



# **CLASIFICACIÓN DE COMPUESTOS VOLÁTILES A TRAVÉS DE TÉCNICAS DE MODULACIÓN DE TEMPERATURA EN SENSORES DE GASES QUÍMICOS.**

**(Autor)**

**JUAN PABLO BENJUMEA GUTIÉRREZ**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, ELÉCTRICA, SISTEMAS Y  
TELECOMUNICACIONES  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

**PAMPLONA, Noviembre 20 de 2015.**





# **CLASIFICACIÓN DE COMPUESTOS VOLÁTILES A TRAVÉS DE TÉCNICAS DE MODULACIÓN DE TEMPERATURA EN SENSORES DE GASES QUÍMICOS.**

**JUAN PABLO BENJUMEA GUTIÉRREZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**Director: CRISTHIAN MANUEL DURÁN ACEVEDO  
PhD. En Ingeniería Electrónica**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, ELÉCTRICA, SISTEMAS Y  
TELECOMUNICACIONES  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS  
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

**PAMPLONA, Noviembre 20 de 2015.**





**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS  
Y TELECOMUNICACIONES.**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**TRABAJO PRESENTADO PARA OPTAR POR ÉL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:  
CLASIFICACIÓN DE COMPUESTOS VOLÁTILES A TRAVÉS DE TÉCNICAS DE  
MODULACIÓN DE TEMPERATURA EN SENSORES DE GASES QUÍMICOS.**

**FECHA DE INCIO DEL TRABAJO:  
FECHA DE TERMINACIÓN DEL TRABAJO:**

**NOMBRES Y FIRMAS DE AUTORIZACIÓN PARA LA SUSTENTACIÓN:**

\_\_\_\_\_  
**JUAN PABLO BENJUMEA GUTIÉRREZ  
AUTOR**

\_\_\_\_\_  
**PhD. CRISTHIAN M. DURÁN A.  
DIRECTOR.**

\_\_\_\_\_  
**M.Sc. BLANCA J. CRISTANCHO P.  
DIRECTORA DE PROGRAMA.**

**JURADO CALIFICADOR:**

\_\_\_\_\_  
**M.Sc. JESÚS E. ORTIZ S.**

\_\_\_\_\_  
**M.Sc. (C) JULIO C. OSPINO**

**PAMPLONA - COLOMBIA  
NOVIEMBRE DE 2015**





## **Dedicatoria**

*A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.*

*Todo este trabajo ha sido posible gracias a su constante lucha por hacer de mí una mejor persona y un profesional integro.*





## **AGRADECIMIENTOS.**

Primero que todo quiero agradecerle a Dios por permitirme cumplir todas las metas propuestas y por dotarme con los dones necesarios para poder culminar satisfactoriamente mi metas más anhelada y obtener mi título profesional.

A mi madre Edilma Gutiérrez Cataño, gracias por brindarme todo tu apoyo desde que inicie mi formación como estudiante de ingeniería electrónica, porque gracias a todos tus consejos pude mantenerme firme a pesar de todas las dificultades que se me presentaron en el camino y seguir constante en mi formación como ingeniero, y así poder cumplir mi meta más anhelada.

A mi padre Juan Benjumea Díaz por ser un ejemplo de responsabilidad y tenacidad porque gracias a todos sus consejos y esfuerzo por forjar en mi la idea de ser un hombre de bien, obtuve el impulso que necesitaba para mantenerme en pie de lucha y poder sacar adelante mis estudios, le agradezco ese apoyo y sacrificio hecho durante el transcurso de mi formación académica. Muchas gracias por enseñarme la fortaleza para enfrentar la vida y los problemas que cada día surgen en ella.

Al Doctor Cristhian Manuel Duran Acevedo gracias por las horas de conocimiento impartido y por el apoyo incondicional antes, durante y después del desarrollo del proyecto, gracias por inculcarme el conocimiento investigativo y por hacerme parte importante del grupo de investigación sistemas multisensoriales y reconocimiento de patrones. Muchas gracias por su apoyo incondicional.

A los profesores del programa Ingeniería Electrónica, entre ellos los profesores designados como jurados de mi trabajo de grado el profesor Julio Cesar Ospino y el Jesús Eduardo Ortiz. Ya que tener como evaluadores a unos profesionales





íntegros y capacitados represento en mí una obligación para hacer la investigación con excelencia y responsabilidad.

A mis compañeros Abelardo Mejía Bugallo, Francisco Castellón, Emilio Flórez y José Daniel Ramírez por brindarme su colaboración en el proceso de desarrollo y culminación de mi tesis de grado y por compartir su conocimiento y horas de paciencia mientras estuve en el arduo proceso de culminación de esta etapa tan importante.

A mis amigos y compañeros de estudio durante toda etapa de Universidad, a todos ellos gracias por acompañarme en todo momento y en el arduo trabajo que como estudiante se debe tener, muchas gracias por brindarme su amistad y compañía durante largas horas de estudio.

A mi familia, a mis profesores, a mis amigos, conocidos y a todas las personas que tal vez olvido en mencionar, mil gracias, ayer simplemente comenzaba mi camino como estudiante de ingeniería electrónica sin ningún conocimiento básico y hoy culmino una etapa como Ingeniero Electrónico, gracias por el cariño brindado y por los sabios consejos.





## Tabla de contenido.

<b>Capítulo 1: Introducción.....</b>	<b>12</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>12</b>
<b>Abstract. ....</b>	<b>12</b>
<b>Planteamiento del Problema y Justificación. ....</b>	<b>12</b>
<b>Delimitación.....</b>	<b>13</b>
<b>Antecedentes. ....</b>	<b>14</b>
<b>Capítulo 2: Marco Teórico.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1. Sensores de óxido de estaño.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2. Sensores Figaro.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2.1. Tipos y aplicaciones.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2.2. Características de los sensores.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.3. Instrucciones generales de los sensores TGS. ....</b>	<b>23</b>
<b>2.2.4. Circuito de medida de los sensores Taguchi.....</b>	<b>23</b>
<b>2.3. Sensores FIS-SB.....</b>	<b>25</b>
<b>2.3.1. Tipos y Aplicaciones.....</b>	<b>25</b>
<b>2.3.2. Características de los sensores.....</b>	<b>27</b>
<b>2.4. Sensores FIS-SP.....</b>	<b>27</b>
<b>2.4.1. Tipos y Aplicaciones.....</b>	<b>27</b>
<b>2.4.2. Características de los sensores.....</b>	<b>30</b>
<b>2.5. Redes Neuronales Artificiales.....</b>	<b>30</b>
<b>2.6. Análisis de clúster.....</b>	<b>31</b>
<b>2.7. Análisis de Componentes Principales (PCA).....</b>	<b>32</b>
<b>2.8. Arduino.....</b>	<b>34</b>
<b>2.9. Válvula de Control de Flujo. ....</b>	<b>37</b>
<b>2.10. Bomba de Aire. ....</b>	<b>38</b>
<b>2.11. Métodos de Normalización. ....</b>	<b>39</b>
<b>2.12. Modulación de Temperatura. ....</b>	<b>40</b>
<b>Capítulo 3: Diseño.....</b>	<b>43</b>
<b>Estructura del sistema de acondicionamiento y adquisición.....</b>	<b>43</b>





<b>3.1. Cámara de concentración.....</b>	<b>44</b>
<b>3.2. Circuitos de Modulación.....</b>	<b>46</b>
<b>3.3. Cámara de sensores de gases.....</b>	<b>46</b>
<b>3.4. Sistema de adquisición de datos.....</b>	<b>48</b>
<b>3.5. Circuito De Alimentación. ....</b>	<b>50</b>
<b>3.6. Interfaz en Matlab. ....</b>	<b>52</b>
<b>3.6.1. Interfaz Principal. ....</b>	<b>52</b>
<b>3.6.2. Interfaz Para La Adquisición De Datos.....</b>	<b>53</b>
<b>3.6.3. Interfaz Para El Procesamiento De Datos.....</b>	<b>56</b>
<b>Capítulo 4: Resultados y Evidencias. ....</b>	<b>59</b>
<b>4.1. Análisis de las respuestas obtenidas.....</b>	<b>59</b>
<b>4.2. Evidencia Fotográfica. ....</b>	<b>74</b>
<b>Capítulo 5: Conclusiones.....</b>	<b>75</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>78</b>







## Índice de tablas.

<b>Tabla 1.</b> Campo de aplicaciones de los sensores químicos de óxido de estaño.....	20
<b>Tabla 2.</b> Campo de aplicaciones de los sensores Fis-SB ( $Ph = \text{Potencia heater}$ ).....	26
<b>Tabla 3.</b> Campo de aplicaciones de los sensores Fis- SP ( $Ph = \text{Potencia heater}$ ).....	29
<b>Tabla 4.</b> Descripción de los sensores de gases fígaro y Fis-Sp.....	48
<b>Tabla 5.</b> Descripción de los sensores de gases.....	60





## Índice de Figuras.

<b>Figura 1.</b> Sensores de gases de SnO <sub>2</sub> .....	16
<b>Figura 2.</b> Serie 1.....	16
<b>Figura 3.</b> Serie 5.....	17
<b>Figura 4.</b> Serie 8.....	17
<b>Figura 5.</b> TGS Serie 2000 tipo S1.....	17
<b>Figura 6.</b> TGS Serie 2000 tipo S2.....	18
<b>Figura 7.</b> TGS Serie 2000 tipo M1.....	18
<b>Figura 8.</b> TGS Serie 2000 tipo D1.....	18
<b>Figura 9.</b> Presentación comercial de la serie 8.....	19
<b>Figura 10.</b> Presentación comercial de la serie 8.....	19
<b>Figura 11.</b> Sensibilidad característica del TGS822.....	21
<b>Figura 12.</b> Influencia de la temperatura sobre la resistencia del sensor.....	22
<b>Figura 13.</b> Circuito de medida D.C. de los sensores TGS.....	24
<b>Figura 14.</b> Elemento sensor.....	25
<b>Figura 15.</b> Presentación comercial de los Fis serie SB.....	26
<b>Figura 16.</b> Elemento sensor de SP.....	28
<b>Figura 17.</b> Encapsulado sensor de SP.....	28
<b>Figura 18.</b> Arduino ATMEGA 2560.....	37
<b>Figura 19.</b> Electroválvula utilizada para el control de flujo de aire.....	38
<b>Figura 20.</b> Bomba de aire.....	38
<b>Figura 21.</b> Tensión aplicada a la resistencia calefactora (heater).....	41
<b>Figura 22.</b> Diagrama de Bode asintótico del módulo de este sistema.....	41
<b>Figura 23.</b> Diagrama en bloques del sistema de medida y adquisición.....	43
<b>Figura 24.</b> Montaje experimental del sistema de acondicionamiento y adquisición.....	44
<b>Figura 25.</b> Recipiente utilizado para la concentración de volátiles.....	45
<b>Figura 26.</b> Circuito generador de las señales de modulación.....	46
<b>Figura 27.</b> Cámara de sensores de gases.....	47
<b>Figura 28.</b> Diseño esquemático en Proteus.....	51
<b>Figura 29.</b> Conexiones eléctricas del circuito de potencia.....	51
<b>Figura 30.</b> Interfaz Principal.....	52
<b>Figura 31.</b> Interfaz para configuración de los parámetros de adquisición.....	54
<b>Figura 32.</b> Interfaz para configuración de los parámetros de procesamiento.....	56
<b>Figura 33.</b> Respuesta de los sensores cuando no se le aplica modulación de temperatura en el heater y están sometidos a una muestra de 1 ml de Alcohol al 70%.....	61
<b>Figura 34.</b> Respuesta de los sensores cuando aplica una modulación diente de sierra en el heater y están sometidos a una muestra de 1 ml de Alcohol al 70%.....	62
<b>Figura 35.</b> Respuesta de los sensores cuando aplica una modulación triangular en el heater y están sometidos a una muestra de 1 ml de Alcohol al 70%.....	63
<b>Figura 36.</b> Respuesta de los sensores cuando aplica una modulación cuadrada en el heater y están sometidos a una muestra de 1 ml de Alcohol al 70%.....	64
<b>Figura 37.</b> Respuesta de los sensores cuando no se le aplica modulación de temperatura en el heater y están sometidos a una muestra de 1 ml de Vino al 2%.....	65
<b>Figura 38.</b> Respuesta de los sensores cuando se le aplica modulación diente de sierra en el heater y están sometidos a una muestra de 1 ml de Vino al 2%.....	66
<b>Figura 39.</b> Respuesta de los sensores cuando se le aplica modulación triangular en el heater y están sometidos a una muestra de 1 ml de Vino al 2%.....	67





**Figura 40.** Respuesta de los sensores cuando se le aplica modulación cuadrada en el heater y están sometidos a una muestra de 1 ml de Vino al 2%..... 68

**Figura 41.** Análisis de componentes principales aplicado a la muestra de Alcohol y vino, con una señal continua en el heater..... 70

**Figura 42.** Análisis de componentes principales aplicado a las medidas de Alcohol y vino, con una señal diente de sierra aplicada al heater..... 71

**Figura 43.** Análisis de componentes principales aplicado a las medidas de Alcohol y vino, con una señal triangular aplicada al heater..... 72

**Figura 44.** Análisis de componentes principales aplicado a las medidas de Alcohol y vino, con una señal cuadrada aplicada al heater..... 73

**Figura 45.** Etapa de Potencia. Vista Superior.      **Figura 46.** Etapa de Potencia. Vista Inferior..... 74

**Figura 47.** Cámara de Sensores. Vista Inferior.      **Figura 48.** Cámara de Sensores. Vista Superior..... 74

**Figura 49.** Montaje experimental del circuito de modulación..... 74





# Capítulo 1: Introducción.

## Resumen.

El presente proyecto consiste en el diseño e implementación de un circuito de acondicionamiento para mejorar el funcionamiento de una nariz electrónica, a la cual se le aplicó en la resistencia calefactora (es decir, Heater), diferentes métodos de modulación de temperatura, con el fin de estudiar la respuesta de los sensores, y determinar si estos son capaces de hacer una clasificación cuando estos son expuestos compuestos volátiles.

El estudio fue basado en determinar la eficiencia del sensor de gas, analizando la sensibilidad, selectividad y repetitividad del sistema de medida, seleccionando el tipo de modulación para la detección del analito.

## Abstract.

The present project consist in the design and implementation of a conditioning circuit to improve the electronic nose performance, which was applied in the heating resistor (i.e, Heater), through different methods of temperature modulation, in order to study the sensors response and determine whether they are able to make a classification when these are exposed to volatile compounds.

The study was based on determining the efficiency of the gas sensors, analyzing the sensitivity, selectivity and repeatability of the measuring system and selecting the type of modulation (e.g. Pulse Width Modulation) for the analyte detection.

## Planteamiento del Problema y Justificación.

Al momento de realizar el estudio de detección de compuestos químicos volátiles, se presentan varias incógnitas y una de las principales es que tan eficiente será la medida del sensor a la hora de variar la frecuencia de trabajo (al momento de excitarlo), y que tan eficiente será la respuesta del sensor a esta frecuencia.





En estudios realizados anteriormente por diferentes investigadores como por ejemplo el de José Antonio Correa Duro en su artículo “Estudio de la modulación térmica de sensores de gases de tipo micro-hotplate mediante secuencias pseudoaleatorias”, A.Fort,M.Gregorkiewitz, N.Machetti, S.Rocchi, B.Serrano, L.Tondi, N.Ulivieri, V.Vignoli, G.Faglia,E.Comini, en su artículo “Selectivity enhancement of  $SnO$  sensors by means of operating temperature modulation”, se han obtenidos resultados importantes, pero pocos se han centrado en estudiar frecuencia de trabajo y eficiencia del sensor de gas al momento de realizar la modulación de temperatura en el heater, en dichos estudios solo se han detenido a mirar la repuesta del sensor al aplicarle una modulación de temperatura en el heater pero no han centrado en ver que tan efectiva en la respuesta del sensor y que tan fiable es su respuesta.

Para realizar este estudio nos basaremos en técnicas de modulación y métodos de procesamiento, tales como análisis de clúster, componentes principales y redes neuronales.

Se obtendrá la señal de los sensores a través de un dispositivo utilizado como tarjeta de adquisición para la captura de datos y posteriormente poder analizar la respuesta del sensor.

## **Delimitación.**

### **Objetivo General.**

- Realizar la clasificación de compuestos volátiles a través de la modulación de temperatura.

### **Objetivos Específicos.**

- Desarrollar un sistema de medida y de acondicionamiento de la muestra.
- Realizar una interfaz de usuario grafica para monitorear la respuesta de los sensores.





- Diseñar un circuito de acondicionamiento para la modulación de temperatura para los sensores de gases.
- Implementar métodos de procesamiento de datos para la clasificación señales.

### **Antecedentes.**

En estudios realizados previamente por diferentes investigadores, por ejemplo José Antonio Correa en su artículo titulado “Estudio de la modulación térmica de sensores de gases de tipo micro-hotplate mediante secuencias pseudoaleatorias”, A.Fort y colaboradores mediante el trabajo realizado sobre la Selectivity enhancement of SnO<sub>2</sub> sensors by means of operating temperature modulation, donde se han obtenidos resultados importantes.

En la actualidad algunos estudios se han centrado en estudiar la frecuencia de trabajo y eficiencia del sensor de gas al momento de realizar la modulación de temperatura en el heater, en dichos estudios solo se han centrado en aplicar una modulación de temperatura en el heater, pero no se ha obtenido una efectiva respuesta del sensor al momento de realizar la clasificación de compuestos volátiles.[1]

Para realizar este estudio se basaron en técnicas de modulación y métodos de procesamiento, tales como análisis de clúster, componentes principales y redes neuronales. Se adquirió la señal a través de un dispositivo para la captura de datos y posteriormente poder analizar la respuesta del sensor.





# Capítulo 2: Marco Teórico.

## 2.1. Sensores de óxido de estaño.

Los sensores de óxido de estaño contienen vacantes de oxígeno en su estructura cristalina. Cuando el material del sensor es calentado a elevadas temperaturas (alrededor de unos 400°C), los electrones libres fluyen fácilmente a través de la banda de conducción de las partículas de óxido de estaño.

En aire puro el oxígeno es absorbido por las partículas de óxido de estaño de la superficie y atrapa electrones libres debido a su alta electroafinidad, formando una barrera de potencial en la banda de conducción. Esta barrera de potencial restringe el flujo de electrones causando un incremento en la resistencia eléctrica. [2]

Cuando el sensor es expuesto a una atmósfera que contiene gases (reductores / combustibles, CO, etc.), el óxido de estaño de la superficie absorbe moléculas del gas produciéndose una reacción de oxidación entre el gas y el oxígeno absorbido, lo que disminuye la barrera de potencial y en consecuencia reduce la resistencia eléctrica. La relación entre la resistencia del sensor y la concentración del gas desoxidado puede ser expresada mediante la siguiente ecuación experimental, siendo válida para un cierto rango de concentración de un gas:

$$R = A * [C]^{-\alpha} \quad (1)$$

Donde, R es la resistencia eléctrica del sensor, A y  $\alpha$  son constantes y C es la concentración del gas. [3]

En la figura 1 se puede apreciar los diferentes diseños de sensores de gases de dióxido de estaño, dependiendo del fabricante y del tipo de gas para el que se utilice, puede variar su topología y forma.





Figura 1. Sensores de gases de SnO<sub>2</sub>.

## 2.2. Sensores Fíguro.

### 2.2.1. Tipos y aplicaciones.

La casa Fíguro, actualmente dispone de tres tipos de sensores elementales y seis configuraciones diferentes. Los tres tipos de sensores, denominados Taguchi, podemos clasificarlos en 4 series:

- **Serie 1:** Este tipo de sensores tiene dos electrodos bobinados, hechos de una aleación de iridio/paladio, que están encapsulados dentro de un elemento sensor sinterizado, donde uno o ambos de estos electrodos son usados como heater.

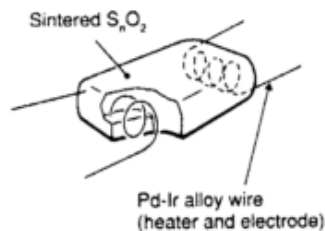


Figura 2. Serie 1.

- **Serie 5:** Esta serie tiene elementos miniaturizados. Dos electrodos y una capa delgada de dióxido de estaño, están formados sobre un heater insulado en un cable por capa.



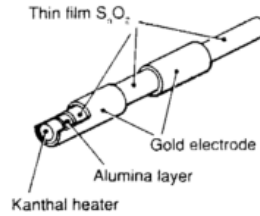


Figura 3. Serie 5.

- **Serie 8:** Estos sensores tienen un heater, dentro de un tubo cerámico de alúmina y el material semiconductor está montado sobre un tubo con dos electrodos grabados en oro.

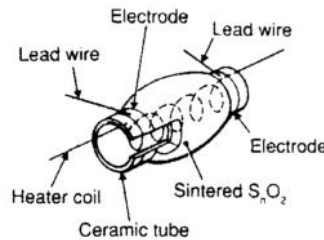


Figura 4. Serie 8.

- **Serie 2000:** Estos sensores se caracterizan por tener una capa gruesa de óxido de metal semiconductor como elemento sensor. Tanto el heater como el elemento sensor están situados sobre un mismo sustrato plano. Existen cuatro modelos con diferentes estructuras:
  - **Tipo S1:** Su estructura es muy simple, dispone de una sola cara en la que se encuentran el heater y el elemento sensor.

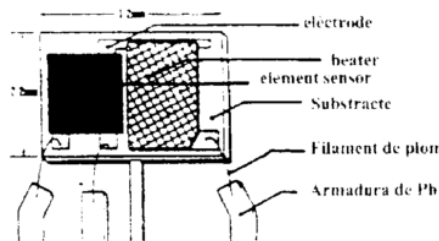
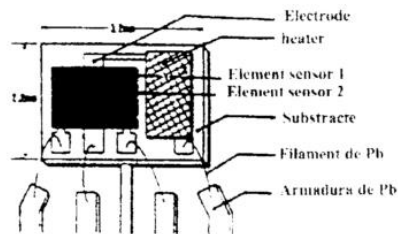


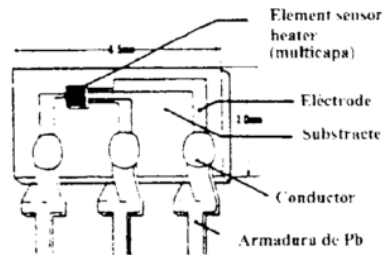
Figura 5. TGS Serie 2000 tipo S1.

- **Tipo S2:** Dispone de dos elementos sensores, que están en una sola cara, lo que permite tener dos salidas aumentando así el grado de información.



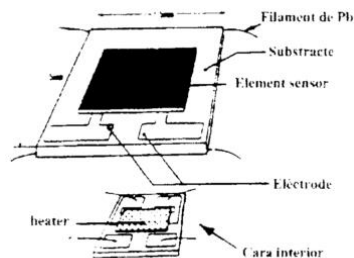
**Figura 6.** TGS Serie 2000 tipo S2.

- **Tipo M1:** Su estructura es un poco más compleja, dispone de una sola cara en la que se encuentra de forma miniaturizada y multicapa el heater y el elemento sensor.



**Figura 7.** TGS Serie 2000 tipo M1.

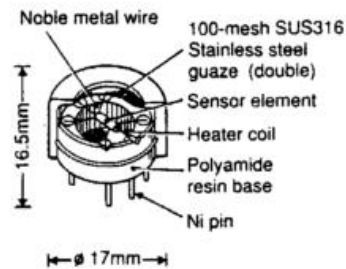
- **Tipo D1:** Se distingue del resto por tener dos caras. En una se encuentra el elemento sensor y en la otra el heater.



**Figura 8.** TGS Serie 2000 tipo D1.

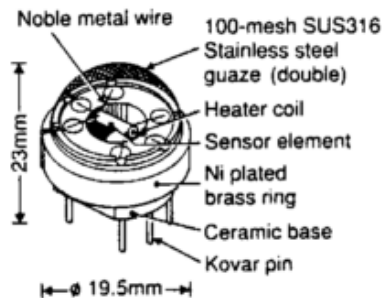


Los sensores químicos que se han empleado en este proyecto, corresponden a la serie 8, por lo que a continuación veremos que configuración, constituye dicha serie: Dicha configuración corresponde a un tipo estándar, con una base de resina y encapsulado. Algunos de los modelos utilizados con este tipo de encapsulado son TGS842, TGS822, y TGS813.



**Figura 9.** Presentación comercial de la serie 8.

Existe otra configuración, que se caracteriza por tener una resistencia de heater, una base cerámica sobre la que descansa el elemento sensor y además está recubierto por una especie de malla metálica, empleada como medio de protección. Los modelos TGS825, TGS831 y TGS832 tienen este tipo de encapsulado.



**Figura 10.** Presentación comercial de la serie 8.

La larga vida útil de estos sensores químicos de óxido de estaño, su elevado grado de sensibilidad, rapidez de su respuesta, una excelente durabilidad y su bajo coste, son las características que hacen que estos sensores tengan multitud de aplicaciones:





*¡Estoy comprometido!*



<b>Categoría</b>	<b>Uso doméstico</b>	<b>Uso comercial e industrial</b>
<b>Gases combustibles</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Metano</li> <li>• Propano</li> <li>• Hidrógeno</li> </ul>	- Alarma de gases para casas, vehículos y barcas	-Sistemas de detección de gas para comercios, plantas industriales y petroquímicas. -Detectores de gas portables
<b>Gases tóxicos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Monóxido de carbono</li> <li>• Amoniaco</li> <li>• Otros</li> </ul>	Detectores de CO para casas, vehículos, barcas	- Sistemas de monitoreo de CO para parkings - Detectores de fugas de amoniaco para refrigeradores. - Detectores de amoniaco para el sector primario - Detectores de gas portables Etilómetros
Alcohol	Etilómetros	Etilómetros profesionales
Vapores orgánicos		Detectores de disolventes para fábricas, semiconductores, industrias
CFCs (Clorofluorocarbonatos)		Detectores CFCs para congeladores, aires acondicionados, procesos de limpieza para componentes eléctricos...
Detectores de olores	Detectores de olores en congeladores	Sistemas de medida de olores para la industria alimentaria
<b>Otros</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Oxígeno</li> <li>• Hidrógeno</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detectores de oxígeno</li> <li>• Detectores de oxígeno para el mantenimiento de transformadores, baterías, etc.</li> </ul>
Detectores de fuego	Alarmas de fuego	Sistemas de detección de fuego

**Tabla 1.** Campo de aplicaciones de los sensores químicos de óxido de estaño.



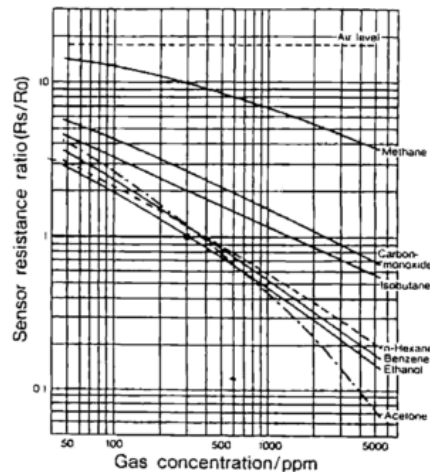


## 2.2.2. Características de los sensores.

- **Sensibilidad Diseño.**

La sensibilidad de los sensores de gas Figaro, está definida por la relación entre los cambios de concentración del gas y las variaciones de la resistencia del sensor, basada en una función logarítmica. Cada tipo de sensor tiene su propia sensibilidad característica, la cual le permite ser empleado para diferentes propósitos. .

En el eje de ordenadas se representa el valor de las resistencias del sensor medida para varias concentraciones de gases, comparada con la resistencia del sensor a 300 ppm de etanol.[3]



*Figura 11. Sensibilidad característica del TGS822.*

- **Efectos de la temperatura.**

La respuesta de estos sensores tiene una fuerte dependencia con la temperatura, tal y como se puede comprobar en la figura 2.11 donde se ve que su variación provoca un cambio notable en la resistencia del sensor. Podemos provocar un aumento de la temperatura si incrementamos la tensión de heater del sensor, por lo que es importante controlar esta variable.[3]



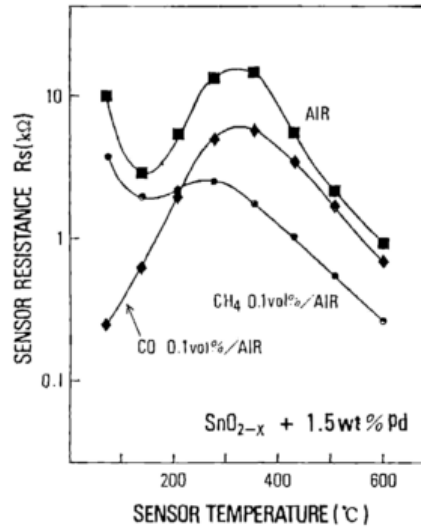


Figura 12. Influencia de la temperatura sobre la resistencia del sensor.

- **Dependencia con la humedad relativa.**

Las moléculas de agua absorbidas por la superficie del sensor le afectan disminuyendo su resistencia; esta es la razón por la que la sensibilidad del sensor depende del nivel de humedad relativo en la atmósfera. Es decir, a medida que aumenta la humedad, el valor de la resistencia del sensor va disminuyendo.

Cuando se quiere detectar un gas en presencia de un ambiente húmedo, al ser estos sensores sensibles a esta última variable, la detección del gas contaminante resulta más costosa. Por lo tanto debemos eliminar la dependencia con la humedad, para ello existen diversas técnicas:

- Mediante la medida de la humedad y realizar su compensación por software.
- Ciclo térmico pulsado (actuando sobre la resistencia de heater).
- A través de filtros mecánicos/químicos que eliminan la humedad.
- Manteniendo la humedad constante.[3]



### 2.2.3. Instrucciones generales de los sensores TGS.

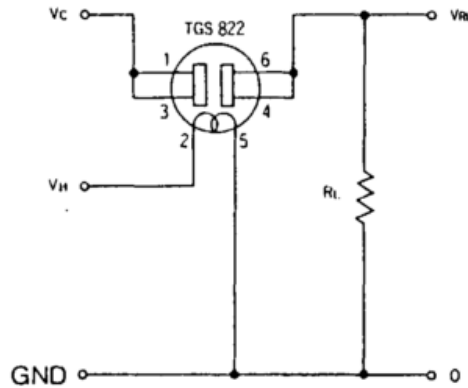
A continuación presentamos una serie de recomendaciones, para hacer un buen uso de los sensores de óxido de estaño de Fígaro:

- 1) Se recomienda emplear los circuitos de medida mostrados en las hojas de especificaciones ofrecidas por el fabricante.
- 2) La humedad y temperatura afectan la repetitividad de los sensores. Si incluimos un termistor para compensar dicha dependencia, disminuiríamos sus derivas, consiguiendo fijar el punto de trabajo del sensor.
- 3) Para calibrarlos debemos llevarlo a cabo bajo unas condiciones de temperatura y humedad controladas, y usando aire limpio y un gas puro. Se recomienda unos  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $65 \pm 5\%$  R.H.
- 4) Los sensores TGS pueden ser empleados con polarización continua o alterna. Sin embargo la resistencia del sensor puede cambiar de valor cuando es polarizado inversamente.
- 5) Los sensores antes de ser usados deben estar, como mínimo, durante una semana quemando (preheating time) sin ser expuestos a ningún contaminante, con la finalidad de que alcancen un valor de resistencia estable y eliminar cualquier impureza de su interior.[3]

### 2.2.4. Circuito de medida de los sensores Taguchi.

Para poder medir las variaciones de la resistencia del sensor, debemos ayudarnos de un circuito de medida (facilitado por el fabricante), formado básicamente por una resistencia de carga y una tensión de control:





**Figura 13.** Circuito de medida D.C. de los sensores TGS.

Obsérvese que el procedimiento de medida se basa en un circuito divisor de tensión.

Del análisis del circuito se desprende la siguiente fórmula:

$$R_s = \frac{V_C * R_L}{V_{RL}} - R_L \quad (2)$$

Donde:

- $V_C$ : Tensión de control (10 V d.c.)
- $V_h$ : Tensión de heater (5 V d.c.)
- $R_L$ : Resistencia de carga.
- $V_{RL}$ : Tensión de salida (variable a medir con la tarjeta de adquisición de datos).
- $R_s$ : Resistencia medida del sensor, la cual variará según los volátiles presentes en la cámara.

Teniendo en cuenta las limitaciones que impone el fabricante en cuanto a la potencia máxima nominal que pueden disipar dichos sensores (entiéndase por potencia la disipada en la resistencia del sensor) debemos dimensionar  $R_L$  de forma que no supere los 15 mW: Si aplicamos el concepto de potencia en continua al circuito de la figura 13:





$$P_S = \frac{(V_C - V_{RL})^2}{R_S} = I^2 * R_S = \frac{V_C^2 * R_S}{(R_S + R_L)^2} < 15mW \quad (3)$$

Contemplando dicha premisa se optó por un valor de  $R_L = 4.7K$ . [3]

## 2.3. Sensores FIS-SB.

### 2.3.1. Tipos y Aplicaciones.

Su tecnología de fabricación, ha facilitado la disminución del consumo de potencia del sensor, gracias a la integración de todo el conjunto que constituye el sensor (elemento sensor, encapsulado, patillaje, etc.).

Los sensores FIS tienen 2 series de fabricación: los SB (con tecnología micro bola), y la serie SP. La serie SB tiene un elemento sensor, el cual es un tipo de semiconductor mini bead, principalmente compuesto de dióxido de estaño ( $SnO_2$ ). [3]

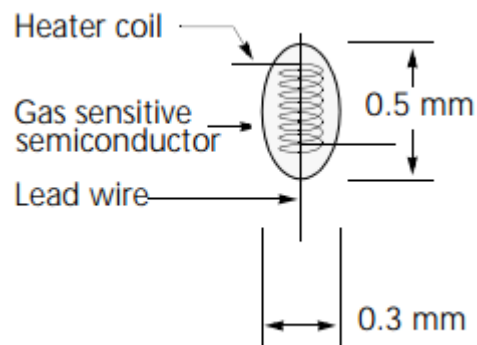
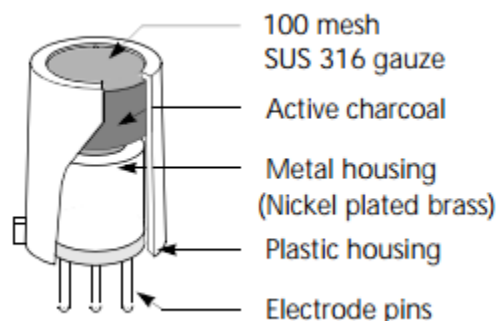


Figura 14. Elemento sensor.

Está formado por una bobina calefactora y un electrodo insertados bajo el elemento sensor. Los sensores Fis-SB que se han empleado en las medidas de prueba presentan un encapsulado metálico, que protege al elemento sensor. Dicho encapsulado está compuesto por dos mallas metálicas de acero inoxidable que descansan sobre una base de plástico. [3]





**Figura 15.** Presentación comercial de los Fis serie SB.

A continuación se presenta una tabla en la que se recogen de forma detallada cuales son los gases que detectan los sensores Fis-SB, el modelo y su consumo de potencia.

Aplicación	Gas detectado	Modelo (consumo de potencia)
Mezcla de dos gases	CO y Metano	SB-95-00 (Ph: 120 mW - máx.)
Gases inflamables	Hidrocarburos	SB-11 <sup>a</sup> -00 (Ph: 120 mW)
	Metano	SB-12 <sup>a</sup> sensor bajo prueba
	Propano/butano	SB-15-00 (Ph: 120 mW)
	Hidrógeno	SB-19-00 (Ph: 120 mW)
Disolventes orgánicos	De propósito general	SB-31-00 (Ph: 120 mW) Alcohol
	Alcohol	SB-30-00 (Ph: 120 mW)
Gases refrigerantes	HCFCs (R-22)	SB-41-00 (Ph: 120 mW)
	HFCs (R-134a)	SB-42-00 (Ph: 120 mW)
		SB-42 <sup>a</sup> sensor bajo prueba
Gases oxidantes	Óxido de nitrógeno	SB-62 sensor bajo prueba
Control de la calidad del aire (sistemas de control de ventilación, ...)	De propósito general	SB-AQ1A-00 (Ph: 120 mW)
	Humos de cigarrillos	SB-AQ4-00 (Ph: 140 mW)

**Tabla 2.** Campo de aplicaciones de los sensores Fis-SB (Ph = Potencia heater).



### 2.3.2. Características de los sensores.

- **Sensibilidad.**

La sensibilidad característica de los sensores de gases semiconductores, está basada en la relación entre la resistencia del sensor ( $R_s$ ), y la concentración de los gases. La resistencia del sensor se decrementa en función del gas depositado sobre el sensor, según una función logarítmica (de igual forma que los TGS).[3]

- **Efectos de la temperatura y humedad.**

Al igual que en los sensores Taguchi, los Fis con tecnología micro bola, poseen una fuerte dependencia con la temperatura y humedad. Las moléculas de agua que residen en la propia atmósfera son absorbidas por la superficie del sensor, lo que provoca una disminución de su resistencia. Esta es la razón por la que la sensibilidad del sensor depende del nivel de humedad relativo que halla en la atmósfera. Es decir a medida que aumenta la humedad, el valor de la resistencia del sensor va disminuyendo. Por otro lado la temperatura también es un parámetro a tener en cuenta, ya que a medida que aumenta, provoca una disminución en la resistencia del sensor.[3]

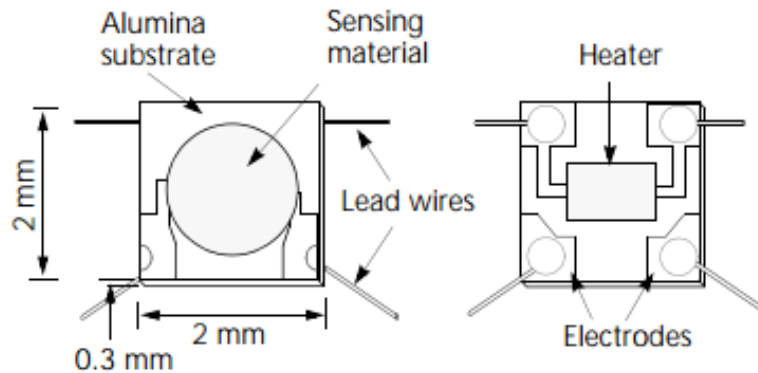
Por lo tanto, el sensor deberá trabajar, en la medida de lo posible, siempre bajo unas condiciones ambientales, de temperatura y humedad, constantes. De ahí la importancia de que se mantengan siempre las cámaras de medida cerradas herméticamente.[3]

### 2.4. Sensores FIS-SP.

#### 2.4.1. Tipos y Aplicaciones.

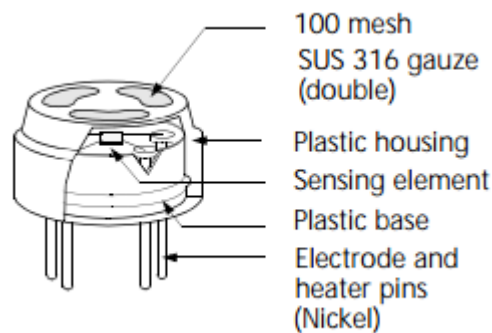
Se trata de sensores de Óxido de Estaño cuyo funcionamiento es idéntico al de los Taguchi. En la siguiente figura podemos ver el elemento sensor correspondiente a los sensores de la serie SP:





**Figura 16.** Elemento sensor de SP.

El material sensor se deposita en un substrato de alúmina en el cual se encuentran los electrodos de oro. En la cara opuesta del substrato se deposita el heater, normalmente de platino. El encapsulado que protege al elemento sensor se puede ver en la siguiente figura.[3]



**Figura 17.** Encapsulado sensor de SP.

A continuación se presenta una tabla en la que se recogen de forma detallada cuales son los gases que detectan los sensores Fis, el modelo y su consumo de potencia.



Categoría	Gas detectado	Modelo (consumo de potencia)
Gases inflamables	Hidrocarburos	SP-11-00 (Ph: 400 mW)
	Metano	SP-12A (Ph: 380Mw)
	Propano/butano	SP-15A-00 (Ph: 380 mW)
	Hidrógeno	SP-19-00 (Ph: 315 mW)
Disolventes orgánicos	De propósito general	SP-31-00 (Ph: 315 mW)
	Alcohol	SP-32-00 (Ph: 315 mW)
Gases refrigerantes	HCFCs (R-22)	SP-41-00 (Ph: 400 mW)
	HFCs (R-134a)	SP-42-00 (Ph: 400 mW) SP-42A sensor bajo prueba
Gases Tóxicos	Monóxido de carbono	-----
	Sulfuro de Hidrógeno	SP-51 sensor bajo prueba
	Amoniaco	SP-53-00 (Ph: 315mW)
Gases oxidantes	Ozono	SP-61 sensor bajo prueba
	Óxido de nitrógeno	-----
	Clorhídrico	SP-65 sensor bajo prueba
Control de alimentos	De propósito general	SP-MW0-00 (Ph: 400 mW)
	Humedad	SP-MW1-00 (Ph: 400 mW)
	Alcohol	SP-MW2-00 sensor bajo prueba
	Gases combustibles	SP-MW3-00 sensor bajo prueba
Control de calidad de aire interior	Propósito general	SP-AQ1-00 (Ph: 315mW) SP-AQ2-00 (Ph: 315mW) SP3-AQ2-00 (Ph: 315mW) SP3-AQ2Y-00 (Ph: 315mW)
	Humo de cigarrillos	SP-AQ3-00 (Ph: 315mW)
	CO <sub>2</sub>	Bajo test
Gases emitidos por los vehículos	Gasolina	SP-AD1/SP-AD3 bajo test
	Gas-oil	SP-AD2/SP-AD3 bajo test

**Tabla 3.** Campo de aplicaciones de los sensores Fis- SP (Ph = Potencia heater).





## 2.4.2. Características de los sensores.

- **Sensibilidad.**

La sensibilidad característica de los sensores de gases semiconductores está basada en la relación entre la resistencia del sensor ( $R_s$ ), y la concentración de los gases. La resistencia del sensor se decreta en función del gas presente en el ambiente, según una función logarítmica (de igual forma que los TGS).[3]

- **Efectos de la temperatura y la humedad.**

Al igual que en los sensores Taguchi y los Fis con tecnología micro bola (serie SB), los Fis de la serie SP poseen una fuerte dependencia con la temperatura y la humedad.[3]

## 2.5. Redes Neuronales Artificiales.

Las Redes Neuronales Artificiales (RNA) nos permiten resolver problemas, de forma individual o combinada con otros métodos, para aquellas tareas de clasificación, identificación, diagnóstico, optimización o predicción en las que el balance datos/conocimiento se inclina hacia los datos y donde, adicionalmente, puede haber la necesidad de aprendizaje en tiempo de ejecución y de cierta tolerancia a fallos. En algunos casos las RNAs se adaptan dinámicamente reajustando constantemente los “pesos” de sus interconexiones, en otros casos estos pesos permanecen fijos tras un proceso llamado entrenamiento.

Las RNAs se basan en la analogía que existe en el comportamiento y función del cerebro humano, en particular del sistema nervioso, el cual está compuesto por redes de neuronas biológicas que poseen bajas capacidades de procesamiento, sin embargo toda su capacidad cognitiva se sustenta en la conectividad de éstas.

La unidad de una red neuronal artificial es un procesador elemental llamado neurona que posee la capacidad limitada de calcular, en general, una suma ponderada de sus entradas y luego le aplica una función de activación para obtener una señal que será transmitida a la próxima neurona.





Estas neuronas artificiales se agrupan en capas o niveles y poseen un alto grado de conectividad entre ellas, conectividad que es ponderada por los pesos. A través de un algoritmo de aprendizaje supervisado o no supervisado, las RNAs ajustan su arquitectura y parámetros de manera de poder minimizar alguna función de error que indique el grado de ajuste a los datos y la capacidad de generalización de las RNAs.[2]

## 2.6. Análisis de clúster.

El análisis clúster se basa en intentar responder como es que ciertos objetos (casos) pertenecen o “caen” naturalmente en cierto número de clases o grupos, de tal manera que estos objetos comparten ciertas características.

Estas técnicas o también llamados “análisis Q”, “construcción de tipología”, “análisis de clasificación” y “taxonomía numérica”, son procedimientos multivariados que nos permiten agrupar las observaciones de forma que los datos sean muy homogéneos dentro de los grupos (mínima varianza) y que estos grupos sean lo más heterogéneos posible entre ellos (máxima varianza). De este modo se obtiene una clasificación multivariante de los datos con la que se puede comprender mejor los mismos y la población de la que proceden. Podemos realizar conglomerados por casos, por variables o por bloques, si se agrupan variables y casos. El análisis clúster se puede utilizar para:

- La taxonomía: agrupar especies naturales.
- El marketing: clasificar consumidores tipo.
- La medicina: clasificar seres vivos con los mismos síntomas y características patológicas.
- El reconocimiento de patrones.
- Formar grupos de píxeles en imágenes digitalizadas enviadas por un satélite desde un planeta para identificar los terrenos.





Es un análisis descriptivo y no inferencial, por lo cual es una técnica exploratoria que parte de una matriz no estructurada y que tiene como objetivo la obtención de un conjunto de individuos en dos o más grupos basándose en su similitud para un conjunto de variables o características especificadas.

Al formar grupos homogéneos, el investigador puede conseguir los siguientes objetivos:

- Descripción de una taxonomía, permitiendo obtener una clasificación de los individuos que a su vez puede ser comparada con una tipología propuesta (clasificación basada en la teoría).
- Simplificación de los datos, ya que las observaciones pueden agruparse para análisis posteriores; es decir, permite ver las observaciones como miembros de un conglomerado y perfiladas por sus características generales.
- Identificación de relaciones, ya que al estar los conglomerados definidos y la estructura subyacente de los datos representada en dichos conglomerados, el investigador tiene un medio de revelar las relaciones entre los individuos que quizá sería muy difícil de detectar a partir de las observaciones individuales.

Las soluciones pueden ser diferentes variando uno o más de sus elementos. Es decir, la solución es totalmente dependiente de las variables utilizadas como base para la medida de similitud.[4]

## 2.7. Análisis de Componentes Principales (PCA).

El Análisis de Componentes Principales (ACP) pertenece a un grupo de técnicas estadísticas multivariantes, eminentemente descriptivas. El enfoque francés de este análisis fue desarrollado por Benzecri (1980). Posteriormente ha sido muy difundido, especialmente en el tratamiento de grandes masas de datos.







El ACP permite reducir la dimensionalidad de los datos, transformando el conjunto de  $p$  variables originales en otro conjunto de  $q$  variables incorrelacionadas ( $q \leq p$ ) llamadas componentes principales. Las  $p$  variables son medidas sobre cada uno de los  $n$  individuos, obteniéndose una matriz de datos de orden  $np$  ( $p < n$ ).

En el ACP existe la opción de usar la matriz de correlaciones o bien, la matriz de covarianzas. En la primera opción se le está dando la misma importancia a todas y a cada una de las variables; esto puede ser conveniente cuando el investigador considera que todas las variables son igualmente relevantes. La segunda opción se puede utilizar cuando todas las variables tengan las mismas unidades de medida y además, cuando el investigador juzga conveniente destacar cada una de las variables en función de su grado de variabilidad.

Las  $q$  nuevas variables (componentes principales) son obtenidas como combinaciones lineales de las variables originales.

Los componentes se ordenan en función del porcentaje de varianza explicada. En este sentido, el primer componente será el más importante por ser el que explica mayor porcentaje de la varianza de los datos. Queda a criterio del investigador decidir cuántos componentes se elegirán en el estudio.

El análisis se realiza en el espacio de las variables  $y$ , e  $n$  forma dual, en el espacio de los individuos. Se acostumbra a representar gráficamente los puntos-variables y los puntos-individuos tomando como ejes de coordenadas los componentes. A veces, puede facilitar la interpretación de los resultados, el observar la similar ubicación de los puntos en los planos respectivos. Aunque el plano de puntos-variables no se superpone al plano de puntos-individuos, es de gran utilidad "interpretar" la cercanía de un grupo de puntos-individuos, a ciertas variables.

En la práctica es frecuente que se disponga de información adicional que amplía la matriz de datos originales. Se puede tener otras medidas de los individuos de la muestra, o también nuevos individuos para los que se conozcan las variables





analizadas. A estos datos adicionales se les llama suplementarios o ilustrativos porque no intervienen en la formación de los componentes. En estos casos se calculan las coordenadas de cada punto individuo o variable respecto a los ejes y se representan en los gráficos. Esto permite analizar las relaciones de la información suplementaria con los componentes principales. Generalmente la introducción de estos datos en el análisis se hace porque facilita la interpretación de los resultados.[5]

## 2.8. Arduino.

Un Arduino es un microcontrolador de una placa y una suite de software para la programación de la misma. El hardware consiste en un diseño de hardware abierto sencilla para el controlador con un procesador Atmel AVR y el tren de E/S de apoyo. El software consiste en un lenguaje de programación estándar y el gestor de arranque que se ejecuta en el tablero. "Para ponerlo en términos simples, un Arduino es una pequeña computadora que se puede programar para procesar entradas y salidas entre el dispositivo y los componentes externos que conecte al mismo.

El Arduino es lo que se conoce como una plataforma de computación física o incorporado, lo que significa que es un sistema interactivo que puede interactuar con su entorno mediante el uso de hardware y software. Por ejemplo, un simple uso de un Arduino sería convertir una luz encendida durante un período determinado de tiempo, digamos 30 segundos, después de un botón se ha pulsado. En este ejemplo, el Arduino tendría una lámpara y un botón conectado a él.

El Arduino se sentaba pacientemente esperando el botón para ser presionado; una vez que se pulsa, el Arduino sería encender la lámpara y empezar a contar. Una vez que se había contado durante 30 segundos, sería apagar la lámpara y luego esperar a que otro botón de prensa. Usted podría utilizar esta configuración para controlar una lámpara en un armario, por ejemplo. Se podría extender este concepto





mediante la conexión de un sensor, tal como un PIR, para encender la lámpara cuando se ha disparado. Estos son algunos ejemplos sencillos de cómo se puede utilizar un Arduino.

El Arduino se puede utilizar para desarrollar objetos interactivos autónomos o puede ser conectado a un ordenador, una red, o incluso Internet para recuperar y enviar datos desde y hacia el Arduino y luego actúan en esos datos. En otras palabras, se puede enviar un conjunto de datos recibidos de algunos sensores a una página web, que luego se pueden visualizar en forma de un gráfico. El Arduino puede conectarse a LED, pantallas de matriz de puntos, los botones, interruptores, motores, sensores de temperatura, sensores de presión, sensores de distancia, receptores GPS, módulos Ethernet, o cualquier cosa que las salidas de datos o puede ser controlado. Una mirada en torno a Internet se abre una gran cantidad de proyectos en los que un Arduino se ha utilizado para leer datos desde o controlar una increíble variedad de dispositivos.

La placa Arduino se compone de un Atmel AVR microprocesador, un cristal u oscilador (un reloj de crudo que envía pulsos de tiempo a una frecuencia especificada para que pueda operar a la velocidad correcta), y un regulador lineal de 5 voltios. Dependiendo de qué tipo de Arduino que tenga, sino que también puede tener un puerto USB para conectar a un PC o Mac para subir o recuperar datos. La Junta expone pines de E / S del microcontrolador (entrada / salida) para que pueda conectar los pines a otros circuitos o sensores. La última placa Arduino, el Uno, se diferencia de las versiones anteriores de la Arduino en que no utiliza el chip controlador de USB a serial FTDI. En su lugar, utiliza un Atmega8U2 programado como convertidor USB a serie. Esto le da a las de mesa una serie de ventajas respecto a su predecesor, el Duemilanove. En primer lugar, el chip ATmega es mucho más barato que el chip FTDI, con lo que los precios de los tableros de abajo. En segundo lugar, y lo más importante, que permite el chip USB para tener su firmware reprogramado para que el Arduino se vea en su PC como otro





dispositivo, como un controlador de ratón o juego. Esto abre toda una serie de nuevos usos para el Arduino. Desafortunadamente, moviéndose hacia este nuevo chip USB ha hecho mucho más difícil para los fabricantes de clones para hacer clones Arduino Uno. Para programar el Arduino (hacer que haga lo que usted quiere que) utiliza el Arduino IDE (Integrated Development Environment), que es una pieza de software libre en la que se escribe el código en el idioma que el Arduino entiende (un lenguaje llamado C). El IDE le permite escribir un programa de ordenador, que es un conjunto de instrucciones paso a paso que luego subir a la Arduino. Su Arduino entonces llevar a cabo estas instrucciones e interactuar con todo lo que ha conectado a la misma. En el mundo de Arduino, los programas se conocen como bocetos.

El hardware y el software de Arduino son tanto de código abierto, lo que significa que el código, esquemas, diseño, etc. puede ser tomada libremente por cualquier persona para hacer lo que quieran con ellos. Por lo tanto, hay muchas placas de clones y otras plataformas basadas en Arduino disponibles para comprar o para hacer de un esquema. De hecho, no hay nada que nos impida la compra de los componentes adecuados y hacer su propio Arduino en un circuito o en su propio PCB casera (Printed Circuit Board). La única salvedad de que el equipo de Arduino impone es que no se puede utilizar la palabra "Arduino." Este nombre está reservado para la placa oficial. Por lo tanto, las tablas de clones tienen nombres como Freduino, Robduino, etc. A medida que los diseños son de código abierto, cualquier tablero clon es 100% compatible con el Arduino y por lo tanto, cualquier software, hardware, escudos, etc. También será 100% compatible con una verdadera Arduino.[6]



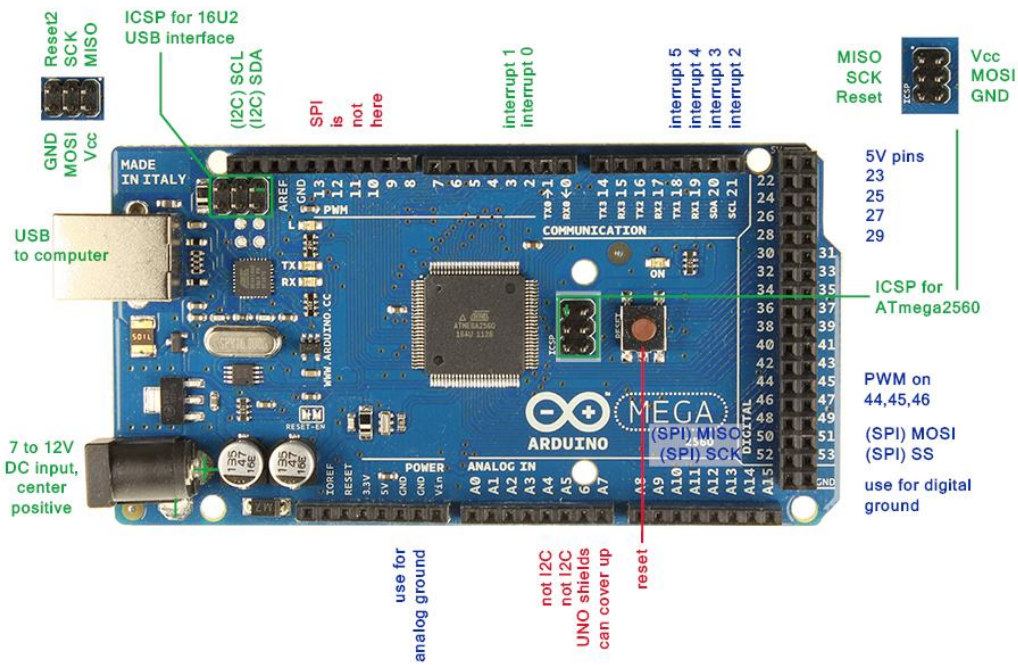


Figura 18. Arduino ATMEGA 2560.

## 2.9. Válvula de Control de Flujo.

Existen muchos tipos diferentes de válvulas, pero las válvulas manuales más típicamente utilizadas en sistemas de vapor son las de globo, bola, compuerta y mariposa, pero en este caso se utilizara una válvula eléctrica, con el fin de hacer automático el sistema y poder accionar la válvula desde la interfaz de usuario.

La electroválvula consta de un solenoide, que al aplicarle un voltaje de 24V genera un campo magnético cambiando el estado de la vía de la válvula, haciendo que el aire que fluye a través de ella cambie de sentido. Esta válvula se encargará de llevar el aire del ambiente a la cámara de sensores de gases cuando se estén depurando y posteriormente cambiara de estado dejando fluir el aire que se encuentra en la cámara de concentración.



*Figura 19. Electroválvula utilizada para el control de flujo de aire.*

## **2.10. Bomba de Aire.**

Una bomba de vacío de aire extrae los compuestos volátiles de gas de un volumen sellado, para crear un vacío parcial, para posteriormente llevarlos a otro recipiente, en nuestro caso extraerá los compuestos volátiles almacenados en la cámara de concentración y los transportará a la cámara de sensores, para poder realizar la medida del analito.

La ventaja de esta bomba de vacío es el flujo constante de aire hacia la cámara de sensores, evitando la contaminación de los compuestos a analizar, y así obteniendo medidas acertadas de los sensores.



*Figura 20. Bomba de aire.*



## 2.11. Métodos de Normalización.

Para extraer la máxima información de las señales adquiridas es posible utilizar 5 métodos típicos de pre-procesado de datos: Auto-escalado, centrado, normalización por columna, normalización por matriz y normalización por valor absoluto. Los métodos se pueden seleccionar desde un cuadro en donde el método de auto-escalado esta seleccionado por defecto. A continuación se describen muy brevemente las funciones de cada uno de ellos.

- **Auto-escalado (“Autoscaling”)**: Con este método, se realizan cálculos individuales por columna (es decir, por sensor o parámetro del sensor). El método calcula el valor medio y la varianza con los valores obtenidos para las medidas para un sensor (columna) determinado. A continuación, se le resta el valor medio a todos los datos de dicha columna y el resultado se escala por la desviación estándar. De esa forma, todas las columnas de datos (variables) presentan una media igual a cero y una varianza igual a la unidad. El objetivo de esta normalización es la de dar igualdad de escala a cada una de las variables o parámetros que describen cada medida. Este tipo de escalado es muy útil cuando los parámetros que describen cada experiencia son de naturaleza (y por tanto de unidades) diferentes. Incluso en el caso de que cada variable represente el mismo parámetro para un sensor hay que recordar que diferentes sensores trabajan en diferentes valores de resistencia, por lo que es conveniente que todos ellos trabajen dentro del mismo rango de valores. El éxito de este escalado radica en que, a priori, asigna la misma importancia numérica a cada una de las variables que describen una medida, independientemente de su naturaleza o sensor del que provengan. De todas formas, hay que tener cuidado ya que este proceso puede incrementar notablemente el ruido existente en señales débiles.
- **Centrado (“mean centring”)**: En esta normalización a cada una de las columnas (variables) se le resta su valor medio. Es decir, toda medida es





*¡Estoy comprometido!*



descrita por variables de media nula. Este tipo de centrado es fundamental para los métodos lineales aplicados en este estudio (PCA y DFA), ya que sin él no funcionan adecuadamente.

- **Normalización por columna:** En esta tercera opción de nuevo se opera por columnas. Se busca el máximo valor de cada columna y todos los valores de la misma se dividen por dicho valor. De esta forma se consigue que cada columna contenga valores entre “0” y “1”.
- **Normalización por matriz:** Divide toda la matriz por el elemento máximo de la misma. En este caso solo un elemento valdrá la unidad.[7]
- **Normalización por Valor Absoluto:** Consiste en obtener el valor absoluto de cada uno de los valores de la matriz obtenidos posteriormente en el método de extracción.

## 2.12. Modulación de Temperatura.

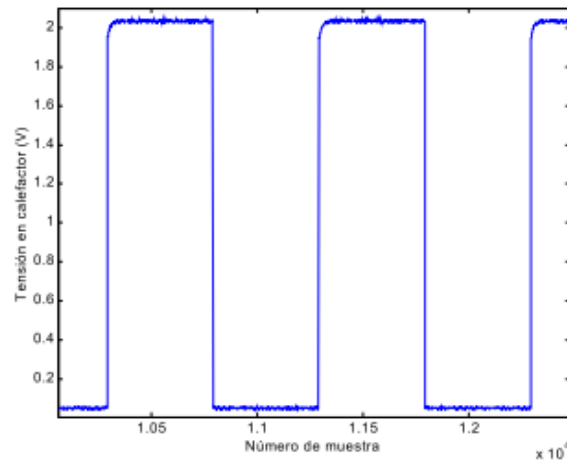
Entre las técnicas más empleadas para la mejora de las medidas con sensores se encuentran la investigación de nuevos materiales, la utilización de técnicas de pretratamiento de las muestras, el diseño de agrupaciones de sensores con sensibilidades parcialmente solapadas junto a técnicas de reconocimiento de patrones o la utilización del régimen dinámico de la respuesta de los sensores.

Para estos sensores fabricados su temperatura de trabajo se estabiliza, siguiendo un modelo de primer orden, tan sólo 13 o 19 ms (es decir, según sea de capa fina o gruesa), después que se haya producido un cambio brusco de la corriente inyectada a los elementos calefactores.

En la Figura 21 se observa el tiempo de establecimiento de la señal tipo escalón aplicada al heater del sensor.



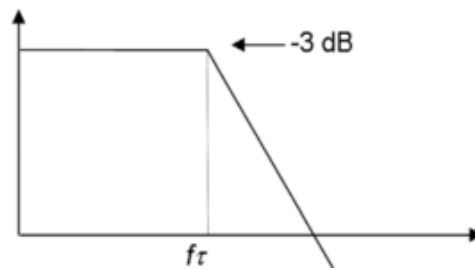




**Figura 21.** Tensión aplicada a la resistencia calefactora (heater).

La constante de tiempo de este sistema de primer orden, marcará la anchura del rango frecuencial que se debe modular. De esta forma, cuanto menor sea el tiempo de respuesta implicará una mayor frecuencia de corte del sistema, que será directamente la frecuencia para generar la modulación la temperatura.

En la figura 22 se ilustra un diagrama de Bode asintótico del módulo de este sistema, donde se especifica la atenuación de las frecuencias superiores a la de corte.



**Figura 22.** Diagrama de Bode asintótico del módulo de este sistema.

Aunque está atenuación no hay que mirarla como una desventaja del estudio. Al contrario, ya que nos filtrará la nunca deseable AF procedente de ruidos acoplados al sistema.

Diversos trabajos han mostrado la posibilidad de utilizar información de la respuesta dinámica de un sensor modulado térmicamente para distinguir gases y





cuantificarlos. En nuestro caso en particular, la modulación de la temperatura de trabajo de los sensores permite alterar la cinética de las reacciones que se producen en la superficie del sensor en presencia de los gases a detectar.

Se ha mostrado que la utilización de la respuesta dinámica permite reducir efectos de derivas. Aunque los resultados mostrados en dichos trabajos son prometedores, en ninguno se ha planteado de forma rigurosa la selección de las frecuencias a emplear para la modulación térmica de los sensores.

El estudio cuidadoso del comportamiento de los sensores en un amplio espectro de frecuencias de modulación es necesario para asegurar que la frecuencia (o frecuencias) finalmente escogida es la óptima para cada aplicación considerada.[1].



## Capítulo 3: Diseño.

### Estructura del sistema de acondicionamiento y adquisición.

Este estudio se realizó utilizando un sistema de acondicionamiento y de medida aplicado al desarrollo de una nariz electrónica compuesta por 4 sensores.

Cada sensor es sensible a compuestos volátiles diferentes, esta selección se efectuó con el fin de hacer el sistema selectivo, es decir, capaz de detectar cualquier compuesto volátil a partir de la respuesta de cada sensor.

La Figura 23 ilustra un diagrama de bloques del proceso de clasificación de compuestos volátiles utilizando la nariz electrónica, a la cual se le aplicaran las técnicas de modulación de temperatura.

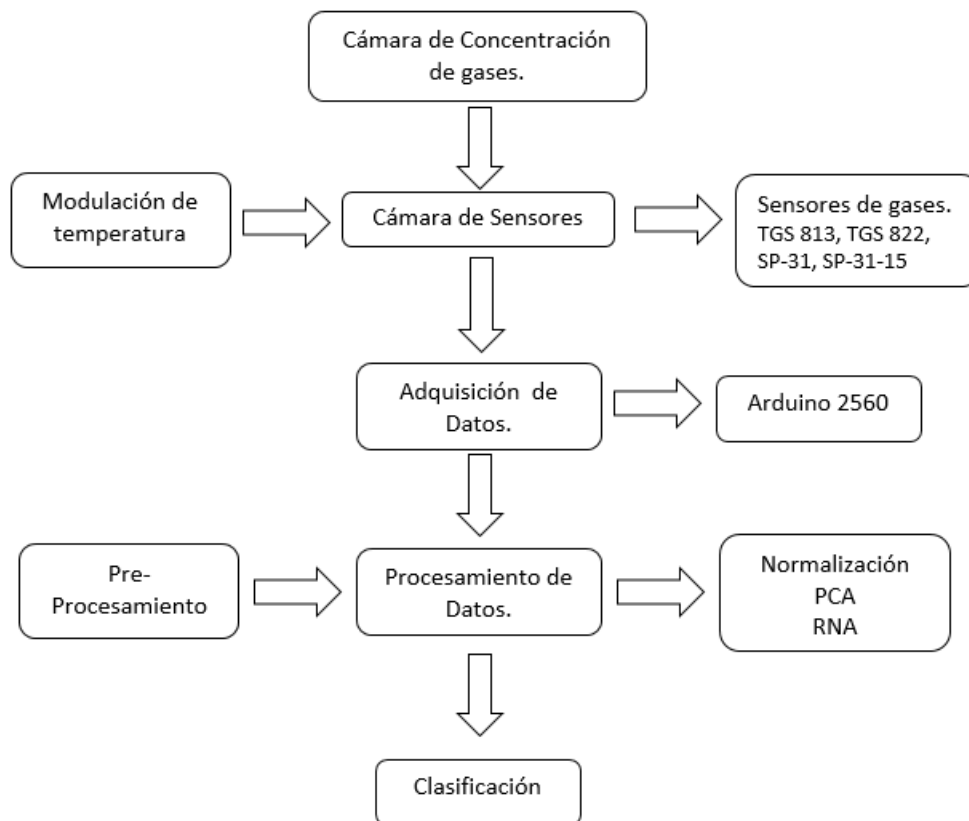
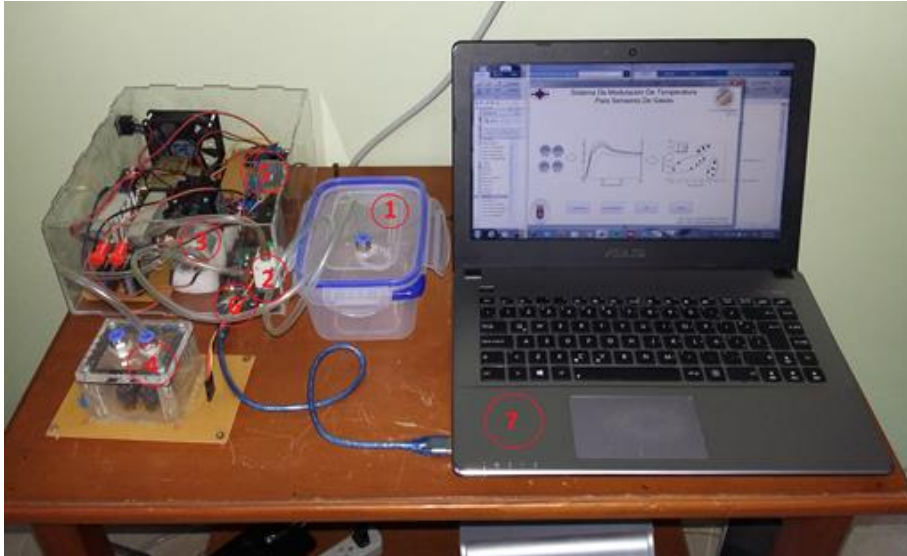


Figura 23. Diagrama en bloques del sistema de medida y adquisición.

En la Figura 24, se observa el montaje experimental del sistema de modulación con la nariz electrónica.



**Figura 24.** Montaje experimental del sistema de acondicionamiento y adquisición.

A continuación se relacionan los componentes que hacen parte del sistema experimental:

- 1) Cámara de concentración
- 2) Electroválvula de doble vida
- 3) Bomba de vacío e inyección de aire
- 4) Cámara de sensores de gases
- 5) Circuito de modulación de voltajes aplicados al heater.
- 6) Tarjeta arduino mega 2560, utilizada para adquirir los datos medidos de los sensores
- 7) Computadora, empleado para almacenar y procesar los datos.

### **3.1. Cámara de concentración.**

Para el diseño de la cámara de concentración se escogió un recipiente hermético de un material de plástico translúcido, en el cual se introduce la muestra (compuesto volátil) que se desea analizar.



La finalidad de la cámara de concentración es servir como medio para la acumulación del compuesto volátil desprendido por la muestra que se encuentran en su interior con el fin de generar una mejor medida del sensor.

La cámara de concentración posee dos orificios en la parte superior de esta, una de entrada y otro de salida de aire que permiten transportar los compuestos volátiles hasta la cámara de sensores, donde se realizará la medición de dicha muestra.

La cámara de concentración se encuentra aislada del circuito de medición por medio de una electroválvula de dos vías, esto con el fin de aplicar aire del exterior al momento de hacer la depuración de los sensores, obstruyendo el flujo de aire de la cámara lo cual hará que se concentre una gran cantidad de volátiles mientras se depuran los sensores.

Luego de transcurrido el tiempo de depuración de los sensores y al haber creado una gran concentración de volátiles en la cámara, se cambiará el sentido de la electroválvula haciendo que el aire fluya a través de una bomba de aire hasta la cámara de sensores, posterior a esto se realizara la medición y adquisición de datos.



**Figura 25.** Recipiente utilizado para la concentración de volátiles.



### 3.2. Circuitos de Modulación.

Para el diseño del circuito de modulación se utiliza un microcontrolador 18F4550 en el cual se generan las señales moduladas que se le aplican al heater, se implementó un algoritmo para construir las señales digitalmente, posteriormente se hace uso de las salidas digitales de puerto D del microcontrolador y dichas salidas están conectadas a un convertidor Digital a Análogo totalmente resistivo con el fin de transformar las salidas digitales del microcontrolador en señales totalmente analógicas.

Seguidamente se realiza una etapa de amplificación con el integrado Im741, utilizando la configuración no inversora el cual aumenta los niveles de voltajes, para posteriormente utilizar un TIP 122 puente Darlington integrado, que se encargará de suministrar la corriente necesaria para activar las resistencias calefactoras de cada sensor de gas.

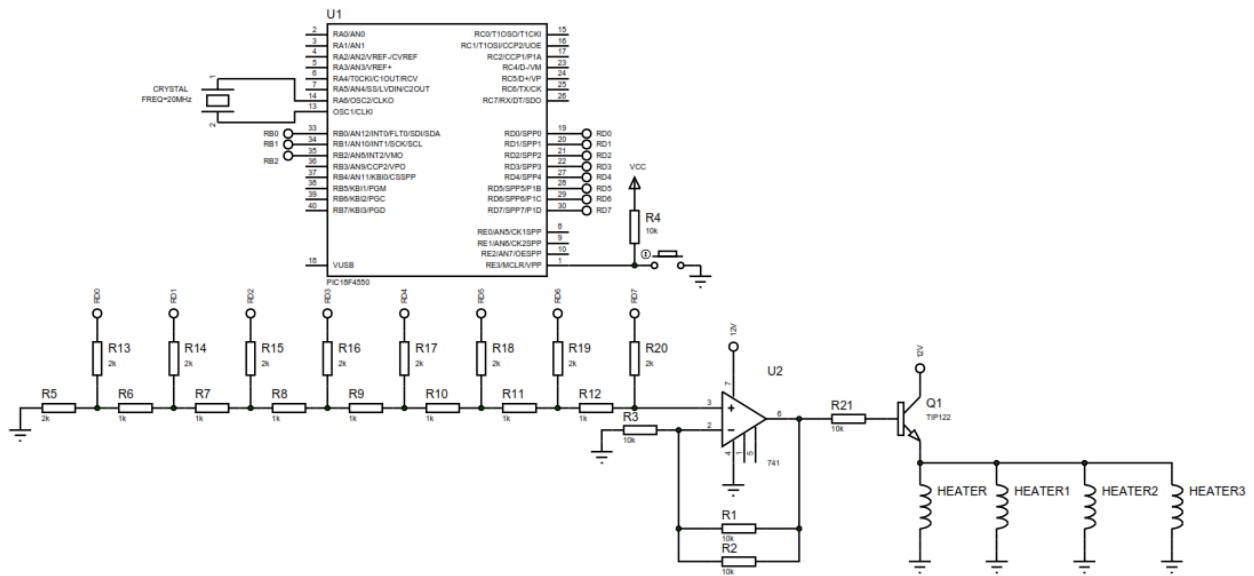


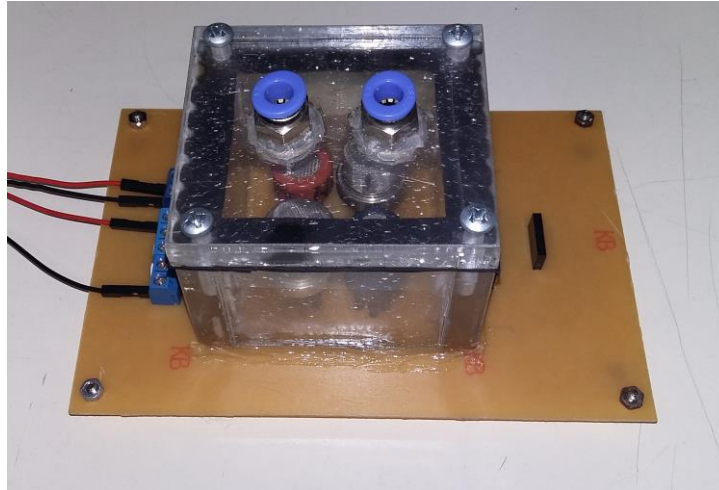
Figura 26. Circuito generador de las señales de modulación.

### 3.3. Cámara de sensores de gases.

Los sensores de gases deben estar localizados dentro de una cámara hermética en la que se garanticen unas condiciones adecuadas para que trabajen

correctamente, impidiendo que se introduzcan otros tipos de volátiles diferentes a los que se desean muestrear.

Se debe garantizar que la cámara no tenga fugas al momento de introducir la muestra, debido a que de perdería la concentración del volátil objeto de estudio.



**Figura 27.** Cámara de sensores de gases.

Tal y como se mencionó anteriormente la cámara de sensores está compuesta por 4 sensores de gases comerciales, dos de la marca Fígaro y los otros dos de la marca FIS SP [22] [23], cada sensor con diferente sensibilidad a compuestos volátiles, esta selección se hizo con el fin de obtener una respuesta eficaz y selectiva al momento de hacer una clasificación de un volátil.

La cámara fue construida con un acrílico de 1 centímetro de grosor, y en su parte superior se encuentran dos orificios que permiten la entrada y salida de aire, por los cuales se hará circular el aire de la muestra con un flujo constante.

Para mantener sellada herméticamente la cámara, se emplean 4 tornillos que generan presión sobre la cubierta y el cuerpo de la misma. Está cubierta reposa sobre una goma que asegura el cierre hermético y evita escapes.

Los sensores que se encuentran dentro de la cámara se deben hacer funcionar con una fuente de voltaje de 5V y las resistencias calefactoras se conectaran a los circuitos de modulación.



La cámara está diseñada para cambiar la configuración de los sensores, ya que estos están conectados en sócalos, con el fin de poder extraer los sensores fácilmente.

La resistencia de carga conectada a la salida de los sensores tiene un valor fijo de 4.7k, esta resistencia cumple la función de divisor de voltaje, que nos permite obtener una variación de voltaje cuando se le aplica un volátil al sensor.

En la tabla 4 se aprecia las características relevantes de los sensores de gases utilizados en la cámara para realizar las medidas.

Modelo	Gases objetivo	Voltaje Heater	Voltaje Circuito	Resistencia de carga
TGS 813	Gases Combustible	$\leq 5V \pm 0.2V$ AC/DC	$\leq 24V$ AC/DC	Variable
TGS 822	Vapor De Disolvente	$\leq 5V \pm 0.2V$ AC/DC	$\leq 24V$ AC/DC	Variable
SP-31	Alcohol	$\leq 5V \pm 0.2V$ AC/DC	$\leq 24V$ AC/DC	Variable
SP-31-15	Solvente	$\leq 5V \pm 0.2V$ AC/DC	$\leq 24V$ AC/DC	Variable

**Tabla 4.** Descripción de los sensores de gases fígaro y Fis-Sp.

Cada sensor posee una característica de detección diferente, debido a que son capaces de generar una respuesta con cualquier tipo de compuesto volátil, pero tendrán una respuesta cuando se les aplica un gas objetivo para el cual es más sensible.

### 3.4. Sistema de adquisición de datos.

Para realizar la adquisición de las señales provenientes de los sensores de gases dispuestos en la matriz se utilizó la misma tarjeta Arduino 2560 con la que se generan las señales moduladas y se encargará del proceso de adquisición y control del circuito de acondicionamiento.







Se escogió la tarjeta Arduino 2560 debido a que esta posee un microcontrolador ATMEGA168/328 el cual soporta nativamente comunicación serie mediante una UART construida dentro del chip, lo cual facilita la comunicación de variables censadas externamente con un software para la adquisición y procesado de datos. La ventaja de soportar nativamente una UART permite que el microcontrolador haga otras tareas mientras recibe datos serie que puede ir guardando en un buffer interno del ATMEGA 168/328 que es de 64 bytes, lo cual hace que el microcontrolador no pierda ciclos de maquina mientras realiza la recepción y enviado de datos por comunicación serial.

Para comunicarse con un ordenador puede utilizar las siguientes velocidades serie 300, 1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800, 38400, 57600, o 115200, todas estas en baudios, para este proyecto se utilizó una velocidad de comunicación de 9600.

La placa Arduino contiene canales analógicos de 10 bits al convertidor digital. Esto significa que va a asignar voltajes de entrada entre 0 y 5 voltios en valores enteros entre 0 y 1023. Esto produce una resolución entre las lecturas de: 5 voltios / 1024 unidades o, 0.0049 voltios (4,9 mV) por unidad. Se tarda unos 100 microsegundos (0.0001 s) para leer una entrada analógica, por lo que la tasa máxima de lectura es de aproximadamente 10.000 veces por segundo.

La tarjeta posee 16 canales de entradas analógicas de los cuales solo se utilizaron 4 para la adquisición de las señales producidas por los sensores de gases y esto se realizó con una frecuencia de muestreo de un segundo, se escogió este tiempo de muestreo porque en él se alcanza a apreciar la respuesta de los sensores al ser sometidos a las diferentes modulaciones de temperatura.

Se hizo uso de los canales de salida digital los cuales controlan la activación de la electroválvula y la bomba de aire, entre otras funciones para hacer de esta manera que el sistema sea totalmente automatizado.

Al controlar Arduino a través de Matlab tenemos más potencia y eficiencia para realizar cálculos matemáticos, lo cual lo hace una herramienta muy buena si se





desea realizar operaciones matemáticas complejas o que requieran más capacidad de la que nos ofrece el microcontrolador de 8-bits. Además, podemos realizar algoritmos que puedan adquirir datos de sensores analógicos y digitales, controlar actuadores conectados al Arduino de manera fácil y rápida, ejecutando así de manera eficaz las tareas programadas para el sistema de acondicionamiento y medida de este proyecto.

Debido MATLAB es un lenguaje de alto nivel interpretado, se puede ver el resultado de las instrucciones de E / S de inmediato, sin compilar. MATLAB incluye miles de librerías incorporadas en matemáticas e ingeniería y las funciones de trazado que se pueden utilizar para analizar rápidamente y visualizar los datos recogidos de la placa Arduino.

### **3.5. Circuito De Alimentación.**

Debido a que el sistema es totalmente automático si vio la necesidad de diseñar una tarjeta de potencia que alimente todo el sistema de acondicionamiento, proporcionando el voltaje y la corriente necesaria para el buen funcionamiento de todo el sistema.

La etapa de potencia está conformada por un transformador de 24 Voltios a 2 Amperios que brindan la corriente y el voltaje necesario para todos los dispositivos conectados, se diseñó una etapa de rectificación de voltaje, ya que todos los elementos trabajan con un voltaje continuo, cada etapa consta de un regulador de voltaje y transistores de potencia con el fin de garantizar la corriente y el voltaje sean los necesarios para cada dispositivo.

En la figura 28 se puede apreciar el esquema eléctrico diseñado en porteus, utilizado para alimentar cada una de las etapas del circuito de acondicionamiento.



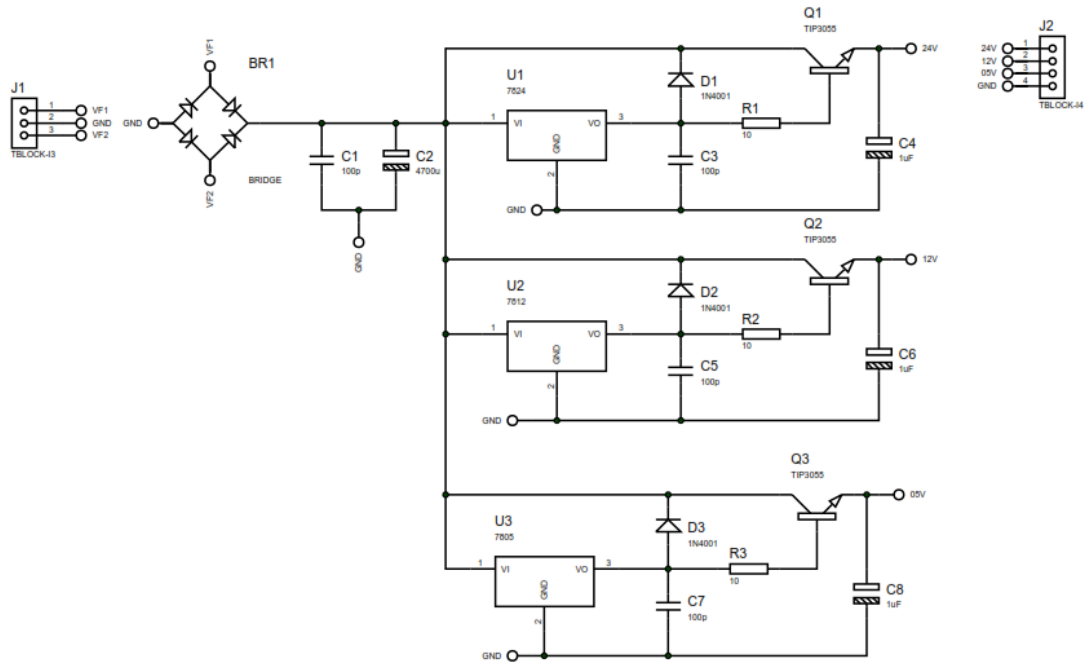


Figura 28. Diseño esquemático en Proteus.

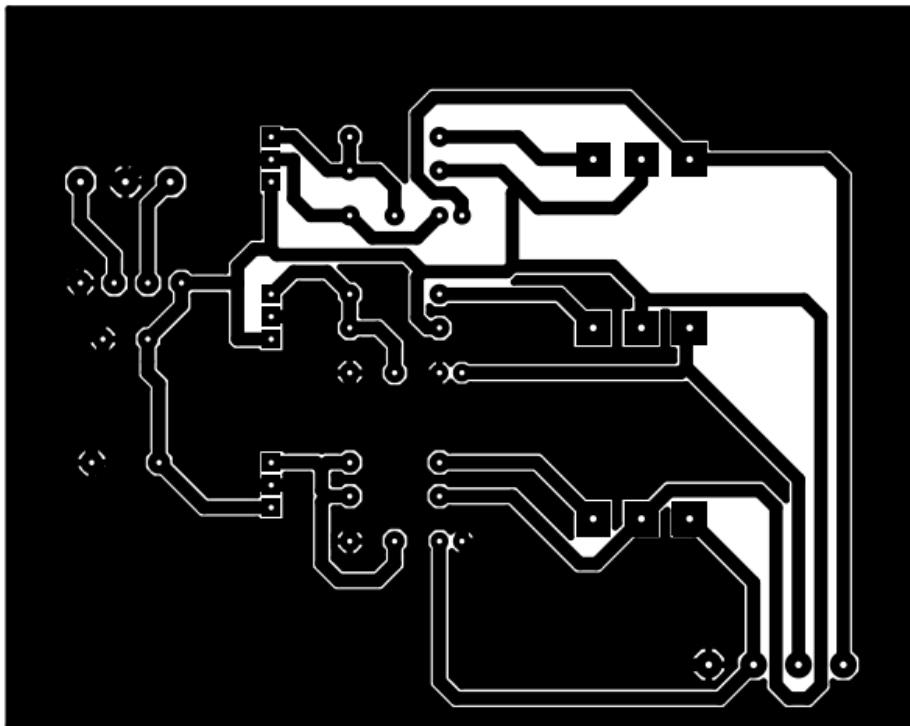


Figura 29. Conexiones eléctricas del circuito de potencia.



### 3.6. Interfaz en Matlab.

La interfaz diseñada para la captura y procesamiento de los datos obtenidos a través de la tarjeta arduino se realizó en el programa Matlab, se escogió este programa por su fácil manipulación, integración con la tarjeta arduino y por qué posee una herramienta matemática útil para el análisis de datos.

#### 3.6.1. Interfaz Principal.

En la figura 30 se puede apreciar la interfaz principal donde el usuario podrá escoger la acción que desee realizar, ya sea adquisición o procesamiento de los datos.

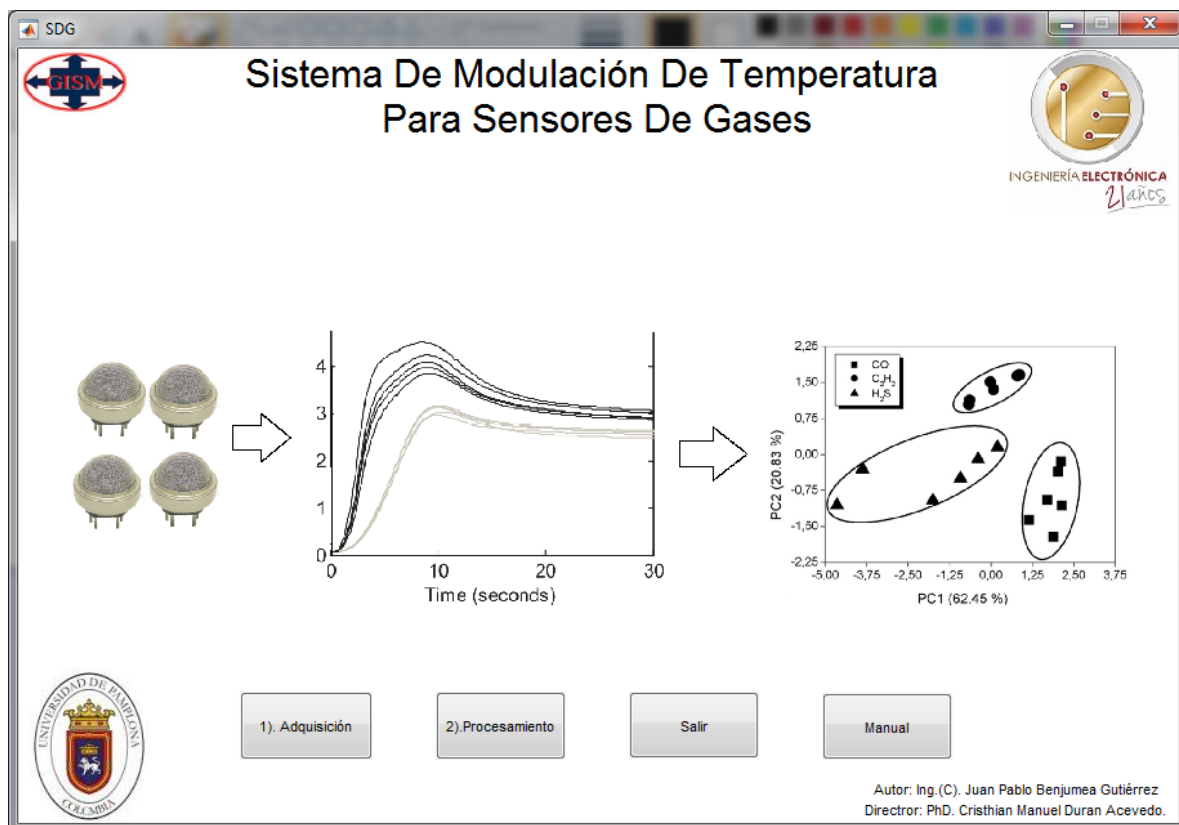


Figura 30. Interfaz Principal.





En la interfaz se pueden observar cuatro botones, los cuales permitirán al usuario seleccionar la opción que desee. A continuación se hará una breve descripción de cada uno de los botones.

- **Botón: 1). Adquisición.**

Este botón llevará al usuario a la interfaz de adquisición, donde procederá a configurar los parámetros para la misma.

- **Botón: 2). Procesamiento.**

Este botón llevará al usuario a la interfaz de procesamiento, donde procederá a configurar los parámetros de extracción y procesamiento de los datos adquiridos.

- **Botón:3). Salir.**

Al hacer clic sobre este botón cerrará todas las ventanas abiertas referentes a la aplicación Sistema De Modulación De Temperatura Para Sensores De Gases. Al hacer clic sobre el botón salir se abrirá una ventana de confirmación, donde el usuario elegirá la opción que desee.

- **Botón: 4). Manual.**

Este botón abrirá el archivo donde se explica el funcionamiento de la aplicación Sistema De Modulación De Temperatura Para Sensores De Gases.

### 3.6.2. Interfaz Para La Adquisición De Datos.

En la figura 31 se observa la interfaz donde el usuario podrá configurar los parámetros de adquisición de datos y podrá visualizar las señales de los sensores en tiempo real, para posteriormente almacenar los datos en un fichero “.txt”.



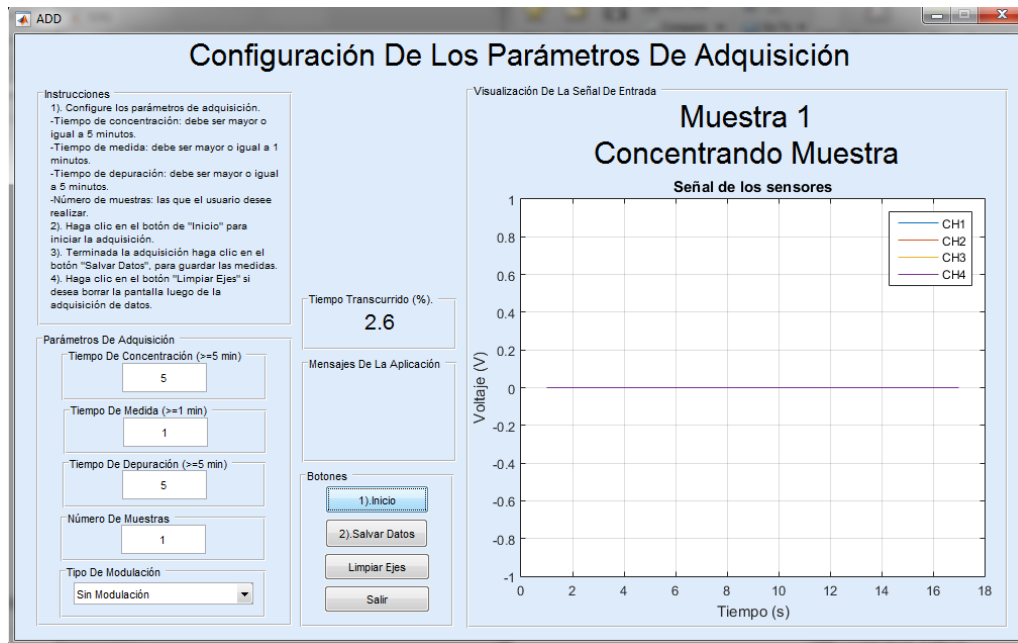


Figura 31. Interfaz para configuración de los parámetros de adquisición.

En la parte superior izquierda de la interfaz se encuentra un breve manual de instrucciones que el usuario debe seguir para configurar los parámetros de esta aplicación, allí se describen brevemente cada uno de ellos.

Los parámetros de adquisición que el usuario debe configurar son los siguientes:

- **Tiempo de concentración:**  
Es el tiempo que se debe dejar la muestra en la cámara de concentración para que se generen los volátiles suficientes, para luego proceder a hacer la medida. El tiempo de concentración debe ser como mínimo 5 minutos y el tiempo máximo queda a criterio del usuario.
- **Tiempo de medida:**  
Es el tiempo en el cual el sistema empezara a tomar los datos generados por los sensores de gases, este tiempo se encuentra por defecto a 1 minuto, pero el usuario puede variar este valor si lo desea.
- **Tiempo de depuración:**



En este periodo los sensores son sometido a una señal constante con el fin de eliminar las impurezas que se encuentran sobre la capa semiconductor de dióxido de estaño, posteriormente a haber realizado una medida, este tiempo puede ser de 5 minutos, pero puede ser mayor de acuerdo al compuesto sometido.

- Número de muestras:

Este parámetro configura el número de medidas consecutivas que desea realizar el usuario.

- Tipo de modulación:

El usuario podrá escoger el tipo de modulación que desee aplicarle a los sensores de gases, por defecto se encuentra sin modulación.

Si el usuario no configura los parámetros de adquisición y hace clic en el botón inicio, la interfaz iniciará a la adquisición de datos con los valores que se encuentran establecidos por defecto.

La interfaz posee una ventana de visualización, con el fin de poder observar el comportamiento de los sensores en tiempo real, además de eso tiene un pequeño bloque de comunicación donde el usuario podrá visualizar los mensajes generados por la aplicación.

La interfaz de adquisición de datos cuenta con un bloque de botones que dan funcionamiento a esta misma. A continuación se procederá a hacer una breve descripción del funcionamiento de cada uno.

- Botón: Inicio.

Al oprimir este botón se dará paso a la adquisición de los datos con los parámetros configurados por el usuario.

- Botón: Salvar Datos.

Una vez terminada la adquisición de los datos el usuario de generar el fichero donde desea guardar los datos, esto se realizara oprimiendo el botón de





*¡Estoy comprometido!*



salvar datos, dándole la opción al usuario de guardar el fichero con el nombre que desee. El fichero generado será guardado en un archivo txt.

- Botón: Limpiar Ejes.

Este botón se utilizará en caso que el usuario desee realizar otra medida, y desee borra los datos en pantalla después de haber realizado una adquisición.

- Botón: Salir.

Una vez terminada la adquisición de datos, el usuario puede cerrar la aplicación utilizando este botón.

### 3.6.3. Interfaz Para El Procesamiento De Datos.

En la figura 32 se precia la interfaz donde el usuario podrá configurar los parámetros de pre-procesamiento y procesamiento de los datos obtenidos de los sensores, para posteriormente realizar la clasificación de los compuestos volátiles.

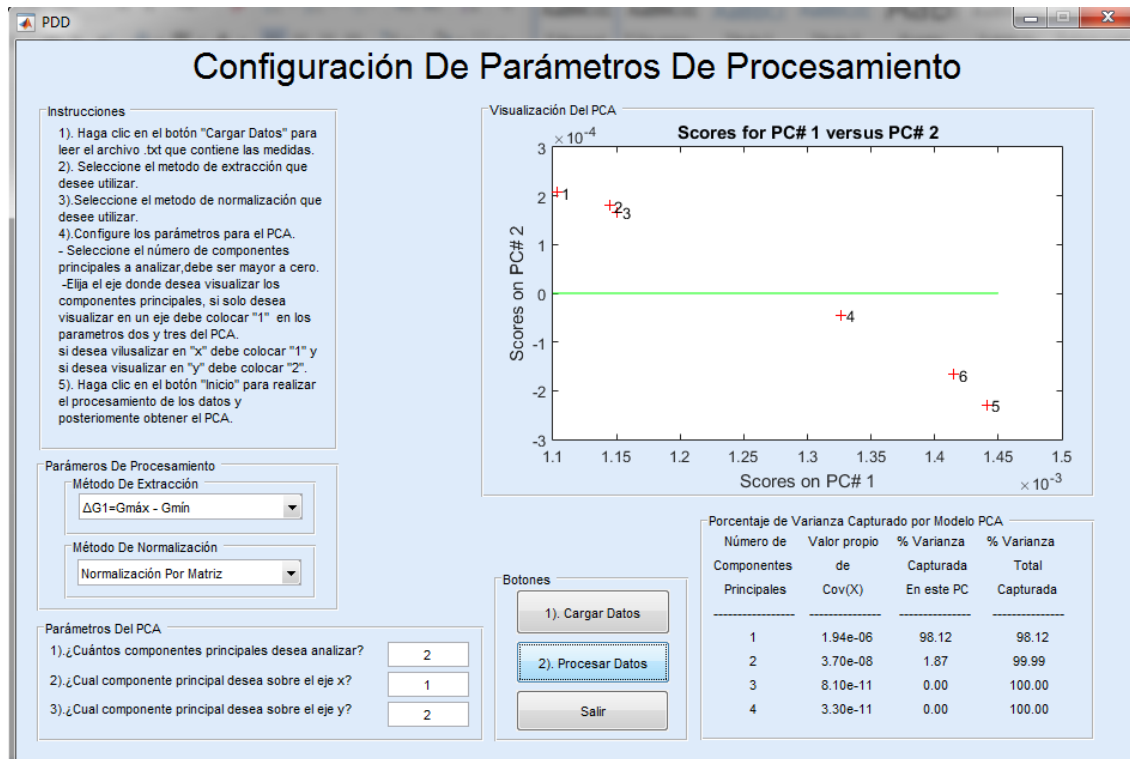


Figura 32. Interfaz para configuración de los parámetros de procesamiento.







En la parte superior izquierda de la interfaz se encuentra un breve manual de instrucciones que el usuario debe seguir para configurar esta aplicación, allí se describen brevemente los parámetros de procesamiento.

Seguidamente se encuentra un bloque contiene los parámetros de extracción que el usuario debe configurar para realizar el procesamiento de los datos, en tal caso que el usuario no los configure, tomara los valores que se encuentran establecidos por defecto.

Los parámetros que el usuario debe configurar son los siguientes:

- Métodos de extracción:  
Es una técnica utilizada con el fin de extraer los valores más importantes obtenidos en la adquisición de los datos, el usuario debe escoger el que desee, o en su defecto el que esta pre - configurado.
- Métodos de Normalización:  
Para extraer la máxima información de las señales adquiridas es posible utilizar 5 métodos típicos de pre-procesado de datos: Auto-escalado, centrado, normalización por columna, normalización por matriz y el valor absoluto de la matriz. Los métodos se pueden seleccionar desde un cuadro en donde el método de sin normalización esta seleccionado por defecto.

Posteriormente a la configuración de los parámetros de extracción se deben configurar los parámetros del PCA, estos datos se deben llenar por teclado y si el usuario los deja vacíos no se puede realizar el procesamiento de los datos.

El usuario deberá llenar con valores numéricos las casillas al lado de las preguntas de configuración del PCA.

En la primera pregunta se debe seleccionar el número de componentes principales a analizar, este debe ser mayor o igual a 1.

Posteriormente debe elegir el eje donde desea visualizar los componentes principales, si solo desea visualizar en un eje debe colocar "1" en los parámetros





dos y tres del PCA, si desea visualizar en "x" debe colocar "1" y si desea visualizar en "y" debe colocar "2".

La interfaz posee un bloque de botones donde el usuario puede realizar las operaciones de la aplicación, a continuación se definirá el funcionamiento de los botones.

- Botón: Cargar Datos.

Al oprimir este botón se desplegará una ventana donde el usuario deberá buscar el fichero donde se almacenaron los datos, para posteriormente cargarlos en la aplicación.

- Botón: Procesar Datos.

Una vez terminada la configuración y posteriormente cargado los datos, el usuario debe hacer clic en el botón procesar datos, para realizar el pre-procesamiento y posteriormente el procesamiento y clasificación de los compuestos volátiles.

- Botón: Salir.

Una vez terminada el procesamiento y clasificación de los datos, el usuario puede cerrar la aplicación utilizando este botón.

Una vez configurado y procesado los datos, se visualizarán los resultados obtenidos en una pequeña pantalla que se encuentra dentro de la interfaz, para posteriormente realizar el análisis de los datos.





# Capítulo 4: Resultados y Evidencias.

## 4.1. Análisis de las respuestas obtenidas.

En este proyecto se describen las técnicas utilizadas y los resultados obtenidos basados en las modulaciones de voltaje aplicadas a la resistencia calefactora (heater).

Para accionar el sistema de acondicionamiento y medida primero se deben configurar los parámetros de adquisición, como se describen en el capítulo 3, en donde se refiere a la interfaz diseñada en el software Matlab.

La adquisición de los datos se realizó de la siguiente manera, primero se configuró el tiempo de concentración, se optó por tomar un tiempo de 5 minutos donde se dejará la muestra en la cámara de concentración generando así los volátiles suficientes para realizar la medida del analito.

Posteriormente se configura el tiempo de medida, en este tiempo la tarjeta de adquisición de datos (Arduino Mega 2560) obtendrá la señales de voltaje generadas por los sensores de gases, para posteriormente visualizarlas en la interfaz gráfica de adquisición de datos.

El tiempo de medida se configuro a 5 minutos, tiempo suficiente para observar la respuesta de los sensores de gases, y se configuró un tiempo de muestreo fijo de una muestra cada segundo, tiempo suficiente para obtener la respuesta de cada sensor.

Inmediatamente se configura el tiempo de depuración de los sensores, se seleccionó para este un tiempo de 10 minutos, con el fin de purgar o depurar los sensores de gases y evitar medidas erróneas en una próxima medición.

Finalmente se escoge el número de muestras que se desee, se eligió un número de tres muestras máximo para cada compuesto a analizar, para estudiar la respuesta de cada sensor en cada una de las medidas realizadas.





A continuación se le da inicio al sistema de acondicionamiento y medida en donde se capturan los datos de los sensores. El sistema de control le inyecta aire puro a la cámara de sensores de gases mientras se cumple el tiempo de concentración, posteriormente a este tiempo se accionará una electroválvula, la cual dejará fluir los compuestos volátiles obtenidos en la cámara de concentración, para ser llevados a la cámara de sensores, donde cada sensor generará una respuesta en voltajes de acuerdo al compuesto suministrado, y posteriormente realizar el guardado de los datos obtenidos.

A continuación se observará la respuesta de los sensores aplicándoles las diferentes tipos de modulaciones de temperatura en el heater, para posteriormente aplicarle técnicas de clasificación y determinar los tipos de compuestos volátiles aplicados.

En la tabla 5 se aprecia las características relevantes de los sensores de gases utilizados en para realizar las medidas.

Modelo	Gases objetivo	Voltaje Heater	Voltaje Circuito	Resistencia de carga
TGS 813	Metano	$\leq 5V \pm 0.2V$ AC/DC	$\leq 24V$ AC/DC	Variable
TGS 822	Etanol	$\leq 5V \pm 0.2V$ AC/DC	$\leq 24V$ AC/DC	Variable
SP-31	Alcohol	$\leq 5V \pm 0.2V$ AC/DC	$\leq 24V$ AC/DC	Variable
SP-31-15	Solvente	$\leq 5V \pm 0.2V$ AC/DC	$\leq 24V$ AC/DC	Variable

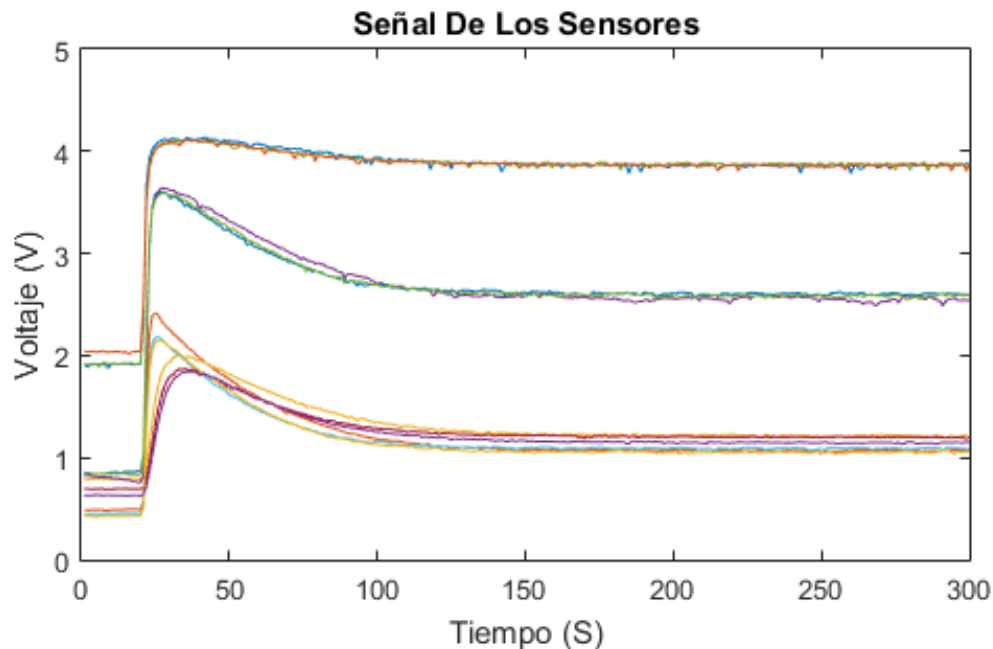
**Tabla 5.** Descripción de los sensores de gases.

Cada sensor posee una característica de detección diferente, debido a que son capaces de generar una respuesta con cualquier tipo de compuesto volátil, pero tendrán una respuesta cuando se les aplica un gas objetivo para el cual es más sensible.





En la figura 33 se observa la respuesta de los sensores de gases SP-31-15, SP-31, TGS 822, TGS 813, esta respuesta fue tomada como patrón ya que es una respuesta de voltaje de los sensores cuando son excitados con un voltaje continuo.



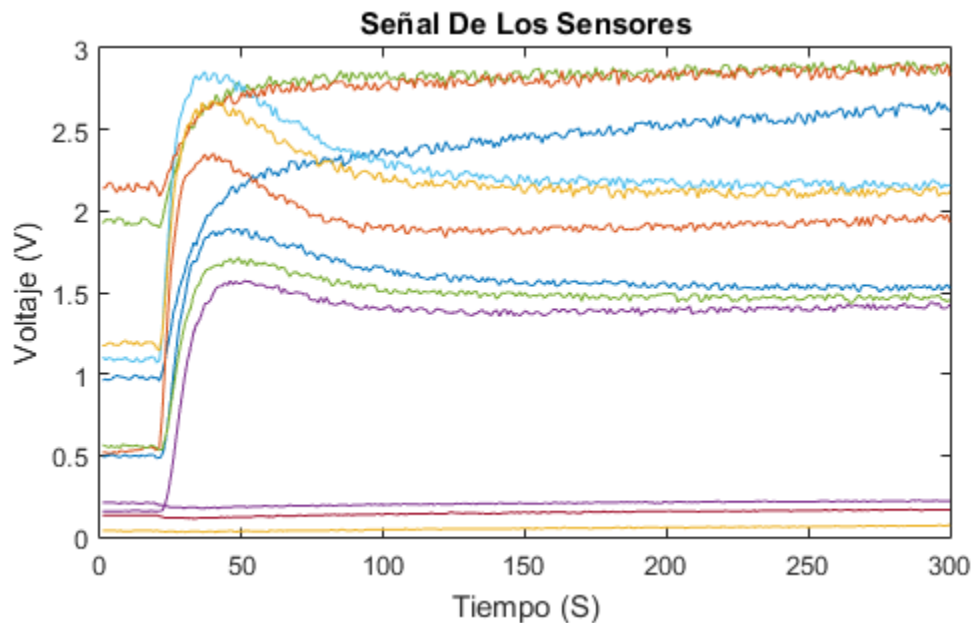
**Figura 33.** Respuesta de los sensores cuando no se le aplica modulación de temperatura en el heater y están sometidos a una muestra de 1 ml de Alcohol al 70%.

En el gráfico se puede observar cada una de las respuestas de los sensores cuando se le aplica una muestra de 1 ml de Alcohol etílico al 70% de concentración, al observar la respuesta se puede determinar que al aplicarle un voltaje continuo a la resistencia calefactora los sensores tienen un porcentaje de sensibilidad muy alto, ya que responde instantáneamente al suminístrale la muestra previamente concentrada en la cámara, la respuesta de los sensores también está determinada por el tipo de compuesto al cual es sensible, es decir, el TGS 822 es muy utilizado para reconocer gases como aire y metano, el TGS 813 es utilizado para reconocer etanol, entonces tendrán una repuestas característica cuando se le aplican esos gases.





A continuación se podrá observar la respuesta de los sensores cuando se le aplica una modulación de voltaje tipo diente de sierra con una frecuencia de 100 Hz aproximadamente, generada por el un microcontrolador 18F4550, y aplicándole los mismo parámetros de concentración de la muestra que se utilizaron anteriormente.



**Figura 34.** Respuesta de los sensores cuando aplica una modulación diente de sierra en el heater y están sometidos a una muestra de 1 ml de Alcohol al 70%.

Al interpretar la gráfica de la respuesta en voltaje de los sensores aplicando una modulación diente de sierra con una frecuencia de 100 Hz aproximadamente, se puede observar que la respuesta cuando es excitado el sensor tiende a un valor de amplitud menor a cuando se someten los sensores a una señal de voltaje continuo, pero con la gran diferencia de que la respuesta con la señal modulada en el heater tiende a sostenerse mayor tiempo en su valor máximo, mientras que la respuesta cuando se le aplica una señal continua en el heater tiene un declive y tiende a mantenerse en un valor aproximado a la mitad del valor máximo obtenido cuando es aplicada la muestra.

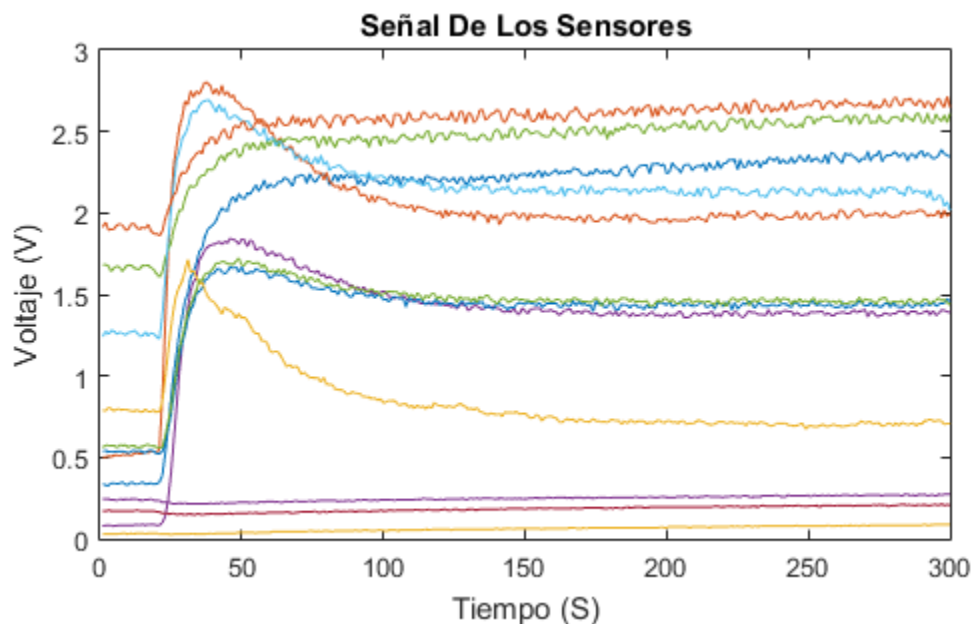




También se puede notar que en los sensores la respuesta cambia totalmente, ya que ninguno de los sensores alcanza el valor máximo obtenido cuando se le aplicó la señal sin modulación en el heater.

Otra aspecto a tener en cuenta es que uno de los sensores tiene una respuesta de voltaje muy pequeña como se puede apreciar en la figura, el voltaje máximo alcanzado no supera los 0.5 voltios, pero sin embargo se puede decir que respondieron al momento que se les aplicó la muestra de alcohol previamente concentrada en la cámara.

En la figura 35 se aprecia la respuesta de los sensores cuando se le aplica una modulación triangular en el heater de los sensores, aplicándole una muestra de alcohol de 1 ml al 70% de concentración.



**Figura 35.** Respuesta de los sensores cuando aplica una modulación triangular en el heater y están sometidos a una muestra de 1 ml de Alcohol al 70%.

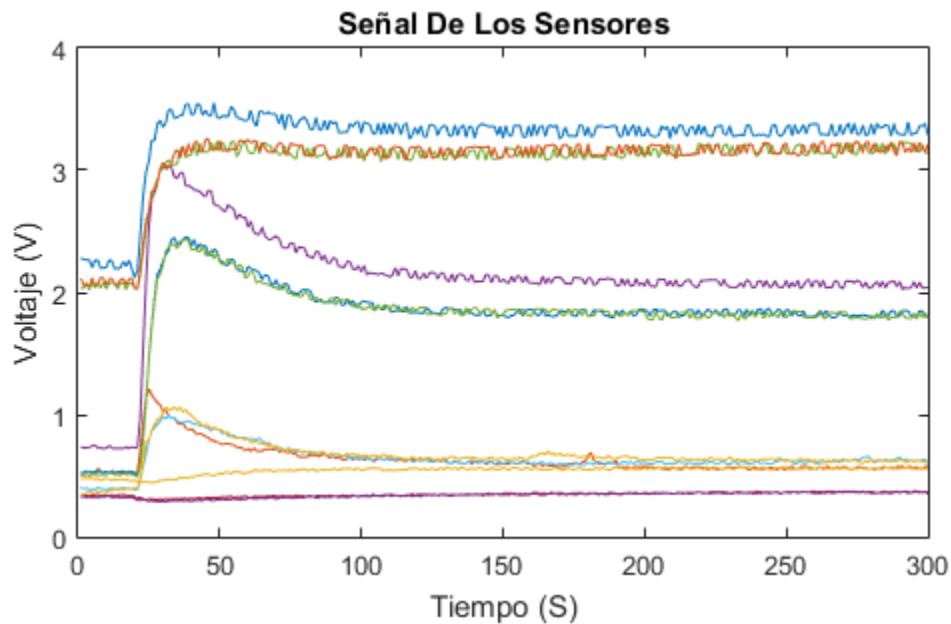
Como se puede apreciar en la figura, la respuesta de los sensores cuando son sometido a una modulación triangular es muy similar a cuando se les aplica una modulación diente de sierra, con la diferencia que el voltaje en la modulación triangular es un tanto menor, pero no es muy grande la diferencia, obteniendo una





buena respuesta tanto en sensibilidad como en repetitividad igual que en la modulación con una señal diente de sierra.

La figura 36 permite observar la respuesta de los sensores cuando se le aplica una modulación cuadrada en el heater de los sensores, aplicándole una muestra de alcohol de 1 ml al 70% de concentración.



**Figura 36.** Respuesta de los sensores cuando aplica una modulación cuadrada en el heater y están sometidos a una muestra de 1 ml de Alcohol al 70%.

Observando la respuesta de los sensores cuando se le aplica una modulación cuadrada en el heater se puede apreciar que el voltaje en esta es mayor al de las modulaciones anteriores, obteniendo una respuesta similar a cuando se le aplican las modulaciones dichas modulaciones, pero con la diferencia que los sensores tienen un declive de voltaje después cierto tiempo de haberse aplicado la muestra, muy similar a cuando no se le aplica modulación en el heater.

Posteriormente se realizaron pruebas con vino, con el fin de analizar la repuesta de los sensores cuando se le aplican las diferentes modulaciones y compararlas con

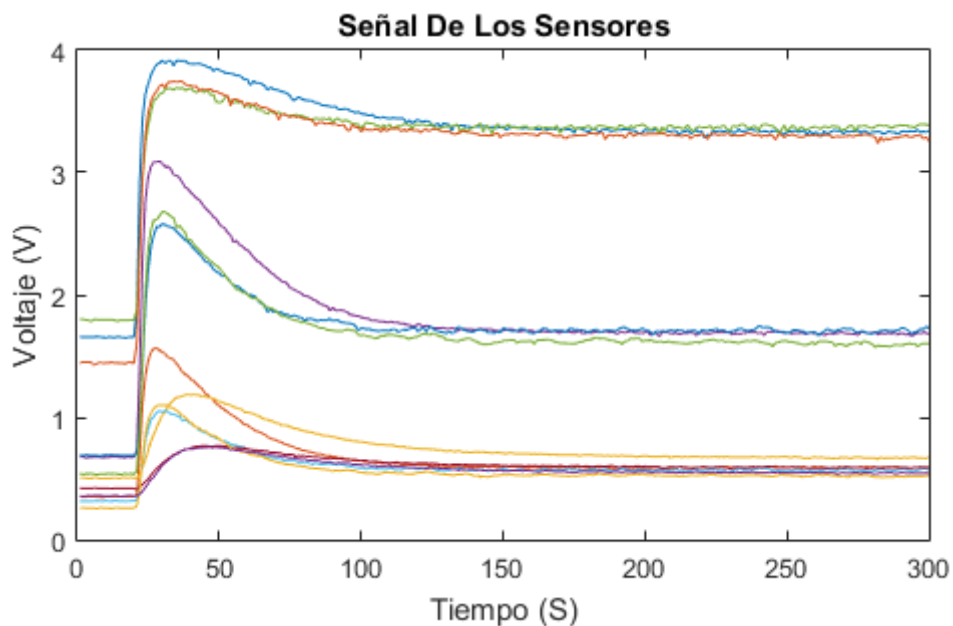






las pruebas de alcohol, para poder determinar si el sistema es capaz de clasificar aplicándole diferentes modulaciones de temperatura en el heater.

La figura 37 presenta la respuesta de los sensores sometidos al flujo de aire continuo de una muestra de 1 ml de vino al 1%.



**Figura 37.** Respuesta de los sensores cuando no se le aplica modulación de temperatura en el heater y están sometidos a una muestra de 1 ml de Vino al 2%.

El comportamiento que sigue la señal adquirida cuando se le aplica una muestra de 1 ml de vino al 2% es muy similar a cuando se le aplica una muestra de 1 ml de alcohol al 70%, pero se puede notar que la amplitud de la señal cambia, siendo menor cuando se le aplica una muestra de vino.

En cuanto a sensibilidad, está siendo alta, dando una respuesta de voltaje, casi instantáneamente cuando se le aplica la muestra de vino.

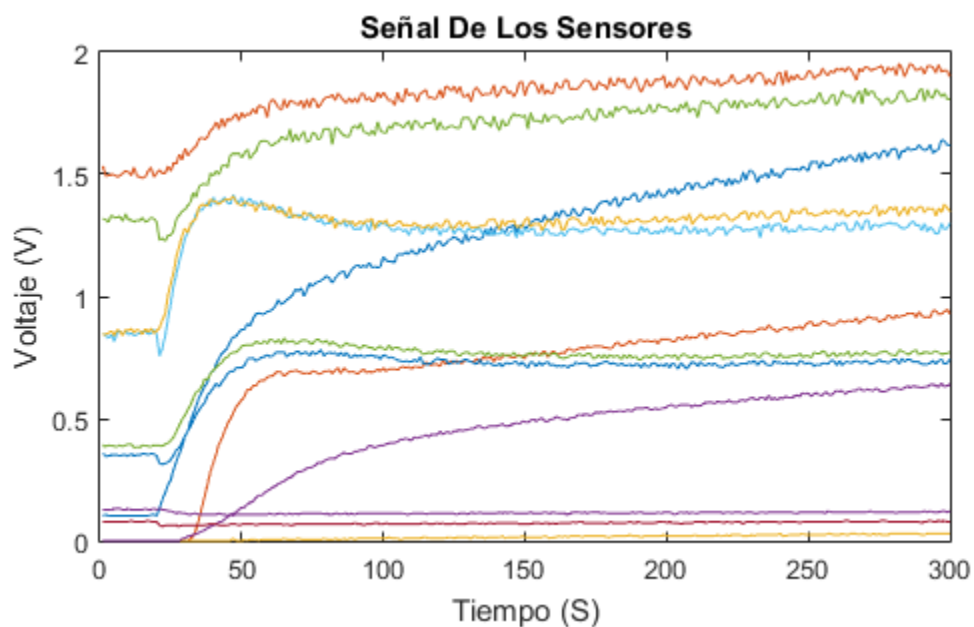
Se puede apreciar en esta figura que los sensores tienden a recuperarse rápidamente a diferencia de la muestra de alcohol cuando ese le aplica una señal





continua, esto se debe a la concentración que tiene la muestra aplicada, ya que es menor en grados de alcohol.

En la figura 38 se ilustra la respuesta de los sensores expuestos al flujo de aire continuo de una muestra de 1 ml de vino al 2% aplicándoles una modulación diente de sierra con una frecuencia de 100 Hz.



**Figura 38.** Respuesta de los sensores cuando se le aplica modulación diente de sierra en el heater y están sometidos a una muestra de 1 ml de Vino al 2%.

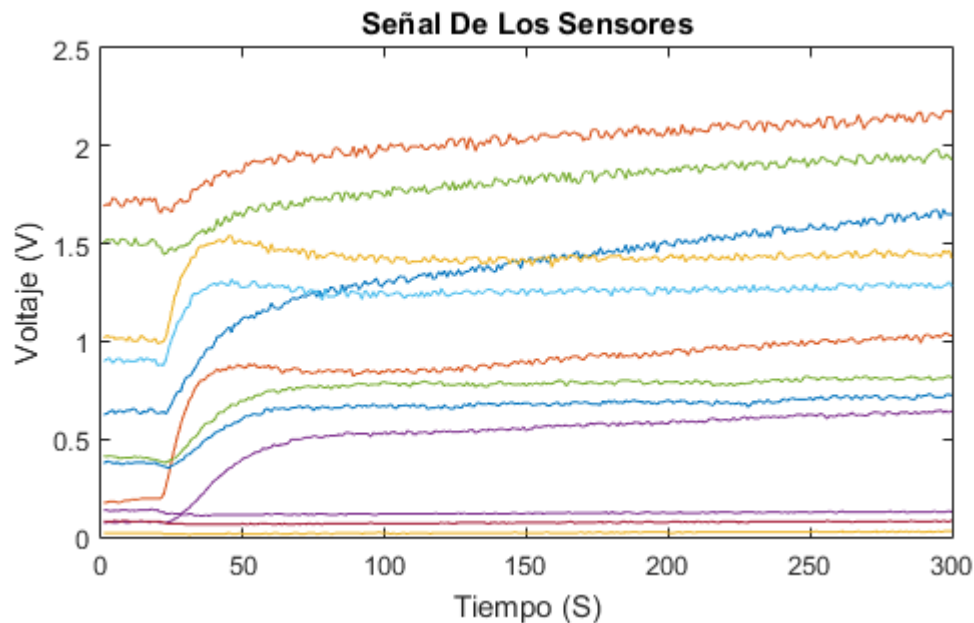
Al observar la respuesta de los sensores cuando se le aplicó una modulación diente de sierra y una muestra de vino al 2% de concentración, se puede inferir que la respuesta de los sensores es mucho menor en cuanto a amplitud de voltaje, esto si se compara con la respuesta de una señal directa (sin modulación en el heater), otra característica de esta respuesta es que la respuesta es sostenida y esto es favorable cuando se le aplican métodos de extracción, cabe resaltar que dos de los sensores tuvieron una respuesta lenta en cuanto a sensibilidad, siendo esto nada favorable para sistemas donde se necesite una respuesta rápida de los sensores.





Adicionalmente se puede observar que uno de los sensores obtuvo una respuesta ascendente y se mantuvo así durante el tiempo que se le aplico la muestra.

Posteriormente se procedió a aplicarle una modulación de voltaje triangular al heater a una muestra de vino al 2% esta respuesta se puede observar en la figura 39.



**Figura 39.** Respuesta de los sensores cuando se le aplica modulación triangular en el heater y están sometidos a una muestra de 1 ml de Vino al 2%.

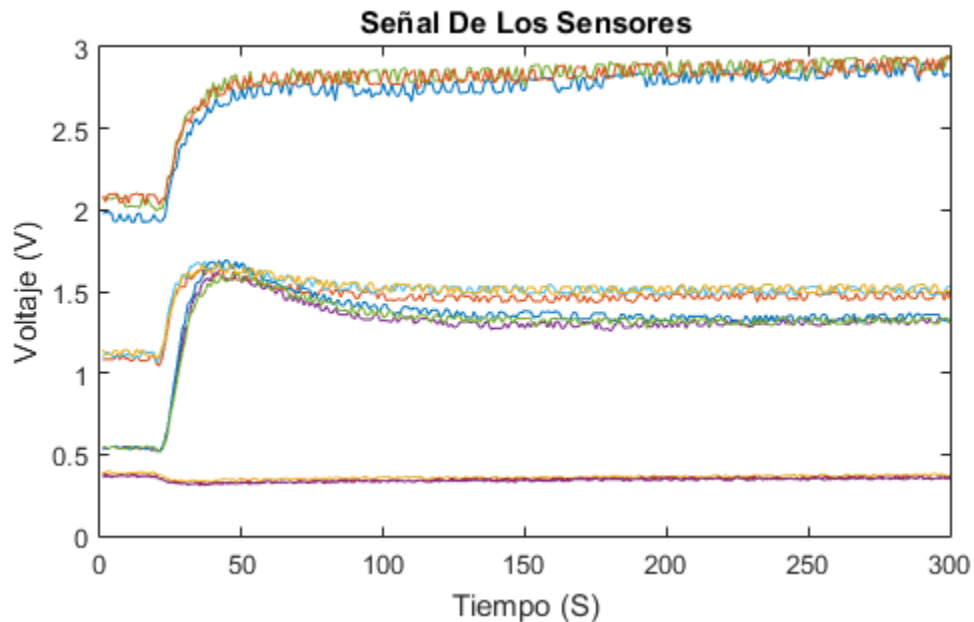
En la figura se puede apreciar la respuesta de los sensores cuando se le aplica una modulación de voltaje triangular en el heater, si se compara con la modulación diente de sierra, se puede deducir que la amplitud de voltaje aumento y la respuesta de los sensores en cuanto a sensibilidad mejoró notablemente, pero no son igual de sensible cuando se le aplica un voltaje continuo en el heater.

En esta respuesta los sensores tienen una señal de voltaje estable y se mantiene constante, aun que tienden a tener una pendiente positiva pequeña, a diferencia de la anterior respuesta.





En la figura 40 se observa la respuesta de los sensores cuando se le aplica una modulación de voltaje cuadrada.



**Figura 40.** Respuesta de los sensores cuando se le aplica modulación cuadrada en el heater y están sometidos a una muestra de 1 ml de Vino al 2%.

Como se puede observar en la figura esta respuesta de los sensores es mejor a las obtenidas en las anteriores modulaciones, debido a que la respuesta se mantiene estable después de haberse aplicado la muestra de vino y en cuanto a repetitividad es muy buena, sin olvidarnos de la sensibilidad, ya que mejoró igualando a la respuesta cuando se le aplica una señal continua.

Nótese que los sensores tienen una excelente respuesta en cuanto a amplitud, cabe destacar que aún siguen siendo sensibles cuando se le hace la modulación de temperatura.

La amplitud de la señal tiende a mantenerse estable en algunas modulaciones después del haber alcanzado la amplitud máxima, siendo esta respuesta favorable para hacer análisis y procesamiento de datos.





Con este estudio se puede decir que la respuesta de los sensores obtenidas cuando se le aplica una modulación, haría más fácil el procesamiento de los datos al momento de hacer una clasificación, a simple vista si puede notar los cambios de voltajes producidos por los sensores y cada respuesta varia su amplitud de acuerdo al compuesto volátil aplicado.

Posteriormente a la adquisición de datos se procede a realizar el procesamiento de los datos obtenidos, esto se realiza con los siguientes parámetros,  $R_L$  es la resistencia de carga conectada a la salida de los señores, en este caso se utilizó una resistencia de 4,7 kilo-ohmios,  $V_C$  es el voltaje aplicado a la capa de dióxido de estaño ( $SnO_2$ ) y  $V_{out}$  es el voltaje obtenido a la salida de los sensores de gases, a continuación utiliza la ecuación 2 para obtener los valores de resistencia de salida de los sensores.

$$R_S = \left( \frac{V_C - V_{out}}{V_{out}} \right) * R_L \quad (2)$$

Una vez obtenidos los valores de resistencia se utiliza la ecuación 3 para obtener los valores de conductancia.

$$G_S = \left( \frac{1}{R_S} \right) \quad (3)$$

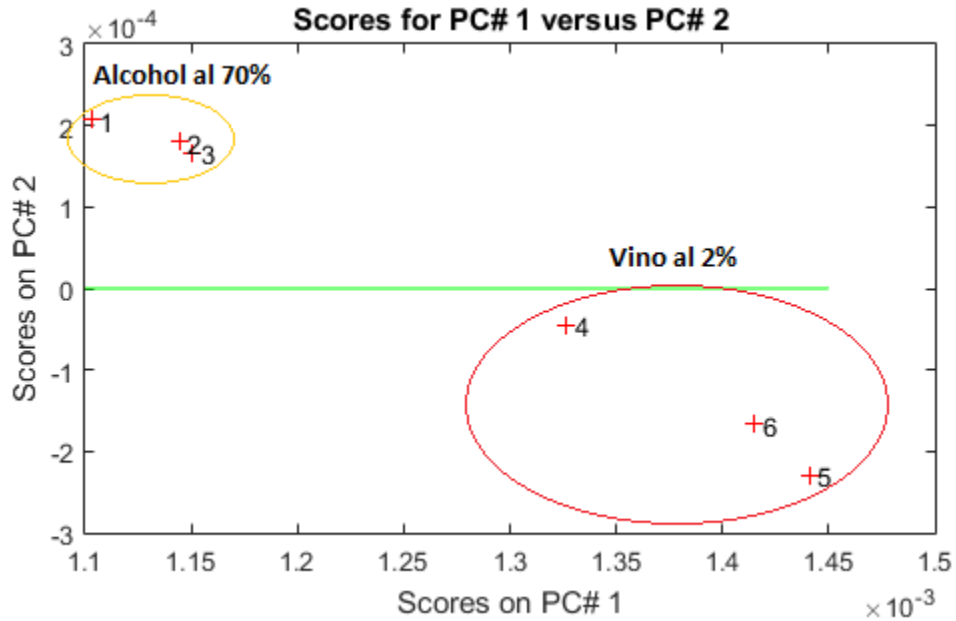
Terminado el cálculo de la conductancia, se utilizaran los métodos de extracción propuestos en la interfaz gráfica de procesamiento, con el fin de extraer patrones característicos obtenidos en la respuesta de cada sensor, para posteriormente si se desea utilizar métodos de normalización y obtener la matriz a la cual se le aplicará el PCA para determinar los compuestos suministrados a la cámara de sensores.

Una vez obtenidos los resultados del PCA, se realizara el análisis correspondiente de la respuesta obtenida para cada modulación de temperatura, a continuación se describe cada una de los resultados obtenidos.





En la figura 41 se observa la respuesta obtenida del análisis de componentes principales (PCA) aplicado a la respuesta de los sensores con una señal continua de voltaje.



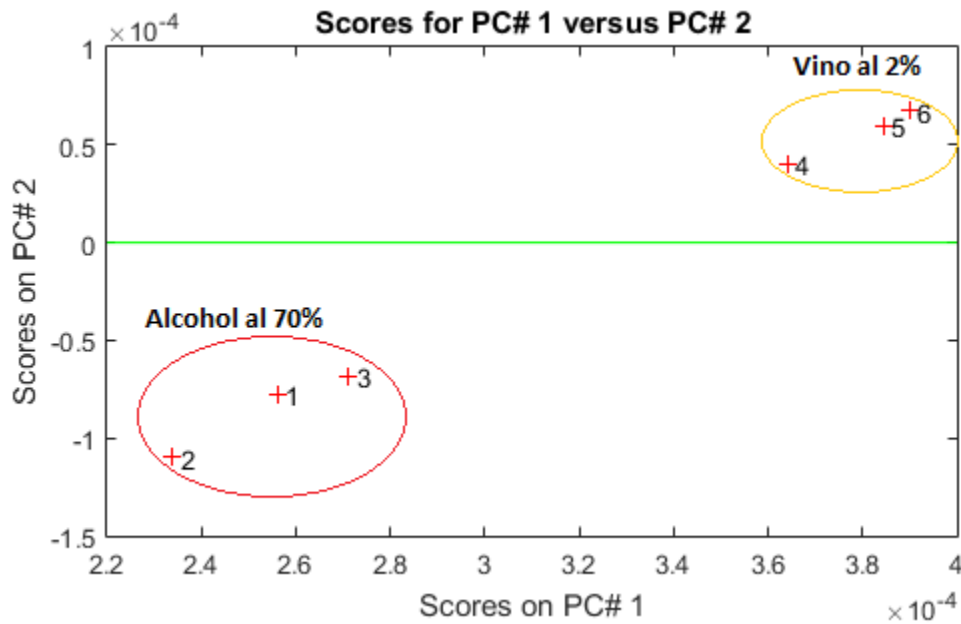
**Figura 41.** Análisis de componentes principales aplicado a la muestra de Alcohol y vino, con una señal continua en el heater.

En la gráfica se puede observar la respuesta de análisis de componentes principales (PCA) aplicado a la muestra de vino y de alcohol, este se realizó para determinar que la nariz electrónica utilizada es capaz de discriminar compuestos volátiles cuando se le aplica una señal continua de voltaje, en la figura se observa que las medidas 1, 2, 3 pertenecen a una muestra de alcohol y las medidas 4, 5, 6 pertenecen a una muestra de vino, concluyendo así que el sistema es capaz de detectar compuestos volátiles diferentes.





En la figura 42 se observa la respuesta obtenida del análisis de componentes principales (PCA) aplicado a la respuesta de los sensores con una señal diente de sierra aplicada al heater.

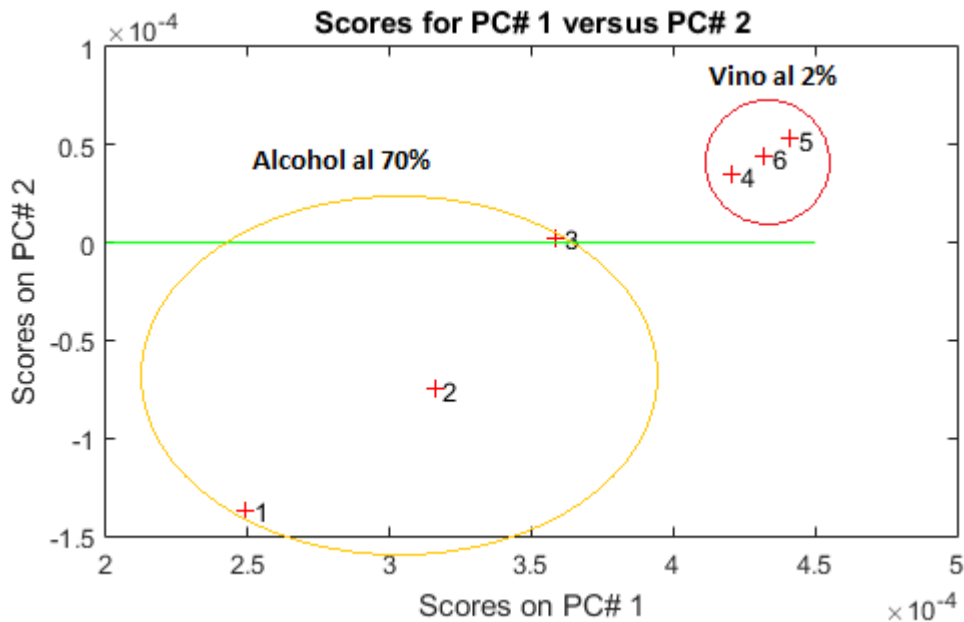


**Figura 42.** Análisis de componentes principales aplicado a las medidas de Alcohol y vino, con una señal diente de sierra aplicada al heater.

Conservando los parámetros de procesamiento realizados anteriormente, se procedió a realizar el procesamiento de los datos obtenidos de la modulación con una señal diente de sierra y se obtuvieron los resultados que se pueden apreciar en la figura dando como resultado la clasificación de los dos compuestos aplicados a los sensores, de lo cual se puede decir que la nariz electrónica es capaz de diferenciar entre las muestras aplicadas.

En la figura 43 se puede observar la respuesta de análisis realizado a las medidas de los compuestos volátiles cuando se le aplica una modulación triangular.





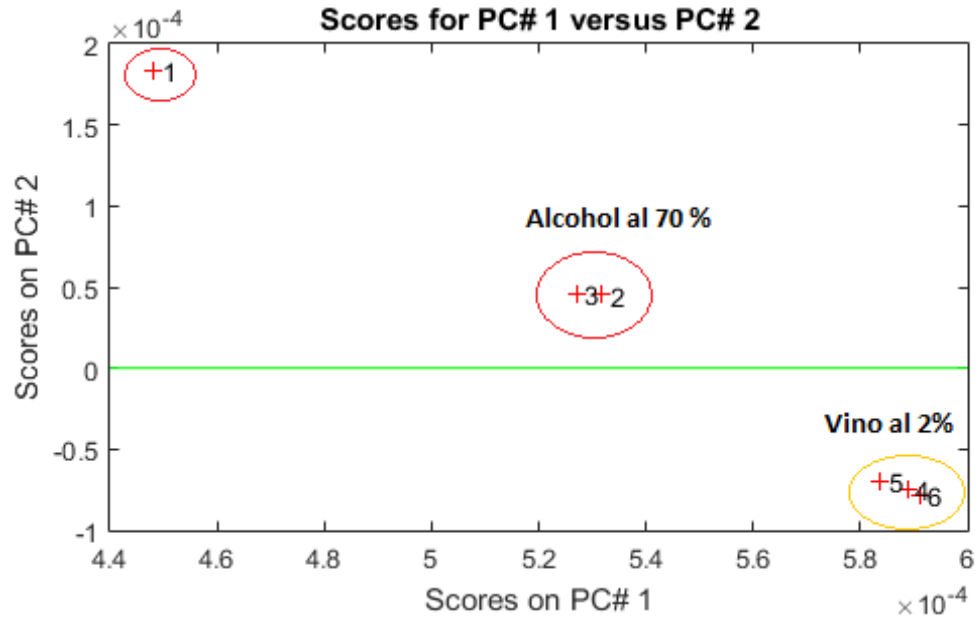
**Figura 43.** Análisis de componentes principales aplicado a las medidas de Alcohol y vino, con una señal triangular aplicada al heater.

Utilizando los parámetros de procesamiento realizados en los anteriores análisis de datos, se procedió a realizar el procesamiento de los datos obtenidos de la modulación con una señal triangular y se obtuvieron los resultados que se pueden apreciar en la figura, dando como resultado la clasificación de los dos compuestos aplicados a los sensores, de lo cual se puede decir que a aplicarle una modulación triangular la respuesta de clasificación cambia notablemente, permitiendo la clasificación de los compuestos volátiles pero se puede decir que uno de los compuestos no tuvo una respuesta favorable ya que no fue tan repetitiva su respuesta, pero aun así se logró determinar el tipo de compuesto volátil aplicado.

En la figura 44 se puede apreciar la respuesta de análisis realizado a las medidas de los compuestos volátiles cuando se le aplica una modulación cuadrada.







**Figura 44.** Análisis de componentes principales aplicado a las medidas de Alcohol y vino, con una señal cuadrada aplicada al heater.

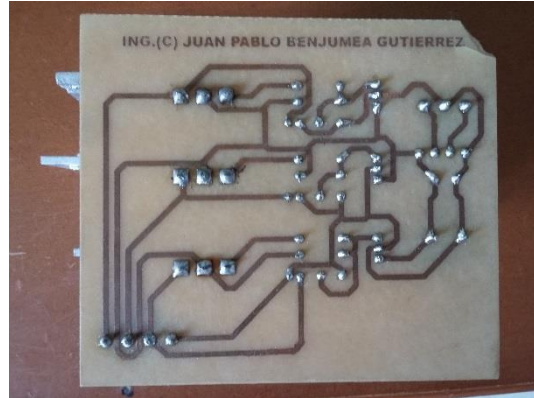
Siguiendo los parámetros de procesamiento realizados en los anteriores análisis de datos, se procedió a realizar el procesamiento de los datos obtenidos de la modulación con una señal cuadrada y se obtuvieron los resultados que se pueden apreciar en la figura, dando como resultado la clasificación de los dos compuestos aplicados a los sensores, de lo cual se puede expresar que a aplicarle una modulación cuadrada permite la clasificación de los compuestos volátiles aplicados a los sensores obteniendo una respuesta muy fiable en cuanto a repetitividad y selectividad. Pero se puede notar que la primera no se encuentra cercana al clúster de las medidas de alcohol, esto se debe a que esta primera medida se considera como una medida de evaluación de los sensores, debido a que los sensores se encuentran en un estado de reposo y pueden contener partículas de compuestos volátiles aplicados en anteriores medidas.



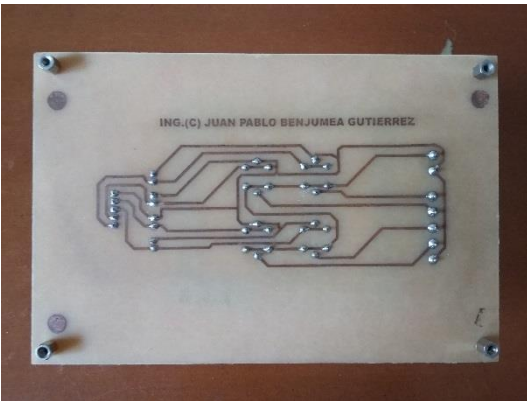
## 4.2. Evidencia Fotográfica.



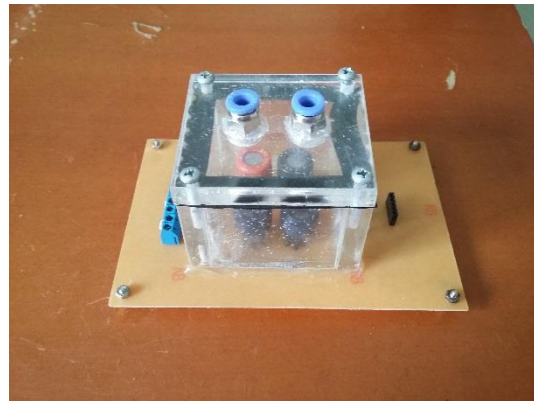
**Figura 45.** Etapa de Potencia. Vista Superior.



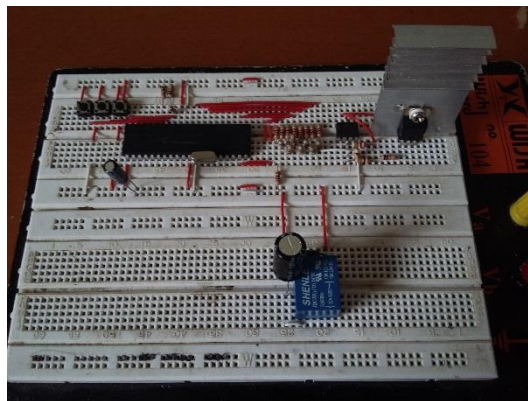
**Figura 46.** Etapa de Potencia. Vista Inferior.



**Figura 47.** Cámara de Sensores. Vista Inferior.



**Figura 48.** Cámara de Sensores. Vista Superior.



**Figura 49.** Montaje experimental del circuito de modulación.



## Capítulo 5: Conclusiones.

En este trabajo se diseñó e implementó un dispositivo, basado en sensores de gases químicos cuya finalidad es la obtención de señales eléctricas producidas por los sensores de gases cuando se le aplica un volátil y se hace variar la temperatura del heater a través de técnicas de modulación de voltaje.

Estas señales provenientes de los sensores de gases son adquiridas por un arduino mega 2560 y almacenadas en un equipo de procesamiento (PC), para luego realizarle el procesamiento de datos y posteriormente hacer la clasificación.

De acuerdo a las mediciones realizadas con la nariz electrónica se pudo determinar que los sensores varían su respuesta de acuerdo al tipo de modulación que se le aplique al heater, haciendo que esta varíe totalmente con respecto a la respuesta de los sensores cuando no se le aplica modulación de temperatura.

Los sensores fueron sometidos a diferentes compuestos volátiles y en diferentes escenarios, obteniendo respuestas muy similares con lo cual se puede afirmar que los sensores pueden ser reproducibles, es decir, obtener la misma respuesta en diferentes ambientes, salvo en ambientes húmedos donde genera respuestas erráticas, debido a las condiciones inapropiadas para el sistema de medición.

Si se hace una comparación de la respuesta de los sensores cuando se le aplica una modulación de temperatura y cuando no se le aplica, se notara que cuando se le aplica una modulación de temperatura el sensor genera una salida de voltaje, y al hacer una resta del voltaje final menos el voltaje inicial se puede apreciar un valor mayor al de la respuesta del sensor cuando no se utiliza una modulación de temperatura, siendo esta respuesta favorable para poder realizar un procesamiento y/o clasificación de compuestos volátiles; por ejemplo cuando se extraen sus parámetros estáticos  $\Delta_G = G_{max} - G_{min}$  y se realiza un procesamiento posterior a través de técnicas de reconocimiento de patrones (por ejemplo, PCA, DFA) o inteligencia artificial (es decir, Redes neuronales Artificiales)





Al aplicar otro tipo de procesamiento para la selección de datos se podría realizar una comparación en la clasificación de las medidas, y con esto validar la respuesta del sistema sensorial a través de la modulación de temperatura.

Se ha estudiado la discriminación de compuestos volátiles con la respuesta estática de una serie de cuatro sensores, posteriormente se le aplican tres técnicas de modulación de temperatura. Se obtienen resultados satisfactorios en la identificación de dos compuestos volátiles. Sin embargo, se necesita un tiempo de medición muy largo, porque se debe llegar a la respuesta de estado estacionario de los sensores, es decir cuando los sensores tienen una respuesta estable al aplicarle aire puro. Posteriormente a la modulación de temperatura se le utilizaron métodos de pre-procesamiento y procesamiento de datos donde se puede deducir a simple vista que el sistema es capaz de clasificar compuestos volátiles, dependiendo del tipo de modulación y la frecuencia de aplicada.

En los resultados obtenidos se muestra como varia la eficacia de los sensores de gases cuando se le aplica una modulación de la temperatura en el heater, dependiendo del tipo de modulación la respuesta de los sensores mejora o desmejora en cuanto a sensibilidad y amplitud de voltaje, otro aspecto importante es que al aplicarle frecuencias pequeña la sensibilidad y respuesta del sensor no son eficaces y generan respuestas erróneas, evitando así la discriminación de compuestos volátiles.

Cuando se disminuye la frecuencia de la señal modulada la sensibilidad de los sensores también disminuye con ella, respondiendo lentamente cuando se le suministra un volátil, siendo esto desfavorable, ya que se obtiene respuestas muy poco repetitivas y selectivas. En cuanto a la recuperación de los sensores se hace extensa, haciendo que el tiempo entre medidas sea mucho mayor y esto hace el sistema poco eficiente para analizar compuestos volátiles.

Al aumentar la frecuencia de la señal modulada aplicada al heater se obtienen mejores respuestas de los sensores haciendo que estos sean más sensibles, es





decir respondan rápidamente a suminístrale un volátil a la cámara de sensores de dióxido de estaño, permitiendo que estos sean repetitivos y a la vez selectivos al momento de analizar la respuesta y discriminar cualquier volátil. Si se analiza el tiempo de recuperación de los sensores es muy similar a cuando se le aplica una señal de voltaje continua en el heater, permitiendo que el tiempo entre medidas sea corto y obteniendo una respuesta fiable en cuanto a selectividad y repetitividad.





## Bibliografía

- [1] J. Correa, “Estudio de la Modulación Térmica de Sensores de Gases de Tipo Micro-Hotplate Mediante Secuencias Pseudoaleatorias,” 2003.
- [2] S. Córdoba Olivares, “Sistema Electrónico Para La Clasificación De Datos De Fragancia De Café Utilizando Redes Neuronales Artificiales,” 2013.
- [3] S. R. Bosch, “Diseño y realización de una nariz electrónica para la discriminación de aceites,” 2001.
- [4] R. Guerra, “Técnicas estadísticas de clasificación, un ejemplo de análisis de Clúster,” 2006.
- [5] E. Torres, E. Garnica, P. González, and A. Díaz, “Una aplicación del análisis de componentes principales en el área educativa,” *Economía*, vol. 9, 1980.
- [6] M. Mcroberts, *Beginning Arduino*, TECHNOLOGY. .
- [7] C. Durán, “Optimización de resultados mediante algoritmos de selección de variables Diseño,” no. 3, pp. 7–13.
- [8] L. C. Colina, “El Análisis De Componentes Principales...,” vol. 37, 1991.
- [9] M. D. E. Instrucciones and O. Manual, “MANUAL DE INSTRUCCIONES PARA LAS BOMBAS DE VACIO.”
- [10] R. Alvarado, W. Beaujon, Z. Berbesí, F. Maldonado, and J. Ohep, “Detección y cuantificación de escapes de gas natural mediante técnicas de espectrometría infrarroja y correlación de imágenes en tiempo real.,” 2004.
- [11] Y. Y. R. Díaz, C. M. Duran, and M. Cuenca, “Discriminación De Hidromieles A Través De Una Lengua Electrónica,” 2014.





- [12] C. Durán, A. Velásquez, and O. Gualdrón, “Implementación de una nariz electrónica para detectar pacientes con EPOC desde el aliento exhalado.,” vol. 3461, 2012.
- [13] C.-F. Hsieh and Q.-J. Zhou, “Fluid analysis of cylindrical and screw type Roots vacuum pumps,” *Vacuum*, vol. 121, pp. 274–282, 2015.
- [14] M. C. Quicazán S, A. C. Díaz M, and C. M. Zuluaga D, “La nariz electrónica, una novedosa herramienta para el control de procesos y calidad en la industria agroalimentaria,” *Vitae*, vol. 18, no. 2, pp. 209–217, 2011.
- [15] J. Rodríguez and C. Durán, “Electronic Odor System To Detect Volatile Compounds,” *Control*, 2008.
- [16] A. Fort, M. Gregorkiewitz, N. Machetti, S. Rocchi, B. Serrano, L. Tondia, N. Uliviera, V. Vignoli, G. Faglia, and E. Cominiac, “Selectivity enhancement of SnO<sub>2</sub> sensors by means of operating temperature modulation,” vol. 418, pp. 2–8, 2002.
- [17] R. Gosangi and R. Gutierrez-Osuna, “Active temperature modulation of metal-oxide sensors for quantitative analysis of gas mixtures,” *Sensors Actuators, B Chem.*, vol. 185, pp. 201–210, 2013.
- [18] E. Martinelli, D. Polese, A. Catini, A. D’Amico, and C. Di Natale, “Self-adapted temperature modulation in metal-oxide semiconductor gas sensors,” *Sensors Actuators, B Chem.*, vol. 161, no. 1, pp. 534–541, 2012.
- [19] K. a. Ngo, P. Lauque, and K. Aguir, “High performance of a gas identification system using sensor array and temperature modulation,” *Sensors Actuators, B Chem.*, vol. 124, no. 1, pp. 209–216, 2007.
- [20] A. Ortega, S. Marco, A. Perera, T. Šundić, A. Pardo, and J. Samitier, “An intelligent detector based on temperature modulation of a gas sensor with a digital signal processor,” *Sensors Actuators, B Chem.*, vol. 78, no. 1–3, pp. 32–39, 2001.





- [21] D. Polese, E. Martinelli, a. Catini, a. D'Amico, and C. Di Natale, "Self-adaptive thermal modulation of gas sensors," *Procedia Eng.*, vol. 5, pp. 156–159, 2010.
- [22] a. Vergara, E. Llobet, J. Brezmes, P. Ivanov, X. Vilanova, I. Gracia, C. Cané, and X. Correig, "Optimised temperature modulation of metal oxide micro-hotplate gas sensors through multilevel pseudo random sequences," *Sensors Actuators, B Chem.*, vol. 111–112, no. SUPPL., pp. 271–280, 2005.
- [23] G. Zhang and C. Xie, "A novel method in the gas identification by using WO<sub>3</sub> gas sensor based on the temperature-programmed technique," *Sensors Actuators B Chem.*, vol. 206, pp. 220–229, 2015.
- [24] A. Ziyatdinov, J. Fonollosa, L. Fernández, A. Gutierrez-Gálvez, S. Marco, and A. Perera, "Bioinspired early detection through gas flow modulation in chemo-sensory systems," *Sensors Actuators B Chem.*, vol. 206, pp. 538–547, 2015.
- [25] «FIS Inc. Nissha Printing Co.,Ltd.,» Abril 1995. [En línea]. Available: <http://www.fisinc.co.jp/en/products/basic.html>.
- [26] «Figaro Engineering Inc. Figaro Gas Sensor Technical Reference.,» 18 October 1969. [En línea]. Available: <http://www.figaro.co.jp/en/>.
- [27] «Arduino S.r.l.Italy.,» 22 Diciembre 2013. [En línea]. Available: <http://www.arduino.org/>.

