

PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE FLUJO DE AIRE PARA UNA SALA QUIRÚRGICA PARA PACIENTES CON ENFERMEDADES NEUROLÓGICAS

Cristian Erick Calle Ali
Ingeniería Mecánica-Electromecánica
Universidad Mayor de San Andrés
La Paz, Bolivia
cecalle@umsa.edu.bo

Abstract—Este proyecto presenta un sistema de flujo de aire cuyo objetivo es mejorar la eficiencia de los procesos quirúrgicos, cuando se trata con pacientes con enfermedades neurológicas.

Index Terms—COVID-19, partículas, Temperatura, , Neurologicas, Sistema

Un sistema adecuado de flujo de aire es un estándar en muchos países, ya que reduce los riesgos para los pacientes y garantiza la seguridad de los operarios en los hospitales. Por ello, proponemos un prototipo diseñado para tener quirófanos estériles destinados a este tipo de pacientes.

I. INTRODUCCIÓN

Después de la pandemia de COVID-19 y según una encuesta realizada en junio del 2021 echa por la © Organización Panamericana de la Salud, surgió una gran susceptibilidad en la población, lo que contribuyó al aumento de enfermedades neurológicas [1]. Este fenómeno generó miedos significativos entre los habitantes, y dicha susceptibilidad persiste actualmente en los hospitales de nuestro país. Según una encuesta realizada por la Organización Panamericana de la Salud (OPS), las principales enfermedades asociadas son [2]:

- Enfermedades transmisibles, maternas, neonatales y nutricionales.
- Heridas
- Trastornos musculoesqueléticos
- Enfermedad cardiovascular
- Neoplasias
- Enfermedades respiratorias crónicas
- Otras enfermedades no transmisibles

Y algunas mas como se muestra en la Fig. 1. es una estadística por edad.

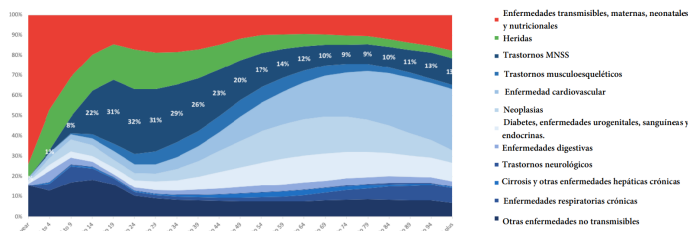


Fig. 1. Estadística realizada el 2021 [1].

II. MARCO TEÓRICO

A. Sistemas de ventilación y su importancia

Debido a la pandemia de COVID-19, ha habido una interrupción significativa en todas las especialidades quirúrgicas. En el Reino Unido, las unidades han cancelado la cirugía electiva y se favoreció una disminución en los procedimientos de generación de aerosoles (AGP). Los centros de todo el mundo abogan por el uso de entornos de presión negativa para los AGP para reducir la propagación de partículas infecciosas en el aire. Presentamos una visión general de los sistemas de ventilación del quirófano y la evidencia respectiva con relación a la infección del sitio quirúrgico (SSI) y la transmisión de patógenos en el aire a la luz de COVID-19. La evidencia de la ventilación de flujo laminar en la reducción de la tasa de SSI en la cirugía ortopédica está ampliamente documentada. Hay poca evidencia para apoyar su uso en cirugía general. Después de brotes virales anteriores, algunos centros han introducido ventilación de presión negativa en un intento de disminuir la exposición de patógenos en el aire al personal y las áreas circundantes. Esto se ha sugerido nuevamente durante la pandemia de COVID-19. Un número limitado de estudios muestran algunos resultados positivos para el uso de sistemas de ventilación de presión negativa y la reducción de la propagación de patógenos; sin embargo, el costo, la accesibilidad y la duración de la conversión siguen siendo un problema inexplorado. En general, no hay pruebas suficientes para abogar por la conversión a gran escala en este momento. Sin embargo, puede ser útil para cada centro tener su propia sala de presión negativa disponible para AGP y pacientes de alto riesgo. [3]

B. El problema de las partículas

'Sobrecarga de partículas pulmonares' se refiere a la alteración del aclaramiento de partículas pulmonares y al aumento de la retención de partículas que ocurre con altas dosis pulmonares de partículas de baja toxicidad (PSLT) poco solubles. En ratas, la sobrecarga de partículas pulmonares se asocia con inflamación, hiperplasia epitelial y, en casos extremos, cáncer de pulmón. Si bien se ha cuestionado la relevancia humana de los tumores de pulmón de rata que ocurren bajo sobrecarga, las decisiones regulatorias recientes han considerado estos resultados como evidencia de un posible peligro humano. Para comprender mejor el estado de la ciencia sobre la toxicología del PSLT, se realizó un Taller de Expertos para documentar acuerdos y diferencias entre un panel de científicos y reguladores altamente experimentados. Los resultados clave incluyeron: una definición funcional de PSLT; acuerdo de que la rata es un modelo sensible para la toxicología por inhalación de PSLT; identificar la inflamación pulmonar como un punto final crítico para la evaluación del riesgo de PSLT; y, el cáncer de pulmón de rata de acuerdo que ocurre solo en condiciones de sobrecarga de partículas pulmonares no implica un peligro de cáncer para los humanos bajo exposiciones sin sobrecarga. Además, cuando se les preguntó: si los PSLT se consideraban carcinógenos pulmonares humanos basados solo en datos de ratas (y no hay datos de apoyo de otras especies), el consenso de los expertos fue: 'No. Sin embargo, los expertos señalaron que la posición reguladora predeterminada actual sobre los datos de sobrecarga pulmonar de rata por sí sola sería la sospecha de peligro de carcinógeno humano. Las muchas áreas del acuerdo de expertos proporcionan orientación para el diseño, interpretación y extrapolación de estudios de toxicología por inhalación de PSLT. Teniendo en cuenta los resultados del taller, los autores recomiendan que se reevalúen las pautas para la evaluación y clasificación del PSLT; y las decisiones anteriores sobre la clasificación de peligros de PSLT se revisan para determinar si siguen siendo apropiadas. [4]

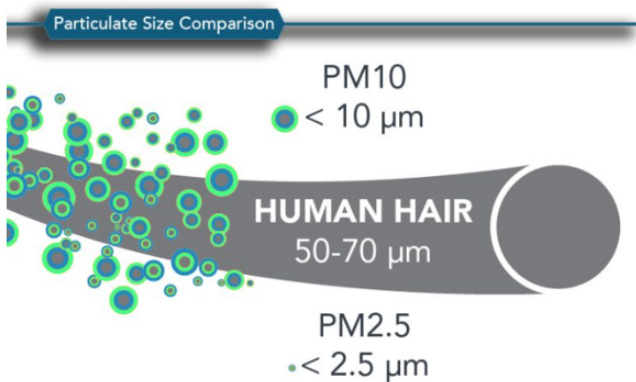


Fig. 2. Tamaño de partículas [5] .

III. MÉTODO PROPUESTO

Para controlar estas partículas, utilizaremos un sensor de partículas capaz de medir partículas de 2.5 PM, el cual proporcionará un valor que estará conectado a nuestro microcontrolador, en este caso el ATmega328P. Este microcontrolador, a su vez, gestionará la temperatura mediante un sensor de temperatura. En la etapa de potencia, emplearemos ventiladores que eliminarán las partículas generando un flujo laminar en el ambiente. Este es un resumen de nuestro método propuesto para solucionar el problema; a continuación, detallaremos el diseño del sistema.

A. Diagrama del sistema

Presentamos una idea básica y fácil de entender para demostrar el funcionamiento del prototipo diseñado para este sistema. Nuestro objetivo es ofrecer una explicación clara y accesible que permita comprender cómo opera cada componente y cómo se integra en la solución propuesta.

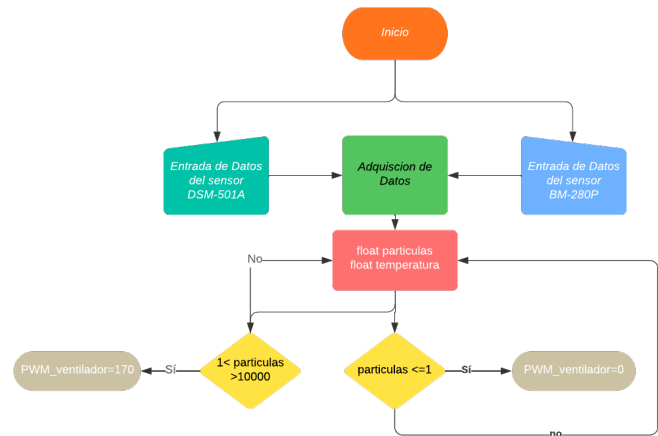


Fig. 3. Diagrama de flujo del sistema .

B. Sensores

1) *DSM-501A*: Sensor de partículas que cumple las siguientes características.

- Sensor tipo activo, funciona emitiendo luz a través de un led ver Fig 4.
- Alimentación de 5V y consumo de 90mA.
- Detecta partículas de hasta aproximadamente 1 micrómetro
- Tiene un rango de 0-1,4 mg/m2
- Salidas moduladas por ancho de pulso ver Fig 5.

Tendremos que linealizar la curva de este sensor para lo cual el mismo datacheet del sensor nos recomienda usar la siguiente formula:

$$radio.particula = tiempo/30segundos * 100 \quad (1)$$

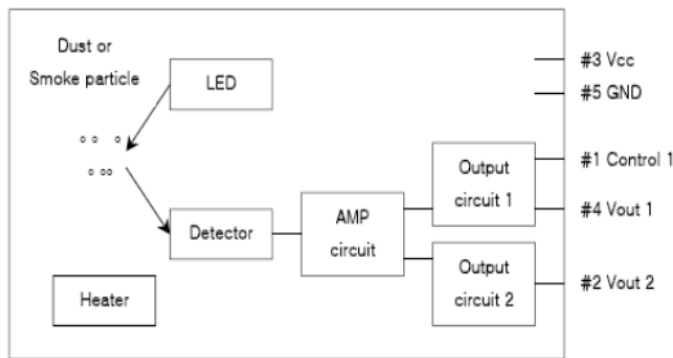


Fig. 4. Diagrama de funcionamiento del sensor [6] .

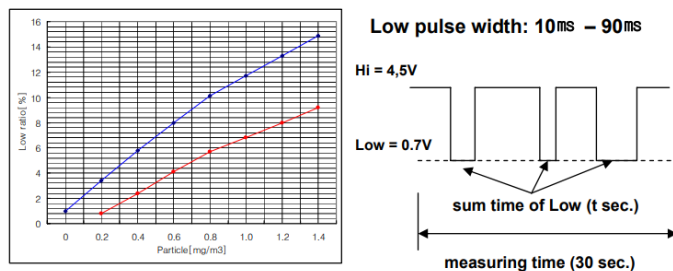


Fig. 5. Curva del sensor con salida PWM [6] .

2) *BM-280P*: Usaremos este sensor por su ergonomía y sobre todo sus dimensiones y sus protocolos de comunión que tiene, y algunos a considerar de este sensor son:

TABLE I
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL SENSOR. [7]

Características técnicas del sensor	
Parámetro	Datos técnicos
Rango de operación	Presión: 300...1100 hPa Temperatura: -40...85°C
Precisión absoluta (950...1050 hPa, 0...+40°C)	±1 hPa
Precisión relativa (p = 700...900 hPa, Temp. @ 25°C)	± 0.12 hPa (típico) equivalente a ±1 m
Consumo de corriente típico medio (tasa de datos de 1 Hz)	3,4 microA @ 1 Hz
Consumo de corriente promedio en modo de suspensión	0,1 microA
Tiempo promedio de medición	5,5 mseg (preajuste de potencia ultrabaja)
Voltaje de suministro VDDIO	1.2 .. 3.6 V
Voltaje de suministro VDD	1.71 .. 3.6 V
Resolución de datos	Presión: 0.01 hPa (j 10 cm) Temperatura: 0.01°C
Interfaz	I²C y SPI
Dimensiones del paquete	LGA de 8 pines con metal 2.0 x 2.5 x 0.95 mm³

C. Simulación del sistema en proteus

Usaremos los siguientes materiales:

- Atmega 328P
- Pantalla LCD 20x4 (I2C)
- Resistencia variable (simula la entrada PWM del sensor)
- Puente H L298N
- Motor de 12V para simular ventiladores
- 3 led para vizualizar el riesgo.

Solo se mostrara el armado del circuito ya que algunos componentes no los encontramos en el simulador como ser los sensores y se trato de cambiarlos por unos resitores variables.

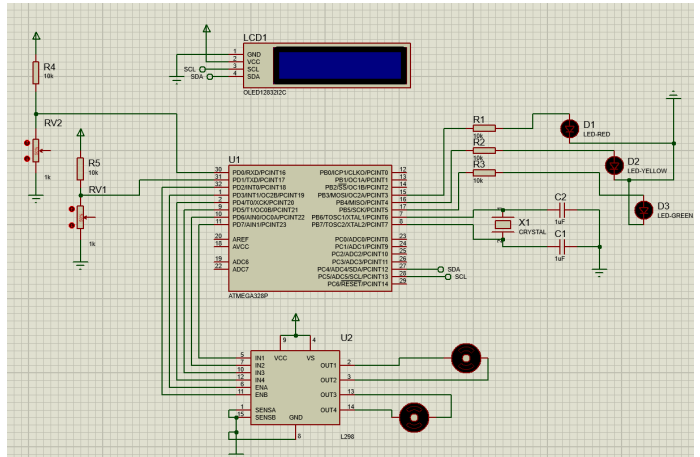


Fig. 6. Circuito en simulador.

D. Presentación del prototipo

Comenzamos con crear primero un ambiente el cual cumpla lo rangos del sensor y en el mismo lo escogimos que un color blanco ya que este mejorara la detección de partículas.



Fig. 7. Gabinete de madera pintado de blanco .

Continuamos con la inclusión de los sensores mostramos en la Fig 8 el sensor de partículas y por debajo el sensor de temperatura.

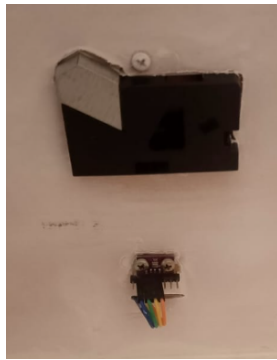


Fig. 8. Sensores de partículas y temperatura.

Terminamos montando la parte de los ventiladores que se uso en este caso unos ventiladores con motor Brushless a un voltaje de operación de 12V.



Fig. 9. Motor Brushless.

Y por final en un case impreso en 3D de thingiverse [8], para una mejor estética del mismo donde dentro entraron el punte H L298 para controlar la velocidad de los ventiladores. Tomar también en cuenta el conexionado, ya que la comunicación del LCD 20x4 gracias al modulo I2C este se vuelve mas ahorativo a la hora de pines y también nuestro sensor de temperatura usamos la comunicación I2C de igual manera y también logramos conectar ambos en estas los mismo pines ya que este es la ventaja principal de usar comunicación I2C poner conectar varios dispositivos en serie.

1) *Código en IDE Arduino*: La parte mas importante el código a mostrar contaría la parte de linealizar la señal del sensor de partículas Fig 11 y sobre todo la parte de las sentencias Fig 12.

El código completo y algunas imagenes del armado se los dejo en el link de GITHUB [9].

IV. LIMITACIONES

El proyecto presentado cumple varias limitaciones una de ellas empieza por la comunicación ya que la desventaja del I2C es la distancia entre estos dispositivos que el mas afectado es el



Fig. 10. Case para el LCD y el microcontrolador.

```
ratio = lowpulseoccupancy/(samptime_ms*10.0);
concentration = 1.1*pow(ratio,3)-3.8*pow(ratio,2)+520*ratio+0.62; // linealizar la curva
lowpulseoccupancy = 0;
```

Fig. 11. Ecuación que linea-liza la curva del sensor de partículas.

```
if (concentration >= 0 && concentration < 10000) {
    digitalWrite(12, HIGH);
    digitalWrite(11, LOW);
    digitalWrite(10, LOW);
    digitalWrite(IN1, HIGH);
    digitalWrite(IN2, LOW); // Giro en una dirección
    analogWrite(ENA, 100);
    digitalWrite(IN3, HIGH);
    digitalWrite(IN4, LOW); // Giro en una dirección
    analogWrite(ENB, 100);
}

if (concentration > 1000 && concentration < 30000) {
    digitalWrite(12, LOW);
    digitalWrite(11, HIGH);
    digitalWrite(10, LOW);
    digitalWrite(IN1, HIGH);
    digitalWrite(IN2, LOW); // Giro en una dirección
    analogWrite(ENA, 220);
    digitalWrite(IN3, HIGH);
    digitalWrite(IN4, LOW); // Giro en una dirección
    analogWrite(ENB, 220);
}

if (concentration > 3000 && concentration < 50000) {
    digitalWrite(12, LOW);
    digitalWrite(11, LOW);
    digitalWrite(10, HIGH);
    digitalWrite(IN1, HIGH);
    digitalWrite(IN2, LOW); // Giro en una dirección
    analogWrite(ENA, 255);
    digitalWrite(IN3, HIGH);
    digitalWrite(IN4, LOW); // Giro en una dirección
    analogWrite(ENB, 255);
}
```

Fig. 12. Sentencias para la regulación de velocidad de los ventiladores.


```

if (concentration < 1000) {
  lcd.setCursor(7,2);
  lcd.print("LIMPIO");
  delay(5000);
  lcd.clear();
}

if (concentration > 1000 && concentration < 10000) {

  lcd.setCursor(7,2);
  lcd.print("BUENO");
  delay(5000);
  lcd.clear();
}

if (concentration > 10000 && concentration < 20000) {

  lcd.setCursor(7,2);
  lcd.print("ACEPTABLE");
  delay(5000);
  lcd.clear();
}

if (concentration > 20000 && concentration < 50000) {
  lcd.setCursor(7,2);
  lcd.print("PESADO");
  delay(5000);
  lcd.clear();
}

if (concentration > 50000 ) {

  lcd.setCursor(7,2);
  lcd.print("PELIGRO");
  delay(5000);
  lcd.clear();
}

```

Fig. 13. Sentencias para el muetsreo en la pantalla LCD.

sensor de temperatura, una solución sería usar la comunicación SPI ya que este también cuenta el sensor. Otra limitación son la inexistencia de flujo de aire del mismo que pueda concentrarse en esquinas del quirófano, una solución es tener mas de 2 ventiladores como muestra la norma en Bolivia [10]. Ya que solo hablamos de enfermedades neurológicas obviamos otras enfermedades donde también afectan las partículas entre ellas se encuentra problemas respiratorios que pueden llegar a afectar al paciente.

TRABAJOS FUTUROS

Como se menciona en la parte de limitaciones de ahí surgen ideas para mejorar este proyecto entre ellas se encuentran:

- Crear un filtro de aire inteligente que detecte calidad de aire para diferentes tipos de pacientes [11], ya que es necesario la calidad de aire en estos lugares.
- Poner un teclado matricial donde se puede introducir por teclado para que tipo de paciente se necesita el lugar por que la temperatura afecta a diferentes pacientes tanto con enfermedades neurológicas y con enfermedades pulmonares y etc [12].
- Cambiar algunos aspectos del código para introducir un cale fon para mantener una temperatura en estos quirófanos o así mismo controlar a través de un piso radiante ya que algunos países tubo efectos favorables para el bien estar de los pacientes. [13]

REFERENCES

- [1] Anon (2021). Impacto de la COVID-19 en los servicios para trastornos mentales, neurológicos y por consumo de sustancias psicoactivas en la Región de las Américas: Resultados de una evaluación rápida. Junio del 2021. (<https://iris.paho.org/handle/10665.2/55389>).
- [2] Anon (2018). The Burden of Mental Disorders in the Region of the Americas, 2018. (<https://iris.paho.org/handle/10665.2/49578>).
- [3] Theodorou C, Simpson GS, Walsh CJ. Theatre ventilation. *Ann R Coll Surg Engl.* 2021 Mar;103(3):151-154. doi: 10.1308/rcsann.2020.7146. PMID: 33645287; PMCID: PMC9157996.
- [4] Driscoll KE, Borm PJA. Expert workshop on the hazards and risks of poorly soluble low toxicity particles. *Inhal Toxicol.* 2020 Feb;32(2):53-62. doi: 10.1080/08958378.2020.1735581. Epub 2020 Mar 9. PMID: 32149535.
- [5] Fahad, E., Fahad, E. (2024, 21 septiembre). Dust Sensor DSM501A with Arduino, PM10 PM2.5 Air Quality Monitoring. *Electronic Clinic.* <https://www.electronicclinic.com/dust-sensor-dsm501a-with-arduino-pm10-pm2-5-air-quality-monitoring/>
- [6] Datadheet DSM501A, Sangdaewon-dong, Jungwon-gu, Sungnam-city, Kyoungki-do, 462-819, Korea www.samyoungsnc.com TEL) 82-31-741-1810, FAX) 82-31-741-1821
- [7] Pressure Sensor BMP280. (s.f.). Bosch Sensortec. <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/pressure-sensors/bmp280/>
- [8] Thingiverse.com. (s.f.). Case for Arduino with 20x4 lcd display and square led cover. by Robine. Thingiverse. <https://www.thingiverse.com/thing:3481526>
- [9] ErickCalle. (s. f.). GitHub - ErickCalle/Prototipo-de-flujo-de-aire: Diseñado para un hospital. GitHub. <https://github.com/ErickCalle/Prototipo-de-flujo-de-aire.git>
- [10] NORMAS DE DIAGNÓSTICO y TRATAMIENTO DE NEUROLOGÍA. (s. f.). En <https://www.asuss.gob.bo/wp-content/uploads/2021/11/14-Normas-De-Diagnostico-y-Tratamiento-De-Neurologia.pdf>. DIRECCIÓN TÉCNICA DE FISCALIZACIÓN Y CONTROL DE SERVICIOS DE SALUD. <https://www.asuss.gob.bo/wp-content/uploads/2021/11/14-Normas-De-Diagnostico-y-Tratamiento-De-Neurologia.pdf>
- [11] Hellot C. Technologie de la filtration [Filtration technology]. *Rev Fr Transfus Hemobiol.* 1993 Jun;36(3):223-42. French. doi: 10.1016/s1140-4639(05)80183-2. PMID: 8347248.
- [12] Marignac G, Pilot-Storck F. Body, ambient and felt temperature: An attempt to resolve a human and mice dilemma. *Biochimie.* 2023 Jul;210:99-104. doi: 10.1016/j.biochi.2023.05.005. Epub 2023 May 19. PMID: 37211254.
- [13] Cui PY, Wang JQ, Yang F, Zhao QX, Huang YD, Yang Y, Tao WQ. Effects of Radiant Floor Heating Integrated with Natural Ventilation on Flow and Dispersion in a Newly Decorated Residence. *Int J Environ Res Public Health.* 2022 Dec 15;19(24):16889. doi: 10.3390/ijerph192416889. PMID: 36554770; PMCID: PMC9779557.