

## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN, REGISTRO Y MONITOREO DE GASES CONTAMINANTES

**Luis Bernal\***, *Alumno*, **Ignacio Quintana\***, *Alumno*, **Prof. Lic. Fernando Pio Barrios\***, *Asesor*, **Prof. Lic. Carolina Recalde\***, *Asesor*, **Prof. Ing. Diego Palacios\***, *Asesor*

Carrera de Ingeniería Electrónica  
Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Asunción

**Resumen**—Nuestro Trabajo Final de Grado desarrolla un sistema que permite monitorear gases de contaminación atmosférica a través de un prototipo que realiza mediciones de forma automática. El prototipo utiliza una microcomputadora y un microcontrolador para la adquisición de datos de sensores de monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), temperatura y humedad. Los datos adquiridos son enviados en paquetes de datos por la red celular, a través de un módulo GPRS, a una aplicación de monitoreo. Esta aplicación recibe los datos, los almacena y permite visualizarlos en una página web. Finalmente, una vez implementado el prototipo, se realizaron las pruebas de funcionamiento del mismo.

**Abstract**— Our final project develops a system to monitor air pollution gases, through a prototype that performs measurements automatically. The prototype uses a microcomputer and a microcontroller for data acquisition sensors as carbon monoxide (CO), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>), nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), ozone (O<sub>3</sub>), temperature and humidity. The data is sent in data packets over the cellular network, by a GPRS module and them, to a monitoring application; this application receives the data, stores and allows viewing in a web page. Finally, once we implemented the prototype, the same function tests were performed.

Luis Bernal es alumno de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la UNA (lfbernalmarin@gmail.com).

Ignacio Quintana es alumno de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la UNA (ignacioquintana@gmail.com).

Fernando Pio Barrios es Docente Investigador del Laboratorio de Mecánica y Energía de la Facultad de Ingeniería de la UNA (barrios.fernando@gmail.com).

Carolina Recalde es Docente Técnico del Laboratorio de Mecánica y Energía de la Facultad de Ingeniería de la UNA (carolinarecalde@gmail.com).

Diego Palacios es Docente Investigador del Laboratorio de Mecánica y Energía de la Facultad de Ingeniería de la UNA (ingdfpr@gmail.com).

### I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la contaminación del medio ambiente es de preocupación mundial, Paraguay no debería quedar ajeno a esto, ya que la continua globalización y urbanización supone un reto a la capacidad de nuestro país de salvaguardar la salud pública. La congestión vehicular y la contaminación atmosférica son dos grandes problemas que aquejan a las ciudades en países en desarrollo. La congestión se produce por la operación de automóviles, ómnibus, y vehículos motorizados en calles y avenidas de capacidad limitada. La contaminación se produce porque las emisiones contaminantes, de la que los vehículos son responsables en una fracción importante,

sobrepasan la capacidad de absorción y dilución de la zona en que se ubica la ciudad.

En el presente proyecto se diseñó e implementó un sistema de medición, registro y monitoreo de gases contaminantes en la entrada peatonal de la Facultad de Ingeniería UNA, ubicada sobre la avenida Mariscal López. Para ello fue necesario el estudio de técnicas y tecnologías actualmente utilizadas para la medición de gases, de manera que el sistema de medición sea confiable, proporcione datos en tiempo real y se actualice de manera constante y automática.

Para enfrentar de manera efectiva el problema de la contaminación atmosférica, es necesario primero conocer cuantitativamente las concentraciones de los gases contaminantes de criterio y desarrollar e implementar un programa integral, que se encamine a la reducción progresiva de las emisiones contaminantes provenientes de los vehículos y otras fuentes. El conocimiento de las concentraciones de gases contaminantes en la atmósfera es de significativa importancia en la evaluación del estado de la calidad del aire de una comunidad.

### II. PROCEDIMIENTO DE SOLUCIÓN

En este apartado se exponen los conceptos básicos de contaminación ambiental, se describen métodos de medición de gases; luego se presenta el diseño del prototipo, así como la construcción e instalación del mismo.

#### II-A. Contaminación Ambiental

Es la presencia en el ambiente de cualquier agente físico, químico, biológico, o una combinación de varios agentes, en lugares, formas y concentraciones tales que, sean nocivos para la salud de la población, vida vegetal y animal[1].

##### A.1. Contaminación Atmosférica

Consiste en la presencia en la atmósfera de sustancias producidas por actividades humanas o procesos naturales que causan efectos adversos al hombre y medio ambiente. Los contaminantes atmosféricos más frecuentes y ampliamente dispersos son: el monóxido de carbono, el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno, el ozono, el dióxido de carbono o las partículas en suspensión.

Las fuentes de contaminación del aire son las que emiten los gases y partículas contaminantes a la atmósfera. Las fuentes de contaminación se pueden clasificar en móviles y estacionarias[1].

### A.2. Principales Gases Contaminantes

Los gases más comunes y perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos son:

**Monóxido de Carbono:** es un gas no irritante, incoloro, inodoro, insípido y tóxico, que se produce por la combustión de materia orgánica como la madera, el carbón o el petróleo, en una atmósfera con insuficiencia de oxígeno.

**Dióxido de Carbono:** constituye el enlace indispensable que une al Sol con la Tierra, que permite que la energía luminosa se incorpore a los sistemas vivientes. A partir de la energía solar y con la intervención de moléculas como la clorofila y el agua, participa en el proceso de la fotosíntesis en las plantas.

**Óxidos de Azufre:** el SO<sub>2</sub>, dentro del conjunto de los gases SO<sub>x</sub>, se produce, principalmente de la combustión de compuestos que contienen azufre y durante ciertos procesos industriales como en la producción de acero.

**Óxidos de Nitrógeno:** el NO<sub>2</sub> puede irritar los pulmones y predispone al organismo para contraer diferentes infecciones respiratorias, como gripe e influenza.

**Ozono:** se produce cuando los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y los compuestos orgánicos volátiles (COV) de fuentes como la quema de combustible reaccionan mediante procesos fotoquímicos a la luz del sol. Las centrales eléctricas, el escape de los vehículos automotores, los vapores de la gasolina y los solventes químicos son las fuentes principales de estas emisiones[1].

### A.3. Medición de Gases Contaminantes

La medición de gases contaminantes consiste en la determinación de la concentración de cada uno de ellos en la atmósfera. La concentración consiste en la cantidad de un elemento o compuesto por unidad de volumen. Para expresar concentraciones en gases se utilizan las unidades ppm (partes por millón) y ug/m<sup>3</sup>.

### A.3. Métodos para la Medición de Gases

Existen algunos métodos de medición de gases de contaminación ambiental siendo los más comunes los métodos activos, pasivos y continuos.

Los métodos pasivos dejan acumular los contaminantes durante un cierto período y luego determinan la contaminación promedio durante dicho período.

Los métodos activos se caracterizan por la succión de aire a través de una bomba de flujo constante por un período de tiempo.

Los métodos continuos permiten mediciones de forma programable que puede variar desde minutos hasta horas.

### II-B. Diseño del Prototipo

Para la solución al problema se diseñó un sistema autónomo que pueda medir gases contaminantes, los almacene en una base de datos y pueda ser visualizado por cualquier usuario interesado en una página web,

el diseño cuenta con tres grandes bloques: adquisición de datos, envío y recepción de datos, aplicación.

#### B.1. Bloque de adquisición de datos

Para la adquisición de datos del prototipo se componen de sensores que toman los datos, un microcontrolador para el tratamiento de la señal para pasar a ppm y de una microcomputadora que gestiona todas las peticiones del sistema.

En los sistemas de adquisición de datos, las señales que brindan los sensores generalmente necesitan cierto tratamiento para que los dispositivos puedan analizarse correctamente. Muchos de los sistemas basados en una computadora contienen módulo de acondicionamiento de señales para poder adquirir y procesar señales[5].

El microcontrolador utilizado es un arduino atmega 2560 que se encarga de la recolección de datos de los seis sensores: CO, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, temperatura y humedad, cuatro de ellos emiten una señal de respuesta analógica por lo que es necesario el uso de convertidores analógico-digitales para su interconexión con el microcontrolador que posee convertidores A/D de 10 bits. En el caso de los dos sensores digitales, el de temperatura y humedad, que emiten una respuesta digital, no será necesaria la conversión A/D.

#### 1.1 Acondicionamiento de los sensores de gases

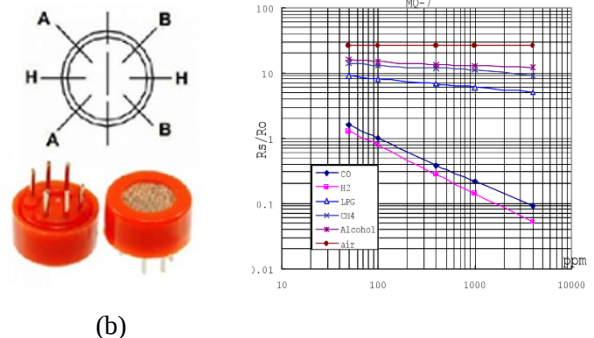


Figura 1. a) Sensor MQ-7(CO). b) Respuesta del sensor CO -Curva característica, eje vertical Rs/Ro y eje horizontal ppm.

El valor del sensor de CO se toma por medio del pin analógico del microcontrolador, el cual posee un convertidor analógico-digital. Primero se convierte el equivalente decimal de la lectura a voltaje; con este valor se calcula la relación Rs/Ro que es necesaria para determinar el equivalente en ppm. Para encontrar la ecuación que relaciona Rs/Ro con el nivel de ppm se analizó la figura 1. (b) de respuesta del sensor.

El sensor responde a la siguiente ecuación de respuesta logarítmica:

$$y = kx^n$$

Analizando la figura 1. (b), la curva correspondiente al gas de CO y tomando dos puntos de dicha curva se obtiene la siguiente ecuación:

$$y = 17,5 x^{-0,68}$$

Despejando la X de la ecuación se obtiene:

$$x = 10^{\frac{\log(17,5) - \log(y)}{0,68}}$$

y: relación Rs/Ro.

x: concentración de CO expresada en ppm.

La ecuación se aplica en la subrutina del código desarrollado en lenguaje C, programado en el microcontrolador para tener el equivalente en ppm de la lectura del conversor A/D.

La tensión de trabajo del sensor es de 5V a 150mA, en la figura 1. (a) se muestran los seis pines del sensor de los cuales, los pines A y H sirven para proveer la corriente de calentamiento al sensor y los pines B son para señales de datos.

Para el ajuste de sensibilidad del sensor de CO, necesaria para ir ajustando y variando la resistencia de carga  $R_L$ , que el fabricante recomienda colocar una  $R_L$  de  $5K\Omega$ .

Para los demás sensores de  $NO_2$ ,  $O_3$  y  $SO_2$ , como son del mismo fabricante MQ (empresa china) se procedió de forma análoga para el acondicionamiento de los sensores.

### 1.2 Acondicionamiento del sensor de temperatura y humedad

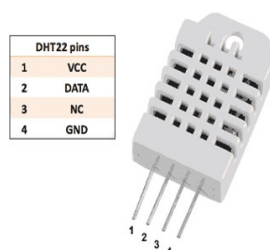


Figura 2. Sensor de temperatura y humedad - DHT22.

Los sensores DHT22 son unos pequeños dispositivos que nos permiten medir la temperatura y la humedad, se componen de un sensor capacitivo para medir la humedad, y de un termistor. Ambos sensores están calibrados por lo que no es necesario añadir ningún circuito de tratamiento de señal. A diferencia de los anteriores sensores, éstos son sensores que emiten señales digitales y que llevan un pequeño microcontrolador interno para hacer el tratamiento de señal[3]-[6]. Además, como los DHT22 han sido calibrados en laboratorios, presentan una gran fiabilidad.

En la figura 2 se muestran los pines de sensor DHT22, entre el pin 1 y 2 se coloca una resistencia *pull-up* de  $10K\Omega$ , el sensor necesita de una señal de voltaje de 3,3V a 6V, con una intensidad de corriente de 1 a 1,5mA para su funcionamiento, como en los demás sensores que se utiliza en el prototipo que se alimentan a 5V, entonces vamos a alimentar el sensor DHT22 con un regulador de voltaje de 5V (L78S05C)[5].

### 1.3 Comunicación de la microcomputadora con el microcontrolador

La microcomputadora utilizada es la *raspberry pi b+* que tiene el tamaño de un tarjeta de crédito, la conexión con el microcontrolador se realiza por puertos seriales por medio de un cable USB.

El código que se desarrolló en *python* se encarga primero de la configuración de los puertos seriales de ambas placas (*arduino-raspberry*) para que se comuniquen entre ambos por medio del puerto USB y luego que solicite al arduino por medio de un comando (L\*) los datos obtenidos por los sensores, el código es capaz de recibir la trama de datos enviada por el arduino en forma ordenada y precisa para después almacenar los datos en un archivo txt dentro de su tarjeta de memoria.

### B.2. Bloque de envío y recepción de datos

La información generada por el bloque de adquisición de datos será enviada en paquetes de datos a través de la red celular utilizando un módulo GPRS, dicha información será recepcionada en un servidor de datos para su almacenamiento y posterior aplicación[2].

#### 2.1 Conexión de envío raspberry-arduino-módulo GPRS

El módulo GPRS SIM900 es un escudo del arduino mega 2560, es decir, el módulo GPRS va encastrado a las ranuras del arduino, siendo el arduino el encargado de dar voltaje al módulo GPRS. La conexión entre el módulo GPRS y el *raspberry* se realiza por puertos seriales de propósito general GPIO.

Se desarrolló un código para la transmisión de datos que está hecho en *python*, se configuró primero los puertos seriales de propósito general GPIO de ambas placas (*raspberry-móduloGPRS*) para que puedan comunicarse entre ambos por medio de comandos AT usados como protocolos de comunicación y luego al mandar un comando (P\*) al arduino, se solicita que se encienda el módulo GPRS y comienza la comunicación para la transmisión de los datos, una vez que se envió los datos a una IP establecida se solicita con el mismo comando (P\*) que se apague el módulo GPRS[4].

#### 2.2 Conexión de recepción módulo GPRS - servidor

Luego que el módulo GPRS haya enviado la información por la red celular a una IP establecida, dicha información es recepcionada por el servidor de datos en donde está corriendo un código hecho en *python*, el cual tiene la función de decodificar la trama de datos enviada y de registrar los datos para su almacenamiento en el disco duro del servidor, para que dicha información sea utilizada después por el bloque de aplicación[4].

### B.3. Bloque de aplicación

El bloque de aplicación fue desarrollada de manera que permita el correcto almacenamiento de la información enviadas por el equipo remoto y contar con un software que despliegue una interfaz gráfica para la visualización de los datos para el usuario. Para el desarrollo del sitio web a partir del código HTML y PHP se necesitaron principalmente de tres elementos fundamentales: servidor

Apache, servidor para la base de datos y un editor de código.

Para el diseño de implantación, montamos el servidor web en una computadora del Laboratorio de Mecánica y Energía de la Facultad de Ingeniería, con una dirección IP de dominio público con acceso remoto, y como sistema operativo se instaló en el ordenador el Debian 8.1.

Como editor de la programación HTML utilizamos el *Adobe Dreamweaver*, que nos brindó una interfaz de programación mucho más versátil, pudiéndose ir probando y observando a medida que se programó, los resultados en forma gráfica.

La página web cuenta con un menú principal, el cual se encuentra distribuida en pestañas, que se vuelven a dividir en submenús con funciones específicas cada una



de ellas.

Figura 3. Estructura del menú principal de la página web.

### II-C. Construcción del Prototipo

La construcción del prototipo se realizó después que se realizaron todas las pruebas de funcionamiento tanto de los sensores como de las placas de desarrollo (arduino-raspberry pi-módulo GPRS) que se utilizan en el sistema.

#### C.1. Prueba del prototipo completo en protoboard

Se realizó una prueba de ensamblaje de todo el sistema completo con todos los sensores conectados para saber el consumo promedio de corriente. El sistema se alimenta a 7V, con esta tensión el consumo promedio de corriente del sistema fue de 860mA a 900mA sin transmisión, en el momento de la transmisión de datos llegó a un máximo de 1,2A.

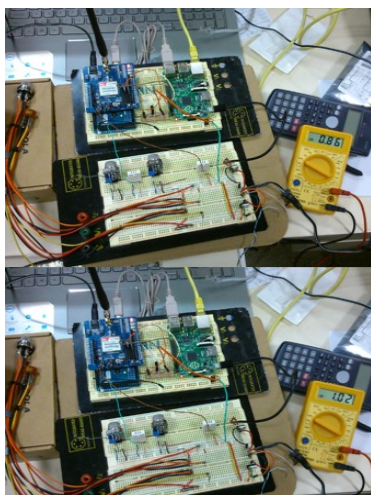


Figura 4. Prueba de consumo de energía del sistema.

#### C.2. Fuente de alimentación para el sistema

El sistema debe ser autónomo, lo que implica la utilización de un panel solar, un controlador de carga y una batería. Para calcular la potencia del panel solar y la batería utilizada, primeramente se debe saber el consumo promedio del sistema, punto que se explicó anteriormente, y donde se estable que la tensión de trabajo es de 7V, consumo promedio del sistema medidor es de 900mA y solo a la hora de transmitir llegaba a un máximo de 1,2mA.

Con los datos mencionados sobre el consumo promedio se procedió a realizar los cálculos para obtener una estimación de la potencia necesaria del panel solar y de la batería para el sistema. Se consideró una autonomía de 4 días para el sistema, es decir, que el mismo puede soportar hasta 4 días sin sol e igual seguir funcionando. Con todas las consideraciones anteriores, al realizar el cálculo se estimó que como mínimo se tiene que usar un panel de 80W y una batería de 80A/H.

#### C.3. Elaboración de los circuitos impresos

Los diagramas circuitales realizados para el prototipo se diseñaron con el programa Proteus 8.1 SP1 Pro, las placas que se construyeron son para los sensores y el módulo de distribución de energía donde se encuentran los reguladores de voltaje.

Luego de tener las placas impresas se procedió a soldar los sensores cada uno en su placa respectiva con sus componentes correspondientes, así como también el módulo de distribución de energía que cuenta con dos reguladores de voltajes de 5V, ambos con disipadores de energía.



Figura 5. Placas impresas y soldadas utilizadas en el sistema.

#### C.4. Instalación de los dispositivos en el gabinete.

Para la caja contenedora o gabinete que contenga todo el sistema se consideró todas las protecciones posibles, ya que la caja estará a la intemperie, las dimensiones de la misma son: dimensiones del interior (largo: 18,5cm, alto: 28,5cm, profundidad: 12,5cm), dimensiones del exterior (largo: 23cm, alto: 31cm, profundidad: 15cm).

La caja está hecha de polipropileno gris reforzado con retardador de llama y tapa de polipropileno gris reforzado con retardador de llama. Grado de protección IP65: protección contra lluvias que impide que entre agua y polvo dentro de la caja. Resistencia al impacto IK09:

protección contra cualquier golpe o impactos externos. Protección contra rayos ultravioletas.

Una vez probado el funcionamiento correcto del prototipo, se procedió a armar todo el sistema, en el interior de la caja van instalados el arduino, módulo GPRS, el *raspberry pi*, los sensores de gases, un sensor de temperatura y humedad, en el exterior de la caja se instala un sensor de temperatura y humedad para medir la temperatura ambiente, para dicho sensor se construyó un dispositivo de protección, que también sirve para que el viento pase en forma lineal al sensor según recomendaciones meteorológicas.



Figura 6. a) Dispositivo de protección. b) Contenedor de los sensores de gases.

Luego de tener listo todos los sensores, se procedió a colocar las placas del arduino, *raspberry pi*, el módulo GPRS en una plancha de PVC de dos milímetros de grosor, dicha plancha va atornillada en la caja contenedora dejando un centímetro de espacio entre la plancha y el piso de la caja.



Figura 7. Ensamble completo del sistema medidor en la caja contenedora.

#### C.5. Pruebas de funcionamiento del prototipo completo

Antes de la instalación del prototipo se realizaron pruebas de funcionamiento del sistema completo, esto implica montar el prototipo donde se conectan el panel solar, el controlador de carga, la batería y el sistema medidor.

Una vez encendido el sistema se controló el funcionamiento del controlador de carga que cumple un papel fundamental ya que es el encargado de pasar la potencia necesaria producida por el panel solar para luego ir cargando en forma simultánea la batería, se controlaron

con un tester tanto las tensiones de la batería como las tensiones que llegaban al arduino, *raspberry pi*, al módulo GPRS y a todos los sensores.

Se controló que el funcionamiento de los protocolos de comunicación entre *raspberry*-arduino comunicación serial vía puerto USB para la adquisición de datos funcione correctamente, así como también la comunicación de protocolos con comandos AT *raspberry*-módulo GPRS comunicación serial vía puerto GPIO para las transmisión de los datos funcione correctamente.

Luego se controló la forma en que llegaban los datos al servidor de datos, si ordenaba bien de acuerdo a la trama que se estableció para el envío, si guardaba de forma correcta en la base de datos y para que después despliegue dichos datos en la página web, para que pueda ser visualizado por los usuarios. Se probó la funcionalidad de la página web para su comportamiento a la hora en que varios usuarios ingresasen a la página web para ver los datos obtenidos, y de esa forma verificar si la página web presentaba algún inconveniente de respuesta.



Figura 8. Prototipo en funcionamiento.

#### II-D. Instalación del Prototipo

El lugar donde está instalado el prototipo es a la entrada peatonal de la Facultad de Ingeniería, ubicada sobre la avenida Mariscal López, se consideró este lugar como punto de medición porque, de acuerdo a informaciones e investigaciones sobre emisiones de CO en el año 2005 y 2011, en esta zona se registraron altos niveles de concentración de dicho gas contaminante.



Figura 9. Vista aérea del lugar de medición.

La instalación del prototipo se realizó en el techo de la entrada peatonal de la Facultad de Ingeniería, para ello, se construyó una canastilla para colocar dentro del mismo la caja contenedora del sistema medidor que estaría a una altura de tres metros y a dos metros de la avenida Mariscal López.



Figura 10. Instalación del sistema medidor.

Se construyó también un soporte de madera para el panel solar, en el mismo está instalado el controlador de carga dentro de una cajita protectora, así como una caja de madera para resguardar la batería.



Figura 11. Instalación del panel solar.

### III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el análisis de los datos de gases obtenidos por el sistema medidor cabe resaltar que, cuando se miden gases contaminantes, estas medidas o niveles se ven influenciadas por diversos factores atmosféricos tales como: la temperatura, humedad, radiación solar, velocidad y dirección del viento, y la presión atmosférica, entre quizás, otros factores ambientales.

Para los datos de temperatura y humedad ambiente, se compararon las mediciones del sensor con las de la estación meteorológica ubicada en la sede de la FIUNA en San Lorenzo; resaltando que, las mediciones de estas variables, como la de los gases se tomaron en intervalos de 10 minutos en 24 horas durante un mes.

En el análisis de datos se tuvieron en cuenta los días de mayor cantidad de mediciones que el sistema medidor pudo registrar, de esa forma se hace más fácil ver el comportamiento de los gases en un periodo de tiempo determinado, los resultados obtenidos en el análisis son los siguientes:

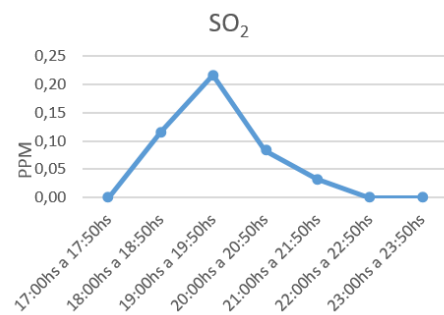


Figura 12. Resultados de medición del sensor de SO<sub>2</sub>, el día que se instaló el prototipo 25/11/15.

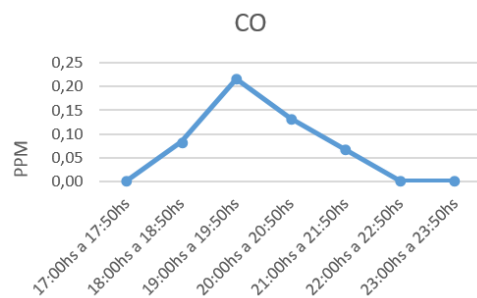


Figura 13. Resultados de medición del sensor de CO, el día que se instaló el prototipo 25/11/15.

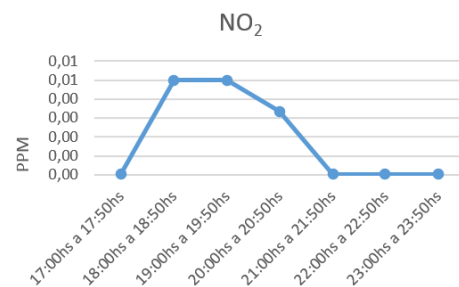


Figura 14. Resultados de medición del sensor de NO<sub>2</sub>, el día que se instaló el prototipo 25/11/15.

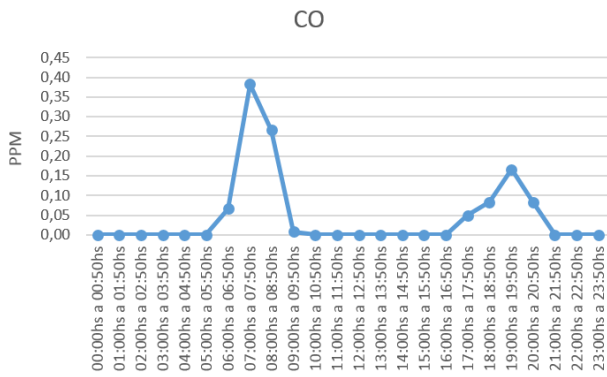


Figura 15. Resultados de medición del sensor de CO, el día 7/12/15.

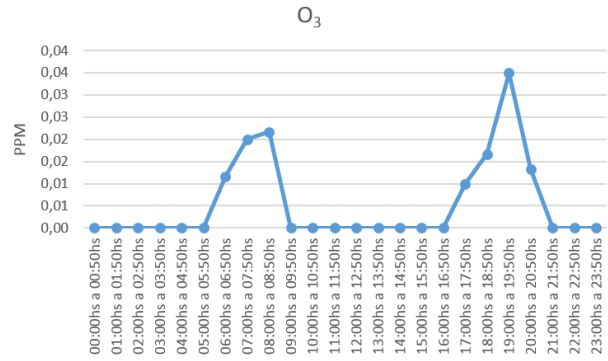


Figura 17. Resultados de medición del sensor de O<sub>3</sub>, el día 7/12/15.

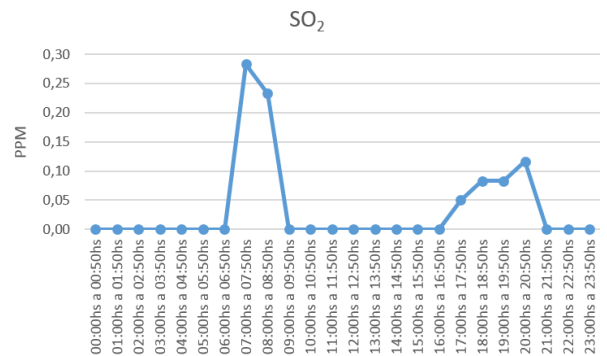


Figura 16. Resultados de medición del sensor de SO<sub>2</sub>, el día 7/12/15.

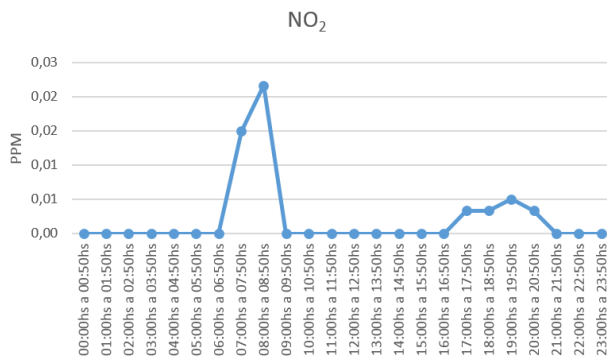


Figura 17. Resultados de medición del sensor de NO<sub>2</sub>, el día 7/12/15.

#### IV. CONCLUSIÓN

En este trabajo final de grado se ha realizado el diseño e implementación de un sistema de medición, registro y monitoreo de gases contaminantes al ambiente. Se pudo observar el buen funcionamiento del prototipo implementado en *hardware* y *software* para la medición y monitoreo de gases contaminantes en el aire, utilizando sensores de monóxido de carbono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, ozono, humedad y temperatura. A partir del análisis del desempeño del sistema se puede concluir que el dispositivo de monitoreo de gases contaminantes implementado presenta resultados satisfactorios, gracias a la combinación de un adecuado diseño de adquisición de datos de los sensores y de transmisión de datos. También fue diseñado de tal forma que sea modular y escalable, el sistema puede ser fácilmente reconfigurado, tanto en *software* como en *hardware*, ya que se le puede agregar nuevas formas de procesamiento de los datos, como así también sensores, acondicionadores, etc. Teniendo todas estas propiedades podemos decir que el sistema puede seguir creciendo incorporándole nuevos módulos para funciones determinadas. Al observar las gráficas resultantes en el análisis de resultados de las mediciones capturadas por los sensores de CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>, se puede comprobar que la concentración de gases contaminantes se incrementa coincidentemente, en las horas de mayor tráfico vehicular.

#### REFERENCIAS

- [1] Jacobson M. Z. 2002. Atmospheric Pollution. History, Science and Regulation.
- [2] SINCHÉ, SORAYA, MSc, Folleto de Comunicaciones Inalámbricas, 2007
- [3] Dr. José Pablo Alvarado Moya; «*Procesamiento Digital de Señales*»; Tecnológico de Costa Rica - Escuela de Ingeniería Electrónica 2011.
- [4] GSM, ARCHITECTURE, PROTOCOLS AND SERVICES, Christian Bettstetter, Hans-Jörg Vögel and Jörg Eberspächer, Christian Hartmann, 3ra Edición.

- [5] Ramón Pallas Aren; «*Sensores y acondicionadores de señal*»; Alfaomega – Marcombo 2007. España. Editorial Limusa, Grupo Noriega Editores S.A. México D.F Tercera Edición 1993.
- [6] HILL, Frederick, Peterson Gerald; «*Sistemas Digitales Organización y Diseño de Hardware*»;