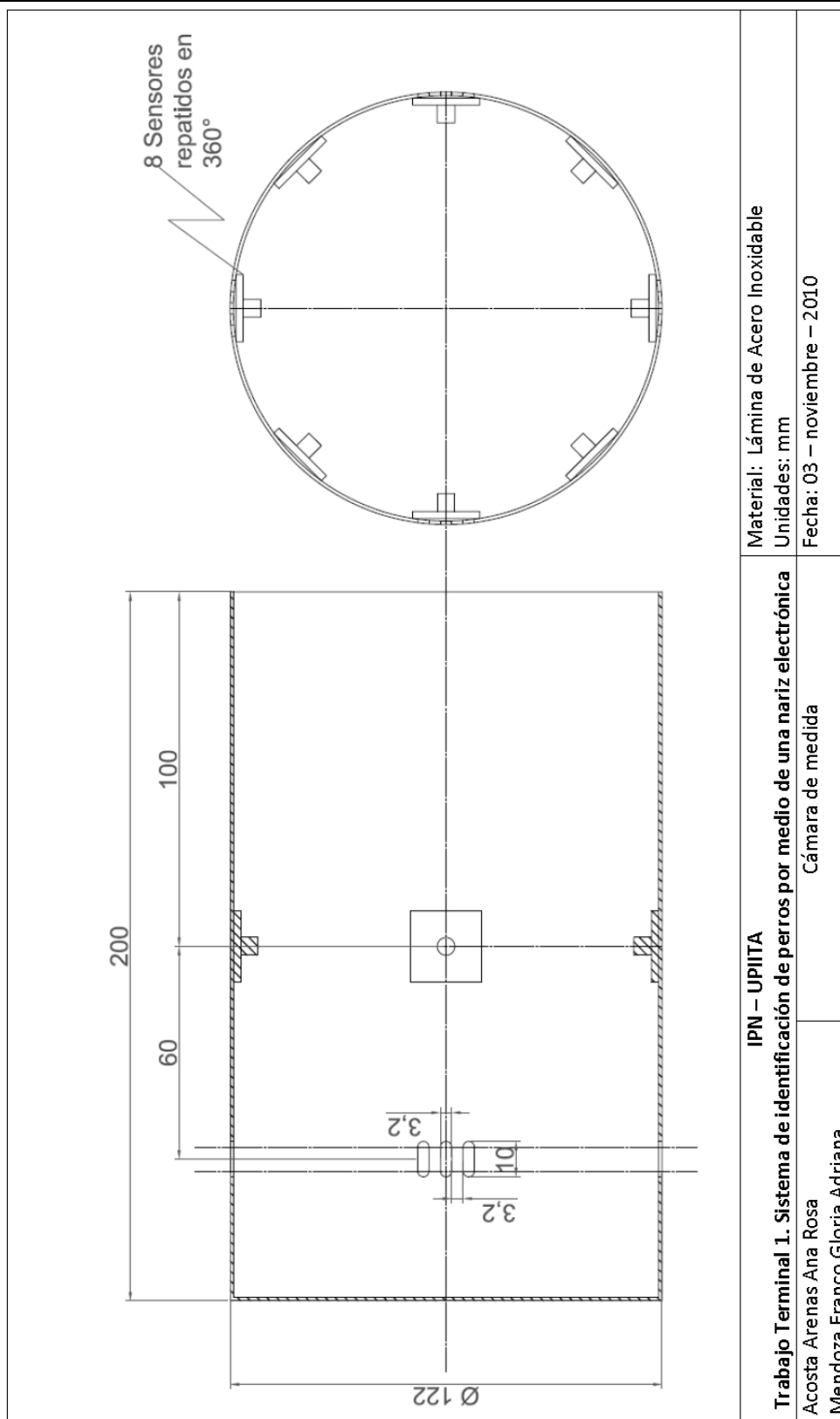
Anexo 4. Camisa del sistema de extracción de olores

	<p>Material: Nylamid Unidades: mm Fecha: 03 – noviembre – 2010</p>
	<p>IPN – UPIITA Trabajo Terminal 1. Sistema de identificación de perros por medio de una nariz electrónica</p>
	<p>Camisa del sistema de extracción de olores</p>
<p>Acosta Arenas Ana Rosa Mendoza Franco Gloria Adriana</p>	

Anexo 5. Cople motor - ventilador

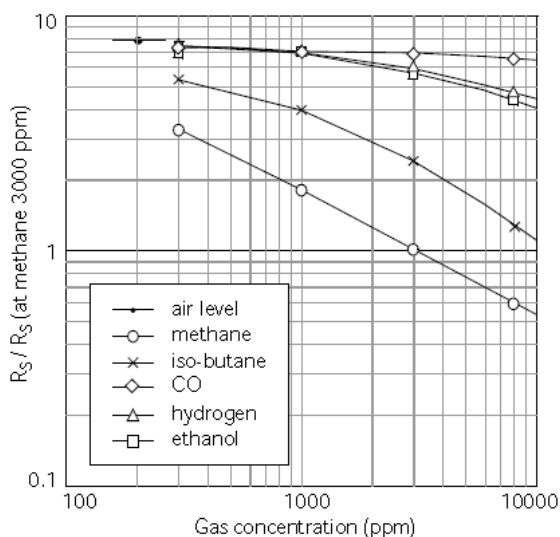
	<p>IPN – UPIITA Trabajo Terminal 1. Sistema de identificación de perros por medio de una nariz electrónica</p>	<p>Material: Nylamid Unidades: mm</p>
<p>Acosta Arenas Ana Rosa Mendoza Franco Gloria Adriana</p>	<p>Cople motor – ventilador</p>	<p>Fecha: 03 – noviembre – 2010</p>

Anexo 6. Contenedor de olores

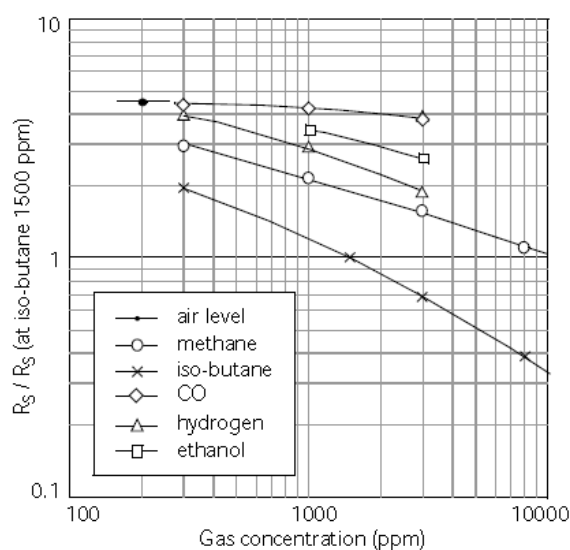


Anexo 7. Respuestas en Resistencia de los sensores de gas

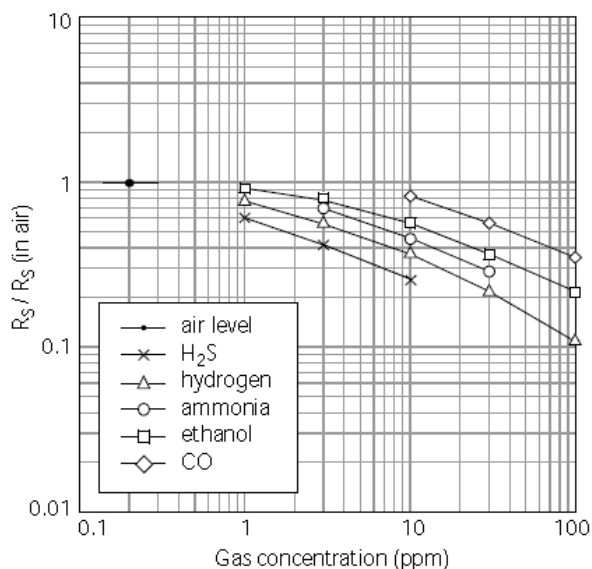
Sensibilidad del sensor SP-12A-00
(sensor de Metano)



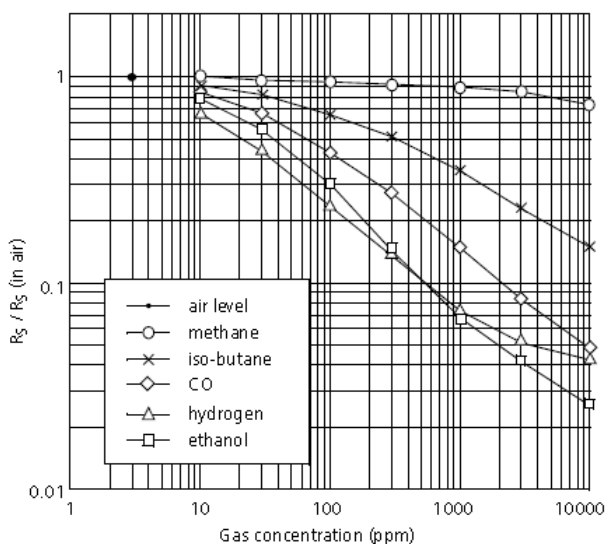
Sensibilidad del sensor SP-15A-00
(sensor de propano/butano)



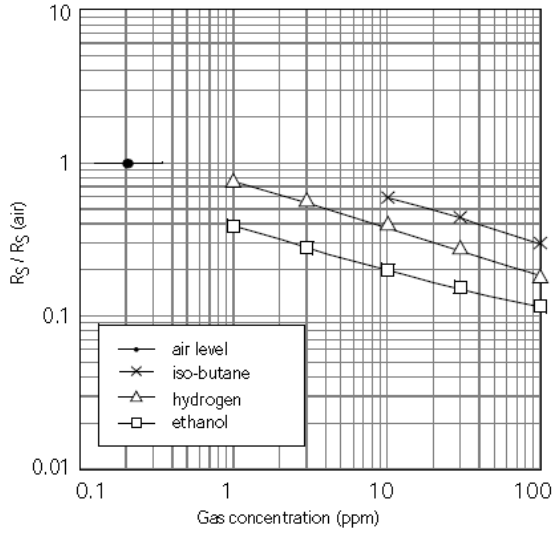
Sensibilidad del sensor SP3-AQ2-01
(sensor de gases VOC)



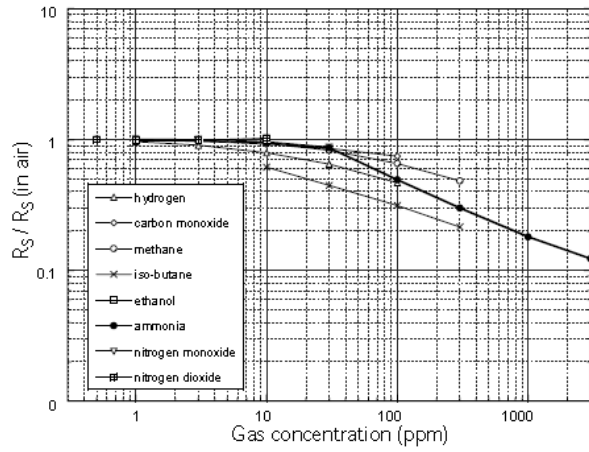
Sensibilidad del sensor SP3-AQ2-01
(sensor de gases VOC)



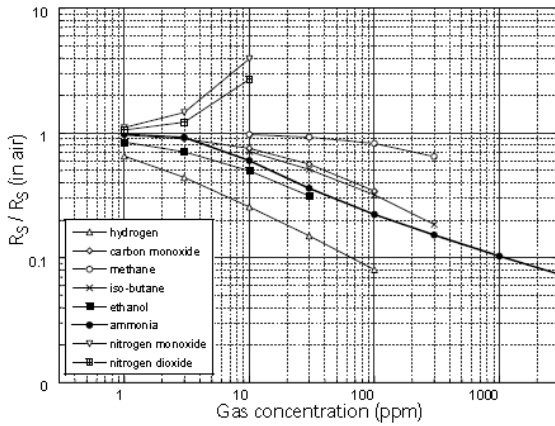
Sensibilidad del sensor SB-EN3-02
(sensor de respiración)



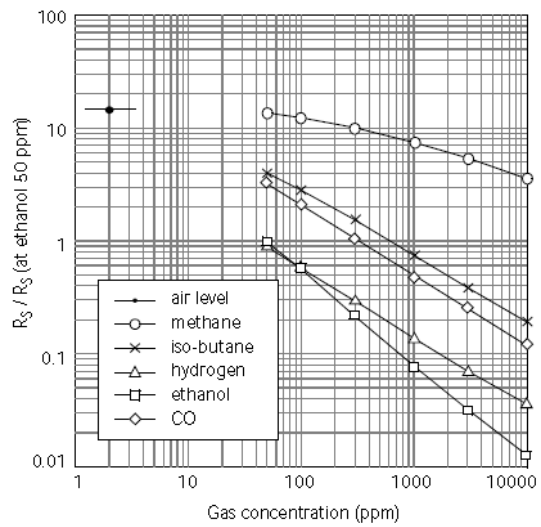
Sensibilidad del sensor SP-53A-00
(sensor de amonia, alta conc.)



Sensibilidad del sensor SP-53B-00
(sensor de amonia, baja conc.)



Sensibilidad del sensor SP-31-00
(sensor de solventes orgánicos)



Anexo 8. Diseño de Circuitos impresos

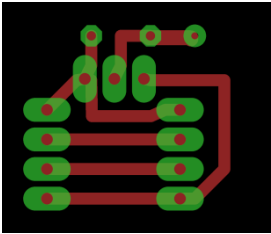


Figura 1. Circuito Impreso Sensores SB-A
Escala 1:1 cm

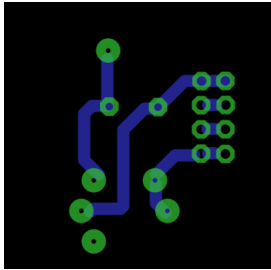


Figura 2. Circuito Impreso Sensores SB-B
Escala 1:1 cm

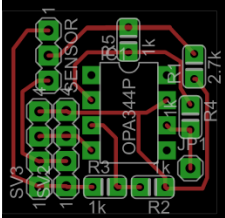


Figura 3. Circuito Impreso Sensores SP. Escala 1:1 cm

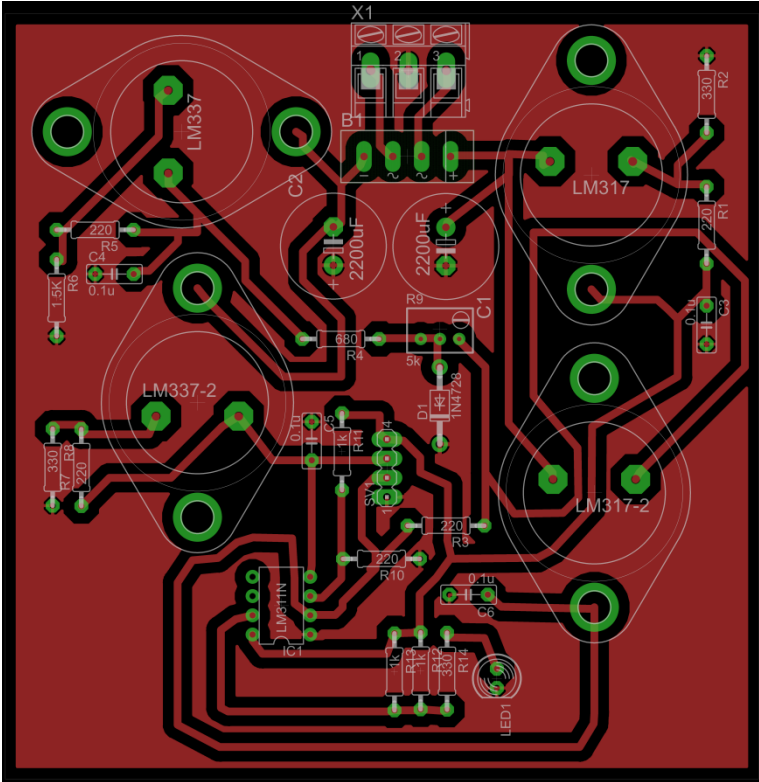


Figura4. Circuito impreso fuente de Alimentación. Escala 1:1 cm