

Análisis de Consumo de Aceite en Motores de Combustión Interna por Medio de Redes Neuronales Artificiales Aplicando la Técnica de Retropropagación

Adolfo Meléndez Ramírez*, Francisco Jacob Ávila Camacho*, Leonardo Moreno Villalba*, Juan Manuel Stein Carrillo*, César Primero Huerta**



Acerca de los autores...

* Docente de la División de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.

** Maestrante de la División de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.



Resumen

En la actualidad, usar automóviles es una necesidad primordial para el desplazamiento de las personas, que generalmente no tienen la conciencia de realizar un mantenimiento adecuado en los vehículos para su correcto funcionamiento, lo cual evitaría la excesiva emisión de contaminantes que perjudican al medio ambiente. El siguiente Sistema de Adquisición de Datos (DAS), permitió capturar diversas muestras mediante sensores de gas, procesando los resultados en un circuito Advanced RISC Machine (ARM) por medio del entrenamiento de una Red Neuronal Artificial (RNA), cuyo propósito es identificar la composición química en el consumo excesivo de gasolina y aceite automotriz manifestando el principio de la contaminación, ayudando a identificar vehículos con mayor índice de emisiones contaminantes de una forma rápida y alertando al usuario de un defecto en su motor.

Abstract

Nowadays, using cars is a primary need for people displacement, who generally don't have the awareness of making a proper maintenance to their vehicles for a correct functioning and to avoid the excessive pollutant emissions that are generated and damage the environment. This Data Acquisition System (DAS) allowed to capture different samples by gas sensors, processing the results in an Advance RISC Machine (ARM) circuit through training of an Artificial Neural Network (ANN), which purpose is to identify the chemical composition in the excessive consumption of gas and automotive oil manifesting the principle of pollution, helping to identify vehicles with higher rating of pollutants emissions in a faster way and warning the user of an engine flaw.

Índice de Términos: aceite, gasolina, contaminación, nariz electrónica.

Introducción

En términos generales [2], la nariz electrónica es un dispositivo compuesto por cuatro etapas funcionales:

- La primera, realiza la adecuación de la mezcla gaseosa y el muestreo.
- El conjunto de sensores de gases hace la detección de los compuestos volátiles.
- La electrónica de control se dedica a la gestión del conjunto de sensores y adecuación de la señal.
- Finalmente, se hace uso de una computadora, donde se extraen los rasgos característicos o “huellas” de cada aroma, y se aplican algoritmos de clasificación de patrones.

Para la explotación de los algoritmos de búsqueda [3], es necesario tener un dispositivo olfativo artificial denominado comúnmente como nariz electrónica.

Al ser un instrumento de medida no invasivo [5], ofrece la ventaja de realizar un análisis y control que permite, en poco tiempo, detectar, comparar y clasificar los compuestos orgánicos volátiles, permitiendo la aplicación de esta tecnología en el control de la calidad.

Los sistemas de nariz electrónica [10] se diseñaron para ser usados con numerosos productos y aplicaciones como frescura de alimentos [10], empaques, cosméticos; utilidad en medicina [11]; contaminación ambiental [13 y 15]; control de calidad de materias primas [16]; ámbitos de seguridad doméstica [12]; productos elaborados [18], y monitoreo de procesos [17].

Casos como el de Volkswagen (VW) [1], que se descubrió por parte de la Agencia de Protección de Medioambiental de Estados Unidos (EPA), la cual informó que parte de los vehículos de la marca alemana tenían trucadas las pruebas de emisión, siendo que éstos rebasaban los niveles hasta cuarenta veces más a los declarados por el fabricante.

Por esta razón, el presente proyecto pretende alertar a los dueños de vehículos, sin necesidad de computadoras, y mediante una alarma, saber el momento adecuado para realizar su mantenimiento, además de concientizar sobre el daño ambiental que se genera por las emisiones de los vehículos.



1. Métodos y Materiales

El [1] software de adquisición y control, se desarrolló en Matlab, el cual se usó como interface gráfica de usuario para realizar las funciones de sincronización a través de la tarjeta DAQ, con el fin de realizar las operaciones de adquisición y almacenamiento de datos, garantizando los tiempos de concentración y limpieza.

A continuación se describen los métodos utilizados para el desarrollo del sistema de entrenamiento de la red neuronal, la cual fue compuesta por los sensores de gas:

TABLA 1
SENSORES IMPLEMENTADOS

SENSOR	DESCRIPCIÓN
MQ2	El sensor de gas analógico (MQ2)[6], se utiliza en la detección de fugas de gas de equipos en los mercados de consumo y la industria; este sensor es adecuado para la detección de gas LP, i-butano, propano, metano, alcohol, hidrógeno, tiene una alta sensibilidad, un tiempo de respuesta rápido y dicha sensibilidad puede ser ajustada por el potenciómetro.
MQ3	Este sensor de alcohol [7], es adecuado para detectar la concentración de alcohol mediante el aliento de las personas, al igual el denominado alcoholímetro. Tiene una alta sensibilidad y tiempo de respuesta rápido. El sensor proporciona una salida analógica resistiva, basada en la concentración de alcohol. El circuito de excitación es muy simple, todo lo que se necesita es una resistencia. Una sencilla interfaz puede ser un ADC de 0-3.3V.
MQ7	Este es un sensor para detectar la presencia de Monóxido de Carbono [8]. El sensor MQ-7 Puede detectar concentraciones de gas en cualquier rango dentro de las 200 hasta las 10,000ppm. Este sensor tiene una alta sensibilidad y un tiempo de respuesta rápido. La salida del sensor tiene una resistencia analógica.
MQ135	El sensor de gas Amoniaco y Óxido de Nitrógeno, es ideal para detección dichos gases[9]. Tiene la sensibilidad ajustable para tener una lectura adecuada al sistema particular. El sensor es de tamaño pequeño, muy práctico y sencillo de utilizar. El módulo tiene una salida digital a través de un comparador con umbral ajustable y una salida analógica que se puede medir con cualquier microcontrolador o tarjeta de desarrollo con ADC.



Figura 1

Sensores de gas.

Estos datos se enviaron en tiempo real para su procesamiento a un microprocesador ARM Arduino[3], el cual es de bajo costo y de código abierto, que permite leer entradas mediante sensores, convirtiendo los datos en salidas gracias a su procesamiento en el *Integrated Development Environment* (IDE).

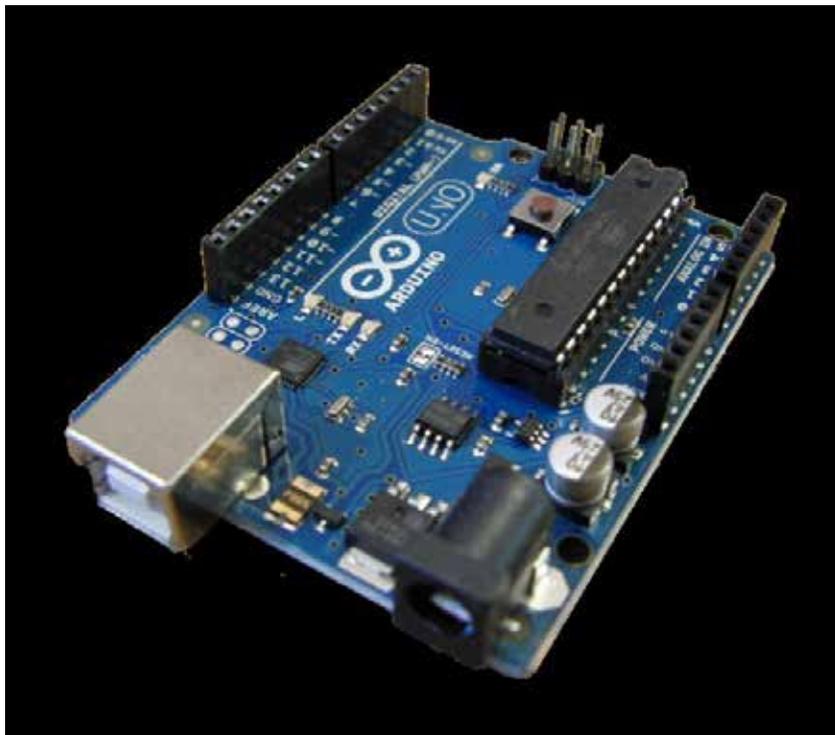


Figura 2

Microprocesador ARM Arduino

2. Medición

Al realizar las pruebas de la nariz electrónica se obtuvieron cuatro muestras, correspondientes a cada uno de los sensores utilizados. Dichas muestras representan los patrones que definen las características de las mismas, los cuales fueron procesados mediante el software de Matlab.

Una vez construido el circuito, se realizaron diversas pruebas, identificando tres tipos de datos:

- A. Aire limpio (sin combustión).
- B. Gasolina pura (combustión normal).
- C. Gasolina con Aceite (combustión contaminante).



Figura 3

Prototipo nariz electrónica

Al momento de realizar las lecturas, éstas mostraron diferentes parámetros, como se muestra en la figura 4; de dichos datos, se tomó una muestra específica para entrenar la red neuronal en Matlab.

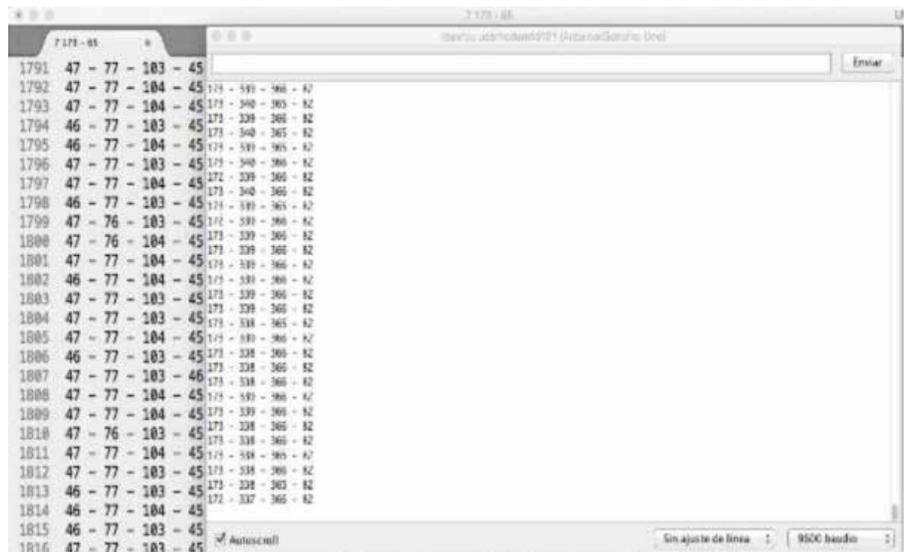


Figura 4

Muestra en tiempo real IDE Arduino

3. Entrenamiento

Una vez obtenidos los datos, se diseñó una Red Neuronal Artificial, la cual cuenta con la siguiente estructura:4:20:3, lo que representa:

- 4 Neuronas de Entrada
- 20 Neuronas en la Capa Oculta
- 3 Neuronas de Salida, las cuales nos permiten la identificación del tipo de combustión que se está realizando.

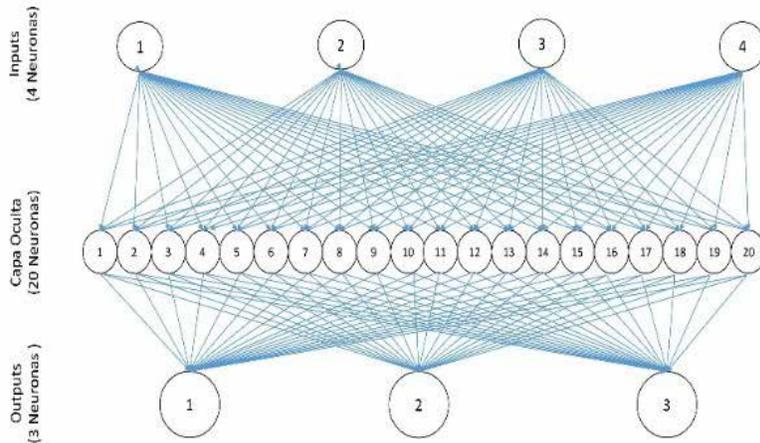


Figura 5

Diagrama de Red Neuronal.

El objetivo de la detección de patrones es reconocer de forma automática aquellos patrones que ya conocemos, o en su defecto nos ayudarán a conocer [19]. Para lograr la clasificación de los datos mediante una red neuronal, son necesarias varias etapas, por ejemplo:

- Modelo
- Aprendizaje
- Validación

Durante la etapa de Modelo, se logran manejar diferentes tipos, entre ellos:

- Supervisados [20]: este tipo de aprendizaje es aquel en el cual se encuentra una persona experta, la cual posee las entradas/salidas deseadas de una muestra; cualquier valor fuera de éstos, es un patrón incorrecto.
- No Supervisados [14]: este método de aprendizaje se basa en la entrada de información y ésta produce una salida diferente, de acuerdo con cada patrón independiente que logre identificar.

Estos tipos de modelo ayudaran a la detección rápida y eficiente del mejor algoritmo para la fase de aprendizaje; en nuestro caso, utilizaremos el algoritmo de *backpropagation*, el cual es un algoritmo de aprendizaje supervisado, que permite a una Red Neuronal la disminución del error por corrección.

Backpropagation utiliza la propagación del error hacia atrás, al recorrer los datos de salida hacia los de entrada modificando las características necesarias para la activación de la red mediante la utilización del diagrama de la red Neuronal creado (ver Ilustración 6), asignándole los siguientes valores.

TABLA 2
VARIABLES DE APRENDIZAJE

DESCRIPCIÓN	VALOR
Formación	70%
Validación	15%
Pruebas	15%

Una vez finalizada la etapa de Aprendizaje, con las características indicadas, se procede a evaluar los resultados.

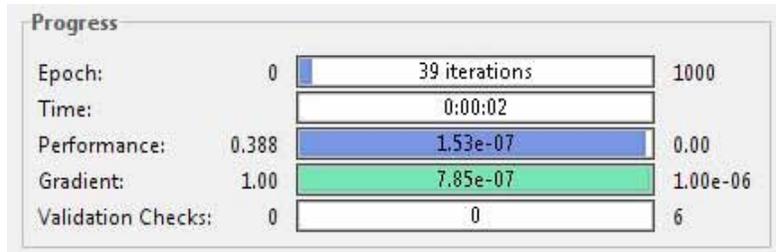


Figura 6

Progreso de Aprendizaje

En la Ilustración 6 se puede observar que el proceso de aprendizaje se realizó un promedio de 39 épocas.

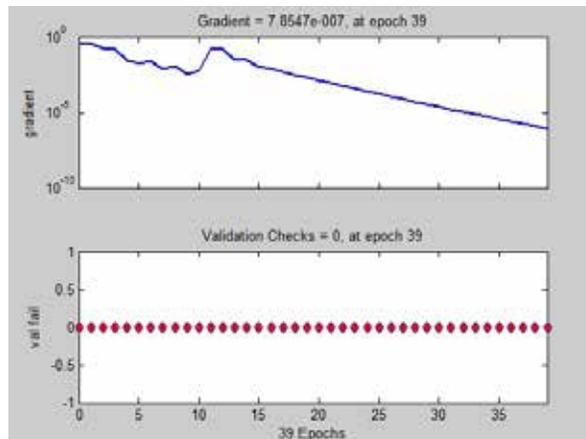


Figura 7

Índice Gradiente y Valores Erróneos

Creando un porcentaje de confusión, como se muestra en la imagen 7.

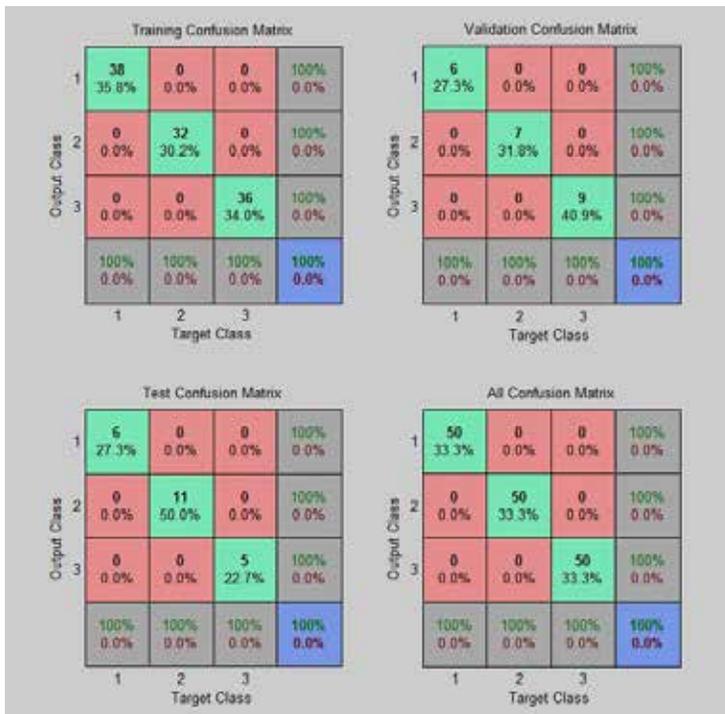


Figura 8

Gráfica de Confusión

Se puede observar también el valor del error cuadrático:

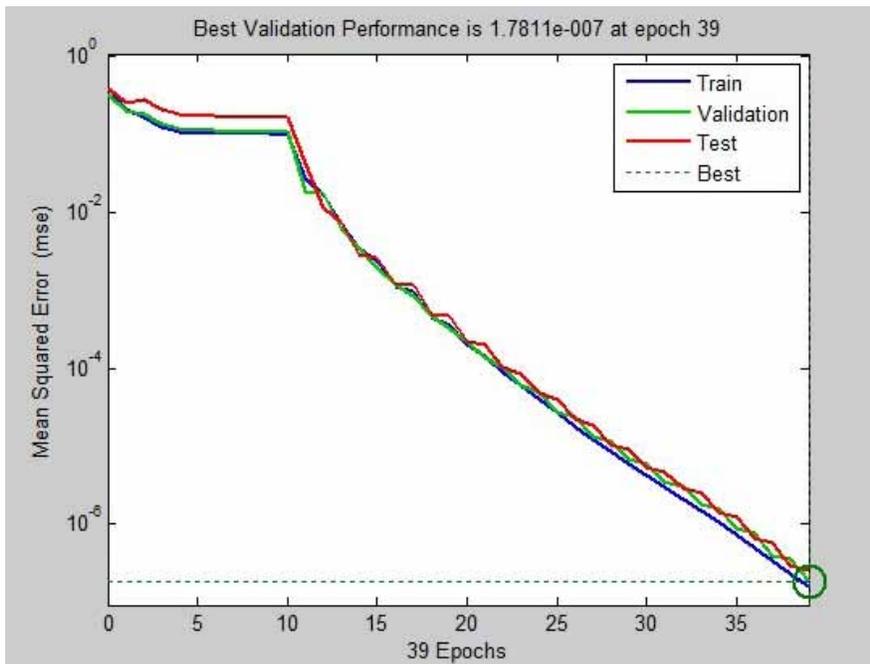


Figura 9

Error cuadrático.

Cuando la RNA fue entrenada de manera exitosa, se pudo observar que tenía una precisión del 100%, además de analizar el porcentaje de validación, en la cual no se mostraron falsos positivos que perjudicaran la detección de consumo de aceite-gasolina.

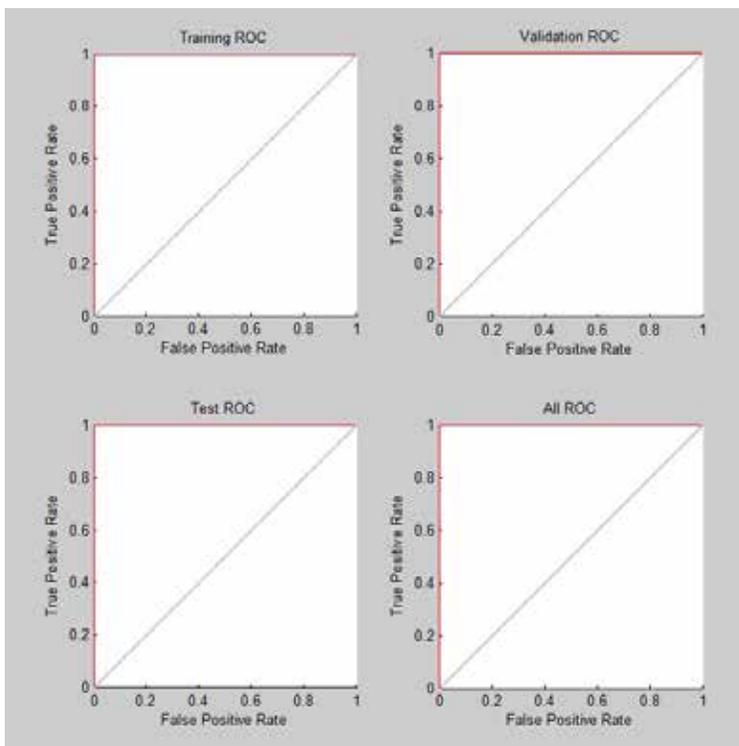


Figura 10

Falsos positivos

Una vez concluido el entrenamiento, se procedió a realizar una prueba con la que se llevó a cabo la comprobación con algunos datos que ya se tenían. De este modo, fueron introducidos manualmente y procesados por la RNA de Matlab, con resultados satisfactorios.

```

MATLAB desktop keyboard shortcuts, such as Ctrl+S, are now customizable.
In addition, many keyboard shortcuts have changed for improved consistency
across the desktop.

To customize keyboard shortcuts, use Preferences. From there, you can also
restore previous default settings by selecting "R2009a Windows Default Set"
from the active settings drop-down list. For more information, see Help.

Click here if you do not want to see this message again.

>> nprtool
>> nprtool
>> p=[0.13671875; 0.224609375 ;0.208007813; 0.064453125;];
>> sim(net,p)

ans =

    0.0001
    0.0003
    0.9997

>> |

```

Figura 11

Prueba de proceso manual

En este caso, se pudo observar que los datos ingresados fueron detectados como contaminantes, por lo que el siguiente paso fue realizar pruebas en tiempo real directas en Matlab y con el sensor en operación.

3. Ejecución en tiempo real

Una vez que se ejecutó el código en el IDE, el microprocesador empezó a realizar las lecturas, las cuales fueron realizadas con éxito, y demostraron el funcionamiento de la nariz electrónica, por lo que se determinó la práctica como satisfactoria.

```
>> a=arduino('COM3')
cont=0;
while(cont<600)
    mq2=a.analogRead(0);
    mq3=a.analogRead(1);
    mq4=a.analogRead(2);
    mq5=a.analogRead(3);
    reasmq2 = mq2/1024;
    reasmq3 = mq3/1024;
    reasmq4 = mq4/1024;
    reasmq5 = mq5/1024;

    disp(mq2);
    disp(mq3);

    disp(mq3);
    disp(mq4);

    input=[reasmq2;reasmq3;reasmq4;reasmq5];
    output=sim(net,input);
    disp(output(1,1));
    disp(output(2,1));
    disp(output(3,1));

    if(output(1,1)>=0.9 && output(2,1)< 0.9 && output(3,1)< 0.9)
        disp('no combustion');
        pause(5);
    end
    if(output(1,1)<0.9 && output(2,1)>= 0.9 && output(3,1)< 0.9)
        disp('Se esta consumiendo gasolina');
        pause(5);
    end
    if(output(1,1)<0.9 && output(2,1)< 0.9 && output(3,1)>= 0.9)
        disp('ALERTA, consumo de aceite');
        pause(5);
    end
    cont=cont+1;
    pause(1);
end
Attempting connection .....
```

Figura 12

Ejecución en tiempo real de la RNA en Matlab

Con el resultado de:

```
Servo 67 is DETACHED
Servo 68 is DETACHED
Servo 69 is DETACHED

Servo Methods: servoStatus servoAttach servoDetach servoRead servoWrite

Encoder 0 is DETACHED
Encoder 1 is DETACHED
Encoder 2 is DETACHED

Encoder Methods: encoderStatus encoderAttach encoderDetach encoderRead encoderReset

Serial port and other Methods: serial flush roundTrip

    0.2149
    0.0135
    0.9864

ALERTA, consumo de aceite
    0.0290
    0.0016
    0.9131

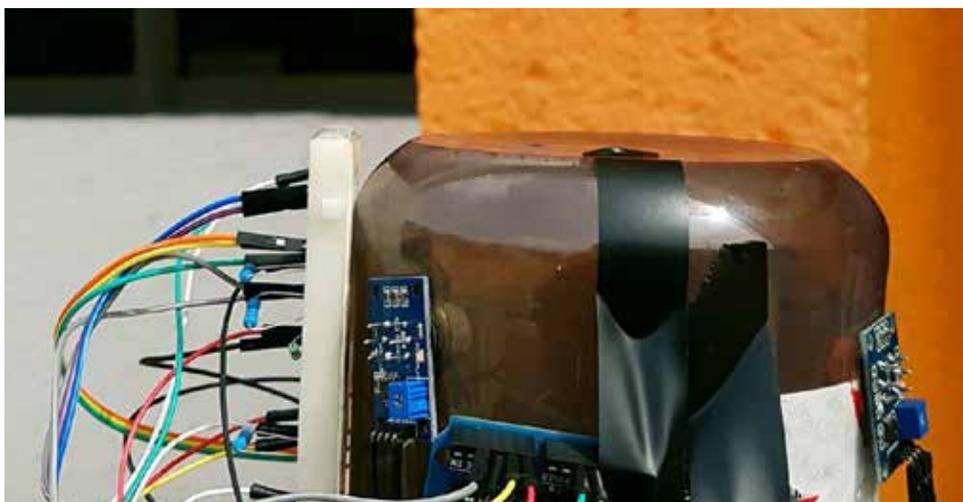
ALERTA, consumo de aceite
    0.0097
    0.0024
    0.9865
```

Figura 13

Respuesta en tiempo real Matlab

En la figura anterior, se muestra el resultado del algoritmo y se determinó que el humo se encontraba contaminado; además, se pudo ver el efecto en el recipiente que funcionó como catador de emisiones, al observarse un cambio de color de transparente a negro, como se puede observar si se compara la Figura 3 con la Figura 14.

Figura 14
Efecto Colateral



Conclusiones

Como se pudo observar en el transcurso de este pequeño experimento, la red neuronal funcionó de manera satisfactoria, dando los resultados esperados. Con esta investigación no se busca solucionar los problemas de contaminación actuales, sino que la finalidad es contribuir a concientizar a las personas que utilizan un vehículo de combustión interna de manera desorientada, para invitarlos a brindar el debido mantenimiento a sus vehículos. Estos resultados fueron a penas de unos cuantos minutos de medición de emisiones, pero nos hemos preguntado ¿cuántas horas al día está encendido un motor?, y ¿cuántos vehículos circulan en promedio al día?

Es necesario mencionar que la contaminación no se acabará con preguntar quién o como, todos estamos inmiscuidos en un problema global que solo terminará cuando se apliquen sanciones fuertes y severas a los que se hagan acreedores a las mismas.

Trabajos Futuros

Durante el desarrollo del proyecto, se detectaron algunas necesidades, las cuales mejorarían la efectividad del mismo, al agregar nuevos sensores se ayudaría a optimizar la identificación de patrones de cada muestra tomada.

Se requiere perfeccionar el prototipo utilizado, para lograr que sea portable y permita una mayor obtención de información.

Es conveniente crear un sistema de envío de alertas al usuario cuando se localice algún problema en la detección de la información.

Reconocimientos

Deseamos hacer un reconocimiento al Dr. Adolfo Melendez Ramírez, por su valiosa contribución y dedicación durante los años que ha impartido su materia, y por compartir el conocimiento con sus alumnos.

A nuestros compañeros de equipo, quienes siempre estuvieron a la altura de este nuevo reto.

Biografía de los Autores

DR. ADOLFO MELÉNDEZ RAMÍREZ. Es miembro (M) de la IEEE en 2015 y de la ACM desde 2013. Nació en Tlaxcala en 1965. Obtuvo el título de ingeniero en Comunicaciones y Electrónica en el Instituto Politécnico Nacional, Unidad Zacatenco, México, en el año 1990.

Obtuvo el grado de la Maestría en Administración y Desarrollo de Negocios, por la Universidad del Valle de Toluca, en el 2011; obtuvo el grado de Doctor en Sistemas Computacionales, por la Universidad Da Vinci, en 2015.

Del 2003 a la fecha se ha desempeñado como profesor-investigador en la División de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ha impartido conferencias y publicado en memorias de congresos nacionales e internacionales y actualmente está dirigiendo proyectos de investigación financiados por la DGEST y el Tecnológico Nacional de México. También cuenta con artículos en revisión en diversas publicaciones arbitradas e indexadas. Sus líneas de investigación incluyen procesamiento paralelo, inteligencia artificial, reconocimiento de patrones, seguridad informática, minería de datos, internet de las cosas, sistemas distribuidos, sistemas embebidos. Es socio fundador de la empresa Pringel, S.A. de C.V.

EL M. EN I.S.C. MELÉNDEZ es miembro activo de la Sociedad Mexicana de Tecnologías de la Información, Mecatrónica y Telemática, A.C.

M. EN I.S.C. LEONARDO M. MORENO VILLALBA. Es profesor investigador del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, adscrito a la División de Informática. Es Ingeniero en Sistemas Computacionales, Maestro en Ingeniería en Sistemas, y Doctorante en Cómputo. Ha impartido conferencias y publicado en memorias de congresos nacionales e internacionales, así como en revistas indexadas y arbitradas, actualmente está dirigiendo proyectos de investigación financiados por el Tecnológico Nacional de México. Sus líneas de investigación incluyen inteligencia artificial, machine learning, aprendizaje profundo, procesamiento natural del lenguaje y visión artificial. Es miembro del Institute of Research Engineers and Doctors, y de la International Association of Engineers.

DR. FRANCISCO JACOB ÁVILA CAMACHO. Nació en Puebla, en 1967. Obtuvo el título de Ingeniero en Electrónica por la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México, en el año de 1990; obtuvo el grado de la Maestría en Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, Estado de México, en el año 2010, y el Doctorado en Sistemas Computacionales por parte de la Universidad Da Vinci, en la Ciudad de México, en el año 2015.

Del 2003 a la fecha se ha desempeñado como profesor investigador en la División de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ha impartido conferencias y publicado en memorias de congresos nacionales e internacionales, así como en revistas indexadas y arbitradas. Actualmente está dirigiendo proyectos de investigación financiados por el Tecnológico Nacional de México. Sus líneas de investigación incluyen inteligencia artificial, reconocimiento de patrones y algoritmos difusos, minería de datos, internet de las cosas, sistemas distribuidos, sistemas embebidos, brain computer interface. Es socio fundador de la empresa Ihualia Software, S.A. de C.V., donde mantiene dos registros en el Instituto Nacional del Derecho de Autor por el software desarrollado para la empresa. Es miembro activo de la Sociedad Mexicana de Tecnologías de la Información, Mecatrónica y Telemática, A.C.

ING. JUAN MANUEL STEIN. Es candidato a doctor por la Universidad Da Vinci. Actualmente es profesor de tiempo completo en el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ha publicado dos artículos en revistas internacionales y sus líneas de investigación están enfocadas a interfaces humano-computadora, reconocimiento de patrones, y otros.

CÉSAR PRIMERO HUERTA. Maestrante del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.

Bibliografía

- [1] P. C. M. D. A. M. J. A. A. G. M. (. J. E. O. S. Phd. Oscar Eduardo Gualdrón Guerrero., "Implementación de un modelo neuronal en un dispositivo hardware (fpga) para la clasificación de compuestos químicos en un sistema multisensorial (nariz electrónica)", *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, Vol. 2, No. 24, pp. 127-133, 2014.
- [2] M. A. Méndez. *El Confidencial*, 22 septiembre 2015. [en línea]. Available: http://www.elconfidencial.com/tecnologia/2015-09-22/como-volkswagen-engano-a-todos-falsificando-las-emisiones-de-sus-coches-diesel_1031467/. [último acceso: 20 abril 2016].
- [4] A. P. Zurro, "Uso de una nariz electrónica ultra-portátil en robots para la detección de fuentes de odorantes", Madrid, España, 2015.
- [5] H.-o. M. G.-g. O. E. Durán-Acevedo Cristhian Manuel, "Nariz electrónica para determinar el índice de madurez del tomate de árbol (*Cyphomandra Betacea Sendt*)", *Ingeniería Investigación y Tecnología*, Vol. XV, No. 3, pp. 351-362, 2014.
- [10] A. C. D. M. C. M. Z. D. Martha C. Quicazán S., "La nariz electrónica, una novedosa herramienta para el control de procesos y calidad en la industria agroalimentaria", *Vitae*, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica, Vol. 18, No. 2, pp. 209-217, 2011.
- [11] D. D. M. L. E. R. S. Ainciondo, "Desarrollo e Implementación de un Sistema Embebido: Nariz Electrónica", 16o Concurso de Trabajos Estudiantiles, est, pp. 26-36, 2013.
- [12] R. C. R. G. F. M. ., A. J. Iveth Moreno, "La nariz electrónica: estado del arte", Iveth Moreno, Rony Caballero, Ramón Galán, Fernando Matía, Agustín Jiménez, Vol. 6, No. 3, pp. 76-91, 2009.
- [13] Vida Científica, "Contaminación Odorífera", *Vida Científica*, No. 5, pp. 92-100, 2012.
- [14] J. M. F. F. Raquel Flórez López, *Las redes neuronales artificiales*, España: Netbiblo, 2008.

[15] C. M. D. Acevedo, "Optimización de una nariz electrónica a través de un método de selección de variables", *El Hombre y la Máquina*, No. 41, pp. 56-63, 2013.

[16] A. L. V. L. G. D. P. A. V. L. Gerado Díaz Murcio, "Desarrollo de una nariz electrónica para el control de calidad en la industria de alimentos", *Ciencia, Tecnología e Innovación en Querétaro*, *Casos Exitosos*, No. 12, pp. 1-7, 2014.

[17] M. T. C. A. Abel Montenegro, *Nariz electrónica inalámbrica móvil con monitoreo en tiempo real*, Panamá.

[18] N. P. Castañeda, *Implementación de un sistema de evaluación sensorial electrónico para el control de calidad de vinos*, Valladolid.

[19] A. G. C. G. M. A. J. S. M. H. J. Lozano, "Reconocimiento de patrones basado en redes neuronales y análisis de componentes independientes para narices electrónicas", *Researchgate*, Vol. 1, No. 1, p. 9, 2010.

[20] A. G. G. N. D. A. M. Raúl Pino Díez, *Introducción a la Inteligencia Artificial: sistemas expertos, redes neuronales artificiales y computación evolutiva*, Universidad Oviedo: Universidad Oviedo, 2001.

LINOGRAFÍA

- [3] Arduino, «arduino.» [en línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/guide/introduction#>. [último acceso: 30 abril 2016].
- [6] H. Torres, «hetpro.» 6 agosto 2014. [en línea]. Available: <http://hetpro-store.com/tutoriales/sensor-de-gas-mq2/>. [último acceso: 29 abril 2016].
- [7] Automatización de sistemas en movimiento, «automatización de sistemas en movimiento.» [en línea]. Available: <http://www.asm-automatizacion.com/#!arduino/c104d>. [último acceso: 29 abril 2016].
- [8] Hwsensor, «hwsensor.» [en línea]. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/sensors/biometric/mq-7.pdf>. [último acceso: 29 abril 2016].
- [9] Winsen, «winsen.» [en línea]. Available: <http://www.winsen-sensor.com/d/files/semiconductor/mq135.pdf>. [último acceso: 29 abril 2016].