

PROTOTIPO DE MEDICIÓN Y CONTROL DE CALIDAD DEL AIRE GENERADOS POR EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UN ARDUINO.

PROTOTYPE OF MEASUREMENT AND QUALITY CONTROL OF THE AIR GENERATED BY THE POLLUTION EFFECTS WITHIN THE USE OF AN ARDUINO.

Eliana Elizabeth Morillo Taco¹, César Sebastián Silva Proaño²

¹Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, Becaria Universidades de Excelencia por la Secretaria de Educación Superior, Ciencia Tecnología e Innovación de la República del Ecuador SENESCYT, Universidad de Buenos Aires UBA.

²Escuela Politécnica Nacional, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Universidad Técnica de Hamburgo, Inspector de Calidad Airbus – DB Schenker

e – mail : ¹elianamorillo@gmail.com , ²sebas.silva.p@gmail.com

Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro, VIII Edición 2019, No. 3 (12)

Resumen

El uso de los microcontroladores y la programación generan soluciones efectivas a problemas de gran envergadura. El problema a tratar en este artículo es la contaminación y la calidad del aire respirable, la cual ha sido definida por la materia particular presente en el mismo. La materia particular con un diámetro menor a 2.5 micrómetros, también llamada PM2.5 es la de interés ya que se considera que esta es la que proyecta mayor riesgo para la salud humana.

En esta obra se detalla la construcción y resultados de una mini estación de control meteorológico por medio de un microcontrolador Arduino y sensores principalmente de temperatura, humedad y polvo. Los resultados ponen a prueba el funcionamiento de esta estación en diferentes condiciones experimentales durante un día de medición. Se mostrarán las gráficas del índice particular PM2.5 versus las condiciones de temperatura y humedad con su respectivo análisis.

Palabras Clave: PM, materia particular, Arduino, calidad del aire, sensor, microcontrolador.

Abstract

The use of microcontrollers and the programming generate effective solutions to high-scale problems. The current problem to be dealt on this article is the pollutions and the quality of the breathable air, which has been defined by the particle matter inside of it. The particle matter less than 2.5 micrometers, also called PM2.5 is of interest because it has been considered that this one projects a higher risk for the human health.

In this article, it is defined the construction and results of a mini metrology control station within the use of an Arduino and sensors, mainly temperature, humidity and dust sensors. The results put on test the functioning of the station in different experimental conditions during one day of measurement. It will be shown some graphs of the PM2.5 particle index versus the conditions of temperature, humidity with its respective analysis.

Keywords: PM, particulate matter, Arduino, air quality, sensor, microcontroller.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo y progreso de la electrónica han permitido que su uso y aplicación se extienda de gran manera en infinitos campos.

Hoy en día mediante el uso de un microcontrolador tipo Arduino, se puede combinar la electrónica y la programación de una manera práctica y visible, lo cual permite que su aprendizaje y asimilación sea más efectiva.

El tema de la contaminación ha sido un tema focal de gran importancia en muchos países y el mundo entero en general. De hecho, en 1995 se estableció un acta medioambiental en búsqueda de que las autoridades del mundo puedan velar por la revisión y manejo de la calidad del aire en sus regiones. [1]

En este artículo se detallará como el uso de un microcontrolador Arduino combinado con sensores de humedad, temperatura y partículas de polvo, complementado por supuesto con una correcta programación pueden brindar la posibilidad de analizar numérica y cualitativamente el aire respirable.

Con este objetivo en mente es necesario entonces detallar algunas definiciones para la comprensión más efectiva de este artículo.

En primer lugar, se define la relación entre los contaminantes existentes en el aire y la salud humana, debido a que esta es la motivación principal para poder llevar a cabo este proyecto. Para los seres humanos, los efectos directos de los contaminantes en el aire en la salud pueden ser cuantificados por medio de la muerte prematura, y diversos estados de enfermedad como por ejemplo el asma, la bronquitis y enfermedades cardiovasculares. La materia particular que viene del inglés “Particulate Matter” es el único criterio de la contaminación en el aire que no ha podido ser definido químicamente. Un PM en el aire alto indica la posible presencia de toxicidad en el aire por metales tóxicos, mientras que un PM bajo indica la presencia de sustancias químicamente benignas como tierra o polvo. [2]

Según la EPA (United States Environmental Protection Agency) se define PM como “Particle Matter” o materia particular, que también recibe el nombre de contaminación particular o “particle pollution”. La contaminación particular se puede definir mediante 2 tamaños o dimensiones de materia

particular [3]:

- PM_{10} : Partículas respirables con diámetro de generalmente 10 micrómetros o más pequeñas, y:
- $PM_{2.5}$: Partículas finas respirables con diámetro de generalmente 2.5 micrómetros o más pequeñas. Tan solo pensando en un simple cabello humano, este cabello tiene alrededor de 70 micrómetros de diámetro, lo cual lo hace 30 veces más grande que la partícula más fina, como muestra la Figura 1

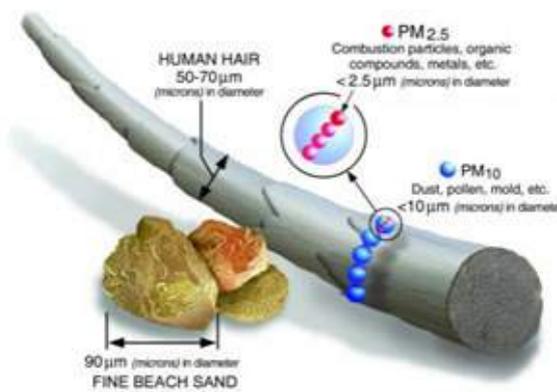


Figura 1. Comparación de tamaño para las partículas PM

El efecto nocivo de la materia particular se explica a través de la EPA cuando sólidos microscópicos o gotas líquidas pueden ser inhaladas. Algunas partículas de tamaño menor a 10 micrómetros de diámetro pueden entrar profundamente a los pulmones y hasta dentro del sistema sanguíneo. De estas partículas, aquellas con diámetro menor a 2.5 micrómetros de diámetro son las que tienen un mayor riesgo a la salud. [3]

A continuación, es necesario definir otros dos conceptos básicos de esta investigación: la temperatura y la humedad.

La temperatura es básicamente la medida que establece cuan frío o cuan caliente es un cuerpo. El termómetro es el instrumento más elemental para este fin. Existen diferentes escalas para medir la temperatura: Celsius (denotado como °C y llamado también Centígrado), Fahrenheit (denotado como F), y para propósitos científicos se utiliza el Kelvin (denotado como K). [4]

La humedad es definida como la cantidad de vapor de agua presente en el aire. El vapor de agua por otro lado, es el estado gaseoso del agua que no es visible. El valor de la humedad indica la probabilidad de precipitación, niebla o rocío. Existen 3 medidas importantes de la humedad: la humedad absoluta, la

humedad relativa y la humedad específica. [5]

La humedad absoluta es definida como la medida del vapor de agua que está presente en el aire. Su unidad de medida está definida como gramos de vapor de agua por centímetro cúbico de la mezcla de aire y vapor de agua (g/cm³). [5]

$$AH = \frac{m_{H_2O}}{V_T} \quad (\text{Ec. 1})$$

La humedad relativa de una mezcla de aire-agua es la relación de la presión parcial de vapor de agua dividido para el equilibrio de la presión de vapor. La presión parcial por otro lado, es definido como la presión hipotética de un gas como si este ocupara el volumen total de la mezcla original de gas a la misma temperatura. Su relación está dada por la siguiente fórmula: [5]

$$RH = \phi = \frac{P_{H_2O}}{P^*_{H_2O}} \quad (\text{Ec. 2})$$

La humedad específica también denominada contenido de humedad es la relación entre el vapor de agua másico dividido para la masa total del aire. Se define por medio de la siguiente ecuación: [6]

$$SH = \frac{m_v}{m_a} \quad (\text{Ec. 3})$$

Adicionalmente se van a definir de manera breve 3 conceptos básicos adicionales para un mejor entendimiento del concepto de la humedad: la temperatura de bulbo húmedo, la temperatura de bulbo seco y el punto de rocío.

La temperatura de bulbo húmedo es definida como la temperatura de una masa de aire cuando es enfriada hasta su saturación, en otras palabras, cuando alcanza el 100% de la humedad relativa debido a la evaporación del agua entro de esta masa de aire. [7]

La temperatura de bulbo seco es la temperatura del aire medido con un termómetro aislado de la radiación y la humedad. Es la temperatura termodinámica verdadera que muestra la cantidad de calor en el aire y es directamente proporcional a la energía cinética media de las moléculas de aire. En contraparte con la temperatura de bulbo húmedo, la temperatura de

bulbo seco no indica la humedad en el aire. [7]

El punto de rocío es definido como la temperatura a la cual una muestra de aire húmedo a la misma presión sería capaz de alcanzar la saturación del vapor de agua. En este punto una mayor remoción del calor resultaría en vapor de agua condensándose e niebla de agua líquida. [7]

Definidos estos conceptos básicos, se puede adentrar ahora en la teoría sobre la relación entre la temperatura y la humedad. Existen dos relaciones de gran importancia: el cuadro psicrométrico y la tabla de humedad relativa.

El cuadro psicrométrico es una herramienta que representa la temperatura y la humedad de manera gráfica, ver Figura 2. Este cuadro puede ser utilizado para determinar el confort térmico humano y las estrategias de aire acondicionado para garantizar este confort. [8]

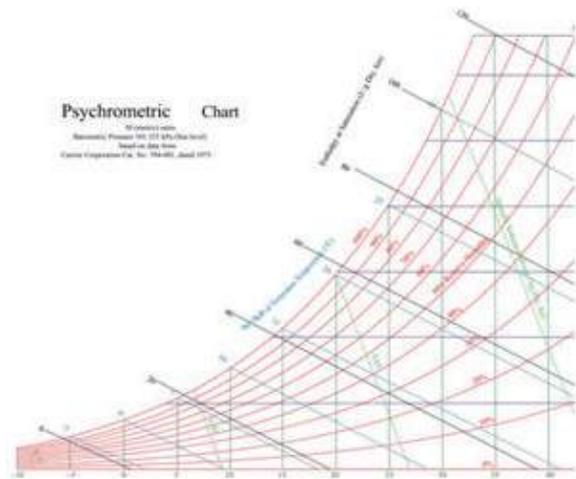


Figura 2. Carta Psicométrica

La Tabla de humedad relativa establece relaciones empíricas entre la temperatura y la humedad. La humedad relativa es utilizada aquí para este fin: [9]

Tabla 1. Relación entre la humedad relativa y la temperatura

Temp. de bulbo seco (°C)	Número de diferencia de grados entre las lecturas de bulbo seco y bulbo húmedo (°C)						
	1	2	3	4	5	6	7
10	88%	77	66	56	45	35	26
12	89	79	68	59	49	40	31
14	90	80	70	61	52	43	35
16	90	81	72	63	55	47	39

18	91	82	73	65	57	50	42
20	91	83	75	67	59	52	45
22	92	84	76	69	61	54	48
24	92	84	77	70	63	57	50
26	92	85	78	71	65	58	52
28	93	86	79	72	66	60	54
30	93	86	80	73	67	61	55

2. Materiales y Métodos

Establecidas las bases teóricas de esta investigación, es posible en este momento establecer la metodología de la investigación y el desarrollo del equipo para dar una solución efectiva al control y medición de la calidad del aire respirable.

En primer lugar, tal y como se detalló en la primera sección de este artículo, se va a hacer uso de un microcontrolador de tipo Arduino. Existen 2 tipos de Arduino de gran interés para este proyecto: El Arduino UNO R3 y el Arduino ATMEGA 2560; ver Figura 4.



Figura 3. Arduino UNO R3

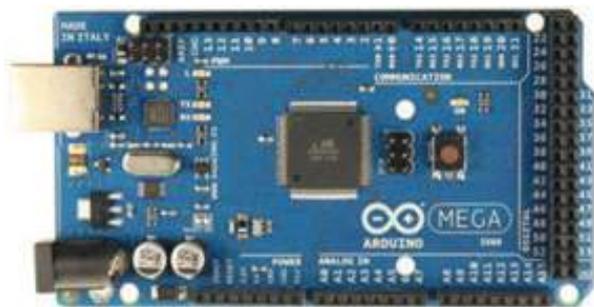


Figura 4. Arduino ATMEGA 2560

En la Tabla 2, se realiza una comparación entre estos 2 tipos de microcontroladores tipo Arduino: [10]

Tabla 2. Relación entre la humedad relativa y la temperatura

	Arduino MEGA	Arduino UNO
Voltaje	5V	5V
Digital I/O	54	14
Entradas Analógicas	16	6
Velocidad	16 MHz	16 MHz
PMW	14	6
Memoria Flash EEPROM	256 KB	32 KB
(almacenamiento permanente)	4 KB	1 KB
SRAM (para almacenamiento de trabajo)	8 KB	2 KB

Se va a hacer uso también de un escudo WIFI de Arduino; ver Figura 5 con el fin de establecer la conexión a internet que permitirá la migración de los datos captados por los sensores a una base de datos SQL que almacenará la información para su futuro uso y evaluación por medio de gráficas.

Este escudo de WIFI también dispone de una ranura para SD que se podrá utilizar para el almacenamiento de la información en una tarjeta física. Esto con el fin de que en caso que la conexión a internet falle, entonces se dispone de un respaldo físico de la información de los sensores. [11]

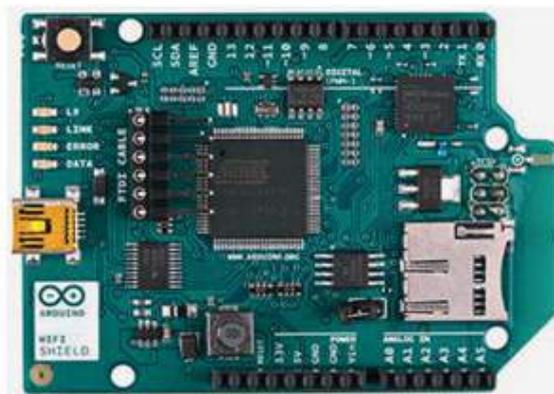


Figura 5. Escudo WIFI de Arduino

Las medidas de la materia particulada en el aire se realizarán mediante el uso de un sensor de polvo tipo SAMYOUNG DSM501a; ver Figura 6

El DSM501a es un sensor de partículas de polvo capaz de medir el “low ratio” de las partículas de polvo, su concentración, el índice y número de partículas. Utiliza el principio del contador de partículas para la medición de la densidad del polvo presente en el aire. Aplicando una alta sensibilidad, incluso partículas finas mayores a 1 micrómetro pueden ser detectadas; ver Figura 4 [12]



Figura 6. Sensor de polvo DSM501a

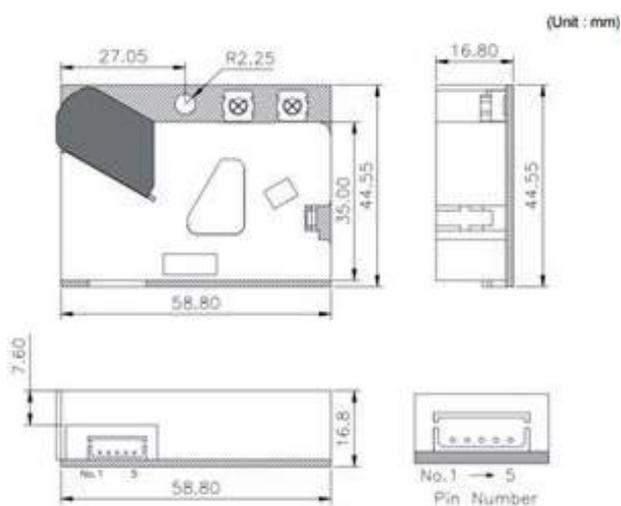


Figura 7. Dimensiones relevantes para el sensor de polvo DSM501a

Las conexiones de los pines para el DSM501a se muestran en la Tabla 3. [12]

Tabla 3. Conexión de pines para el DSM501a

Número del pin	Nombre del pin	Descripción
1	Control	Vout 1 control
2	Vout 2	Vout 2 output (PWM)
3	VCC	Alimentación positiva
4	Vout 1	Vout 1 output (PWM)
5	GND	Tierra

El pin 2 – Vout 2 es el encargado de detectar partículas mayores a 1 micrómetro de diámetro. Mientras que el pin 4 – Vout 1 tiene un rango de detección entre 1 y 2.5 micrómetros.

El “low ratio” es definido como el pulso bajo ocupado durante un cierto período, como muestra la Figura 8. Para el DSM501a se recomienda un tiempo de medición de 30 segundos. El ancho del pulso bajo

es entre 10 y 90 milisegundos. En la siguiente figura se explica de una manera más precisa el concepto del “low ratio”: [13]

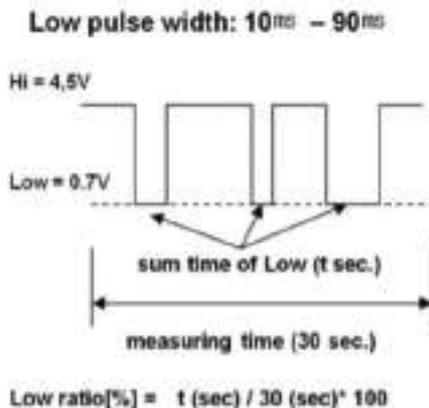


Figura 8. Descripción del “low ratio”

La siguiente ecuación explica el “low ratio”:

$$Low\ Ratio = \frac{LowPulseOccupancy}{SampleTime} \times 100\% = \frac{\Sigma(LowPulse)}{SampleTime} \times 100\% \quad (Ec. 4)$$

Una vez definido el “low ratio” es posible mediante las gráficas del sensor DSM501a poder determinar la concentración de partículas (mg/m³); ver Figura 9, el índice de partículas (pcs/283ml) y el número de partículas (pcs); ver Figura 10 [13]

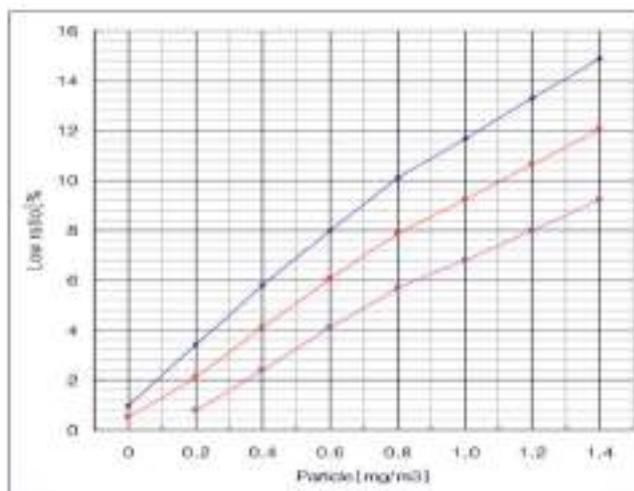


Figura 9. “low ratio” vs. concentración de partículas

Utilizando un proceso de regresión lineal, se puede establecer las fórmulas que rigen el comportamiento de las curvas, por tanto, considerando que:

$$x = Concentration [mg/m^3] \text{ or } [\mu g/m^3]$$

$$y = LowRatio [\%]$$

Para la curva en azul:

$$y \leq 10; y = 11.25x + 1.0; x = 0.089y - 0.089 \left[\text{mg} / \text{m}^3 \right]; x = 89y - 89 \left[\mu\text{g} / \text{m}^3 \right] \quad (\text{Ec. 5})$$

$$y > 10; y = 8.0x + 3.6; x = 0.125y - 0.45 \left[\text{mg} / \text{m}^3 \right]; x = 125y - 450 \left[\mu\text{g} / \text{m}^3 \right] \quad (\text{Ec. 6})$$

Para la curva en rojo:

$$y < 8; y = 10x; x = 0.1y \left[\text{mg} / \text{m}^3 \right]; x = 100y \left[\mu\text{g} / \text{m}^3 \right] \quad (\text{Ec. 7})$$

$$y \geq 8; y = 6.67x + 2.67; x = 0.149925y - 0.4 \left[\text{mg} / \text{m}^3 \right]; x = 149.925y - 400 \left[\mu\text{g} / \text{m}^3 \right] \quad (\text{Ec. 8})$$

Para la curva en magenta:

$$y \leq 5.6; y = 8.0x - 0.8; x = 0.125y + 0.1 \left[\text{mg} / \text{m}^3 \right]; x = 125y + 100 \left[\mu\text{g} / \text{m}^3 \right] \quad (\text{Ec. 9})$$

$$y > 5.6; y = 6.0x + 0.8; x = 0.167y - 0.1333 \left[\text{mg} / \text{m}^3 \right]; x = 167y - 133.3 \left[\mu\text{g} / \text{m}^3 \right] \quad (\text{Ec. 10})$$

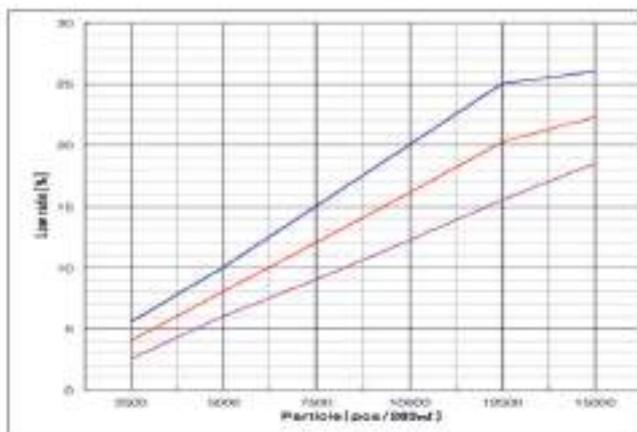


Figura 10. "low ratio" vs. índice de partículas

Considerando que:

$$x = \text{IndexOfParticles} \left[\text{pcs} / 283\text{ml} \right] \text{ or } \left[\text{pcs} / \text{l} \right]$$

$$y = \text{LowRatio} [\%]$$

Para la curva en azul:

$$y \leq 25; y = 0.00193x + 0.875; x = 518.1347y - 453.3679 \left[\text{pcs} / 283\text{ml} \right] \\ x = 1830.865y - 1602.0067 \left[\text{pcs} / \text{l} \right] \quad (\text{Ec. 11})$$

$$y > 25; y = 0.0004x + 20; x = 2500y - 50000 \left[\text{pcs} / 283\text{ml} \right] \\ x = 8833.922y - 176678.445 \left[\text{pcs} / \text{l} \right] \quad (\text{Ec. 12})$$

Para la curva en rojo:

$$y \leq 20; y = 0.0016x; x = 625y \left[\text{pcs} / 283\text{ml} \right] \\ x = 2208.481y \left[\text{pcs} / \text{l} \right] \quad (\text{Ec. 13})$$

$$y > 20; y = 0.00088x + 9.0; x = 1136.3636y - 10227.2727 \left[\text{pcs} / 283\text{ml} \right] \\ x = 4015.419y - 36138.773 \left[\text{pcs} / \text{l} \right] \quad (\text{Ec. 14})$$

Para la curva en magenta:

$$\forall y; y = 0.00128x - 0.7; x = 781.25y + 546.875 \left[\text{pcs} / 283\text{ml} \right] \\ x = 2760.6y + 1932.42 \left[\text{pcs} / \text{l} \right] \quad (\text{Ec. 15})$$

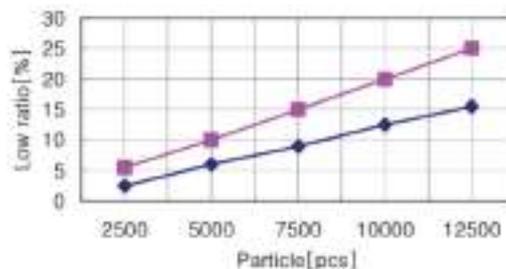


Figura 11. "low ratio" vs. número de partículas

Considerando que:

$$x = \text{NumberOfParticles} \text{ or } \left[\text{pcs} \right]$$

$$y = \text{LowRatio} [\%]$$

Para la curva en magenta:

$$\forall y; y = \left(\frac{1}{500} \right) x; x = 500y \left[\text{pcs} \right] \quad (\text{Ec. 16})$$

Para la curva en azul:

$$\forall y; y = \left(\frac{1}{800} \right) x - 5 / 8; x = 800y + 500 \left[\text{pcs} \right] \quad (\text{Ec. 17})$$

La curva promedio sería:

$$\forall y; x = 650y + 250 \left[\text{pcs} \right] \quad (\text{Ec. 18})$$

Se puede determinar también la masa y el volumen de materia particulada:

$$\text{Mass} = \frac{\text{Concentration} \left[\text{mg} / \text{m}^3 \right]}{\text{IndexOfParticles} \left[\text{pcs} / \text{m}^3 \right]} \times \frac{\text{NumberOfParticles} \left[\text{pcs} \right]}{1000} \rightarrow \left[\text{kg} \right] \quad (\text{Ec. 19})$$

$$\text{Volume} = \frac{\text{NumberOfParticles} \left[\text{pcs} \right]}{\text{IndexOfParticles} \left[\text{pcs} / \text{m}^3 \right]} \rightarrow \left[\text{m}^3 \right] \quad (\text{Ec. 20})$$

De manera adicional se van a citar el resto de instrumentos que se van a utilizar para la ejecución del experimento: Un display tipo IIC/I2C/TWI, un reloj en tiempo real I2C RTC DS1307, un sensor de temperatura y humedad tipo DHT22, un protobard, un switch ON/OFF y finalmente un power bank para la alimentación energética del dispositivo.



Figura 12. Display LCD IIC/I2C/TWI

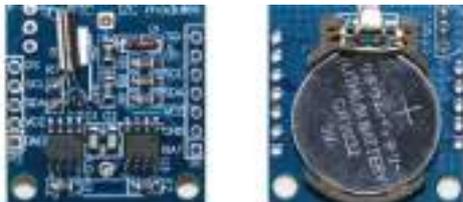


Figura 13. Reloj en tiempo real I2C RTC DS1307



Figura 14. Sensor de temperatura y humedad DHT22



Figura 15. Protoboard



Figura 16. Switch ON/OFF



Figura 17. Power bank

Finalmente, se muestra el esquema del circuito que se va a utilizar para este proyecto:

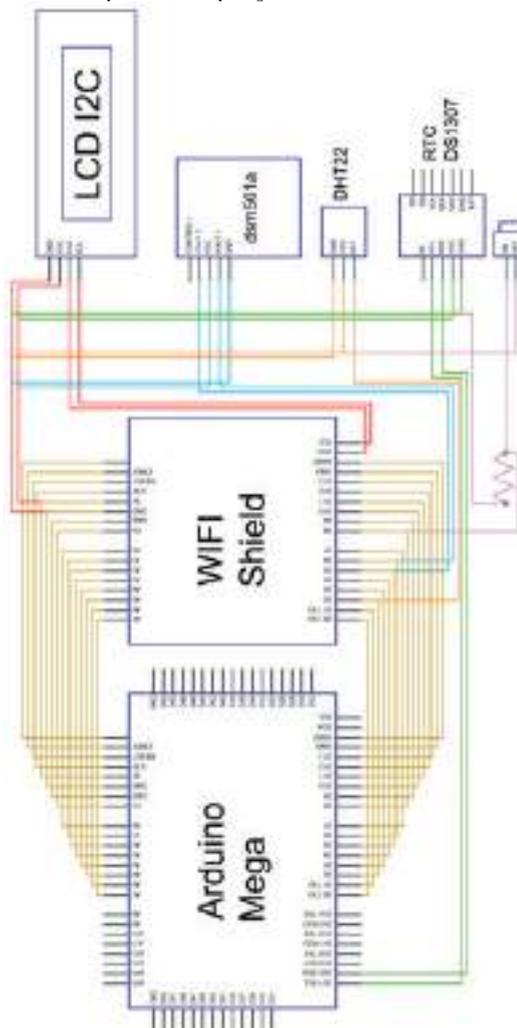


Figura 18. Circuito de la estación de medición de contaminación en el aire

3. Resultados y Discusión

En esta sección se va a detallar uno de los varios experimentos realizados con la estación de medición. Además, se añade el uso de un NETATMO para la medición más exacta de temperatura y humedad.



Figura 19. NETATMO Metrology Station

El proceso de medición fue realizado en una cocina de una vivienda desde las 0:00 horas hasta las 22:04 del día siguiente.

Durante este período de tiempo se realizaron algunas actividades en este cuarto de la casa, y las mismas se detallan en la Tabla 4:

Tabla 4. Actividades llevadas a cabo durante el proceso de medición

D	esde H	asta	Actividad
A	00:00	09:15	Personas durmiendo, ventanas cerradas y sin personas en la cocina
B	09:15	11:00	Cocinando, personas en la cocina
C	10:18	12:51	Se prendió 3 velas
D	11:00	14:58	Se abrió las ventanas
E	12:51	13:30	Cocinando, personas en la cocina
F	14:16	17:07	2 velas y se prendió un ventilador
G	14:58	00:00	Ventanas cerradas
H	16:23	18:35	Calefactor encendido
I	17:08	17:12	Limpieza de la cocina, el piso fue barrido
J	17:12	18:35	Uso de un ventilador en el cuarto
K	17:54	17:59	Uso de un cigarrillo electrónico
L	18:35	20:31	Se prendió 1 vela
M	20:31	22:04	1 vela más ventilador
N	22:04	00:00	Cuarto vacío sin personas

A continuación, se presenta el esquema del equipo utilizado.

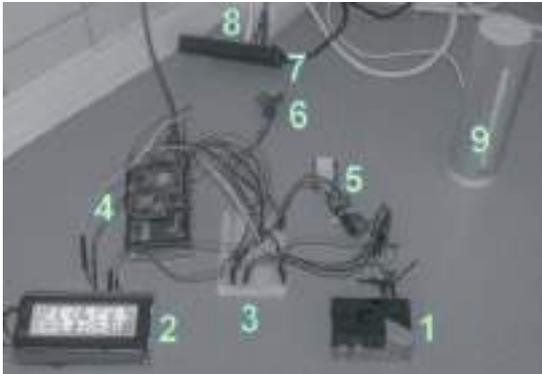


Figura 20. Esquema del equipo utilizado

Tabla 5. Elementos del esquema del proyecto

Elemento	Descripción
1	Sensor de polvo DSM501a
2	LCD IIC/I2C/TWI
3	Protoboard
4	Arduino MEGA 2560 con escudo de WIFI
5	Sensor de temperatura y humedad DHT22
6	Reloj en tiempo real I2C RTC DS1307
7	Distribuidor USB
8	Cable de alimentación
9	Estación NETATMO

En estas condiciones, se presentan los siguientes resultados:

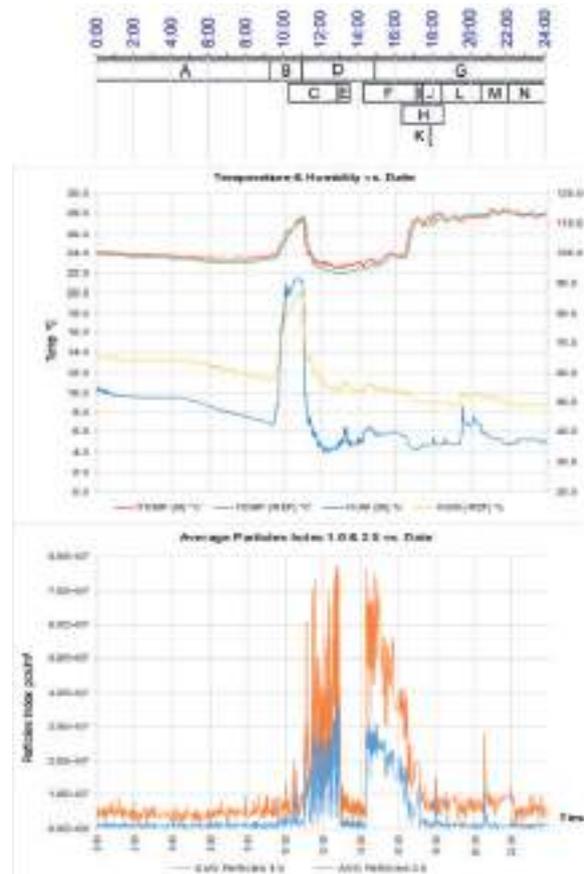


Figura 21. Resultados del experimento

Se pueden observar en los resultados mostrados que 2 picos son alcanzados. El primero desde las 11:00 hasta las 12:30 y el segundo desde las 14:00 hasta las 17:00. El primero se debe a la existencia de las 3 velas prendidas y también por el uso de la cocina.

En este período se observa como la humedad relativa incrementa debido a la existencia del vapor como consecuencia de la actividad en la cocina. Un índice de partículas promedio de $4.0E+07$ pcs/m³ para las partículas de 1.0 micrómetros es obtenido.

El segundo valor pico es debido al uso de las 2 velas con un ventilador que realiza la convección de las partículas directamente al sensor. Este proceso dura desde las 14:16 hasta las 17:07. Aquí se alcanza una concentración máxima de $4.5E+07$ pcs/m³ para las partículas de 1 micrómetro.

Con estos resultados se puede analizar que el dispositivo puede detectar la presencia de partículas en el aire cuando existe la presencia de fuego.

Desde las 0:00 hasta las 10:00 en actividad normal el índice de partículas es de $0.5E+07$ pcs/m³.

4. Conclusiones

En este proyecto se detalla el proceso experimental para poder realizar una estación meteorológica de bajo costo con el fin de procurar un mejor control y calidad del aire respirable.

Dependiendo del uso que se desee dar, el microcontrolador tipo Arduino abre la posibilidad de realizar un diverso tipo de conexiones para la obtención de las medidas de los sensores.

Por medio de un diseño 3D se podría implementar una carcasa que una todos los implementos citados en este artículo, y de esta manera se puede ampliar el uso del equipo ya sea en plantas industriales o en algunos puntos de una ciudad.

Se podría implementar una serie de estos dispositivos en varias partes de una ciudad, con el fin de analizar los niveles de contaminación del aire. De esta manera se podría procurar un mejor control del aire respirable.

La materia particular de mayor relevancia es aquella que está por debajo de 2.5 micrómetros de diámetro, puesto que esta materia como se explicó anteriormente es la que incide de manera negativa en la salud del cuerpo humano. El sensor aquí detallado, el DSM501a permite la detección de materia particular de hasta 1 micrómetro.

El experimento realizado confirma la validez y funcionamiento del dispositivo. Sobre todo, al constatar que su funcionamiento y resultados fueron coherentes con las actividades que se realizaron en el lapso de tiempo descrito.

5. Referencias

- [1] R. E. Herster y R. M. Harrison, Air Quality Management, Primera ed., Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 1997.
- [2] R. F. Phalen y Phalen R. N., Introduction to Air Pollution Science - A public health perspective, Burlington: Jones & Barlett Learning books, 2013.
- [3] EPA - United States Environmental Protection, «Particulate Matter (PM) Basics,» EPA, 01 02 2019. [En línea]. Available: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>.

- [4] H. Buchdahl, The Concepts of Classical Thermodynamics, Cambridge UK: Cambridge University Press, 1966.
- [5] R. Perry y D. Green, Perry's Chemical Engineer's Handbook, vol. Edición Octava, Kansas: McGraw-Hill, 2007.
- [6] R. Weast, M. Astle y W. Beyer, CRC Handbook of Chemistry and Physics, Florida: CRC Press, Inc., 1989.
- [7] University UtahState, «Temperature - Moisture Relationship,» UtahState, 28 02 2017. [En línea]. Available: http://ocw.usu.edu/Forest__Range__and__Wildlife__Sciences/Wildland__Fire__Mana.
- [8] Autodesk, «Psychometric Charts,» Autodesk Sustainability Workshop, 03 03 2017. [En línea]. Available: <https://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/psychometriccharts>.
- [9] EDUPLACE, «Student Resource Page Information Sheet,» Relative Humidity Table, 03 03 2017. [En línea]. Available: https://www.eduplace.com/science/hmxx/es/pdf/5rs_3_2-3.pdf.
- [10] ArduinoStarterKits, «Arduino Mega vs. UNO Reviewed and Compared,» Arduino Starter Kits, 05 03 2017. [En línea]. Available: <https://www.arduinostarterkits.com/reviews/arduino-mega-vsuno-compared/>.
- [11] Arduino, «Arduino WIFI Shield,» Arduino Products, 05 03 2017. [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoWiFiShield>.
- [12] ElecFreaks, «Specifications DSM501a,» Dust Sensor Module DSM501a, 06 03 2017. [En línea]. Available: <http://www.electronics.com/store/download/product/Sensor/DSM501A/DSM50>.
- [13] Elektronik.Ropla, «Particle / Dust Sensor Module,» SAMYOUNG S & C, 07 03 2017. [En línea]. Available: <https://www.elektronik.ropla.eu/pdf/stock/smy/dsm501.pdf>.

6. Biografía



¹Eliana Morillo. – Magíster en Dirección Industrial (Universidad de Buenos Aires), Becaria Universidades de Excelencia 2014 (Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación de la República del Ecuador), Ingeniera Automotriz (Universidad de Fuerzas Armadas ESPE).



²Sebastián Silva. – Master of Science in Mechatronics (Technische Universität Hamburg – Harburg), Máster en Administración de Empresas (MBA) con mención en Calidad y Productividad (Pontificia Universidad Católica del Ecuador), Ingeniero Mecánico (Escuela Politécnica Nacional). Inspector de calidad de partes de aviones y equipo de soporte en tierra Airbus con la empresa DB Schenker en Hamburgo, Alemania.

Autor para correspondencia:
elianamorillo@gmail.com

REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN	
Fecha recepción	20 septiembre 2019
Fecha aceptación	26 diciembre 2019