

Desarrollo de un sistema de monitoreo ambiental intrahospitalario de bajo costo basado en una computadora personal.

Gustavo Adolfo Martínez Chávez¹

¹Instituto Mexicano del Seguro Social, Delegación Ciudad de México Sur
gustavo.martinezc@imss.gob.mx

Resumen— Los pacientes que por diversas circunstancias ingresan en unidades médicas se ven expuestos en mayor o menor grado a una serie de sintomatologías, entre otras causas, a las propias de sus cuadros patológicos como las inherentes a las condiciones y características ambientales de este tipo de unidades.

La observación de esta realidad en unidades operativas de atención médica, y la exhaustiva bibliografía existente en lo referente a la aplicación de los planes de calidad asociados a los “Estándares de Certificación de Unidades Médicas”, nos han llevado a plantearnos la necesidad de realizar un estudio que considere de modo particular, los factores ambientales que pueden influir significativamente en la calidad de la atención que recibe la población derechohabiente, para ello se hace necesario contar con los instrumentos de medición de variables medio ambientales que faciliten dicha tarea.

El objetivo del presente trabajo es implementar un monitor de parámetros ambientales para su uso en las instalaciones de unidades médicas, que permitan medir en tiempo real cinco variables como indicadores básicos del desempeño ambiental en unidades de servicios médicos de salud: Temperatura, Humedad Relativa, Intensidad Luminosa, Intensidad de Sonido y Concentración de Monóxido de Carbono CO.

Buscando de esta manera el poder identificar una posible relación entre determinados factores ambientales, en concreto, el ruido, la luz artificial ininterrumpida y las interrelaciones de los factores temperatura, humedad y monóxido de carbono, sobre el ámbito de la salud de los pacientes que ingresan a las unidades médicas, en apego a las recomendaciones y estándares nacionales como internacionales.

Palabras clave— **Sensores, Monitoreo, Salud Ambiental, Estándares de Certificación, Prestaciones de Servicios Médicos**

I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a las recomendaciones hechas por la organización mundial de la salud respecto a la necesidad de

contar con ambientes saludables que permitan disminuir la carga de morbilidad atribuible a factores asociados al medio ambiente en los centros prestadores de servicios médicos. Los países miembros reconocen que la salud ambiental está relacionada con todos los factores físicos, químicos y biológicos externos de una persona. Es decir, que engloba factores ambientales que podrían incidir en la salud y se basa en la prevención de las enfermedades y en la creación de ambientes propicios para la salud [3].

II. METODOLOGÍA.

Para la realización del diseño y desarrollo del sistema de monitoreo de variables ambientales en las áreas de atención médica a través de la lectura del ruido, la luz artificial ininterrumpida, temperatura, humedad relativa al igual que los niveles de CO obtenidas mediante una red de sensores colocados de manera estratégica dentro del área de atención, así como la captura y transmisión de los datos almacenados mediante la comunicación USB hacia un Microcontrolador PIC16F877, ya que esta se considera una plataforma de bajo costo y de uso gratuito tanto en hardware y software, así como su representación gráfica bajo el ambiente de suite de oficina Microsoft Office para su posterior procesamiento.

Para tal fin se establecieron los siguientes parámetros ambientales como valores ideales para las variables de monitoreo que a continuación se citan en la Tabla 1.

Variable	Rango
Monóxido de Carbono	150 a 350 ppm
Iluminación	600 Lux
Ruido Ambiental	30 a 65 dB
Humedad Relativa	30 a 60%
Temperatura	22° a 26°C

Tabla 1. Parámetros ambientales según Norma Oficial Mexicana en que establece el método normalizado para la evaluación de riesgos a la salud como consecuencia de agentes ambientales.

Lo anterior en apego a las recomendaciones de monitoreo de variables ambientales conforme a las regulaciones en hospitales e instalaciones de atención de la salud en nuestro país.

III. RESULTADOS

A. Medición Monóxido de Carbono CO.

El sensor de CO MQ-2 Núm. IM120710024 fabricado por OEM fue seleccionado para medir la concentración de monóxido de carbono, con el que podemos saber si el aire está limpio o libre de gases, gracias a la alta conductividad que presenta el dispositivo en estas condiciones y a medida que se detecta la concentración de gases, la conductividad se va disminuyendo. Por lo tanto la conductividad está relacionada con la concentración de gases en el ambiente que mide, presentando una tendencia de tipo lineal dentro del rango de 200 a 1000 PPM para el caso del monóxido de carbono, lo que facilita establecer una relación entre los valores del sensor con los obtenidos con un medidor de monóxido de carbono marca: UNIT-T modelo: UT337-A buscando de esta forma obtener una relación entre el sensor y el instrumento de calibración, dada por la siguiente expresión:

$$y = 610 - 5x^3 - 0.0447x^2 + 25.407x - 3186 \quad (1)$$

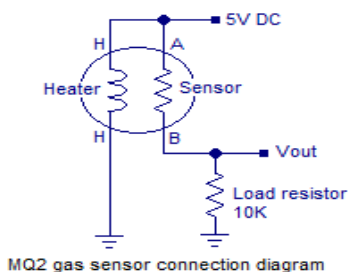


Figura 1. Diagrama de Conexión del Sensor MQ2 de CO.

B. Medición de Intensidad Luminosa.

Para este caso se seleccionó una fotorresistencia LDR GL5549, que es un componente cuya resistencia varía sensiblemente con la cantidad de luz percibida. La relación entre la intensidad lumínica y el valor de la resistencia no es lineal ya que guarda una proporción de tipo logarítmica; el comportamiento que presenta es que a más luz incidente esta presenta una menor resistencia eléctrica, que puede variar entre 10 KΩ hasta 200 KΩ y a menos luz incidente mayor resistencia eléctrica tendrá cuando está en penumbra puede llegar a hacer de aproximadamente a 10MΩ.

El divisor de voltaje es un circuito muy utilizado cuando se quiere regular el voltaje que le llega a un componente, circuito, etc. Está compuesto generalmente por dos resistencias en serie, conectadas entre sí a una fuente de tensión (batería, pila) y tierra. Cuando se conecta el elemento resistivo sobre el que se desea obtener un voltaje

específico, basta con que se determinen los valores de ambas resistencias que proporcionan dicho voltaje que para este caso oscilan de 4 a 0.8Volts. Ya que a través de la resistencia en serie, es posible repartir la tensión suministrada por la fuente entre las terminales, y de esta manera obtener un voltaje variable de acuerdo a la cantidad de luz percibida entre las terminales del LDR.

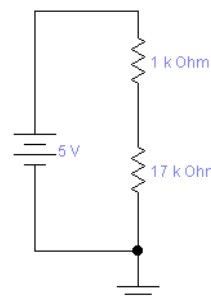


Figura 2. Diagrama de Conexión de la fotorresistencia GL5549 como parte de un divisor de Voltaje para la cuantificación de la intensidad luminosa.

Con los valores de voltaje obtenidos en el divisor de voltaje con la fotorresistencia LDR GL5549, fueron comparados con los generados con un luxómetro marca: UNIT-T modelo: UT383 buscando de esta forma obtener una relación entre la fotorresistencia y el instrumento de calibración, dada por la siguiente ecuación:

$$y = -0.937 \ln(x) + 6.4957 \quad (2)$$

C. Medición de Intensidad Sonora

Para la implementación del sonómetro se decidió utilizar un micrófono, un transistor de la serie 2N2222, unas pocas resistencias, diodos y algunos condensadores.

El micrófono viene a ser el elemento más importante de un medidor de nivel sonoro, se escogió utilizar en este diseño un micrófono basado en una cápsula de condensador electret. Estas cápsulas pueden conseguir excelentes resultados en la mayoría de las aplicaciones, se optó por una cápsula de condensador electret WM-61A de Panasonic.

La operación del circuito consiste en que la señal de entrada procedente del "micrófono", llega al transistor en configuración emisor común, lo que facilita disponer de alto voltaje y alta ganancia de corriente, permitiendo de esta manera hacer la compensación en frecuencia, rectificando e integrando la señal, produciendo una conversión en una escala logarítmica.

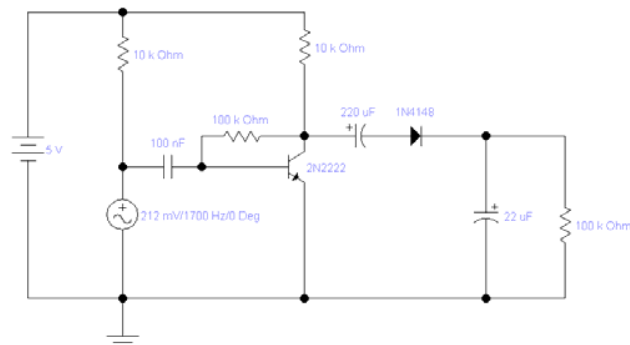


Figura 3. Sonómetro en que el micrófono es el elemento más importante por eso debe poseer una respuesta en frecuencia lo más plana posible, así como también baja distorsión en altos niveles de presión sonora, buena sensibilidad y bajo ruido.

Con los valores de voltaje obtenidos, estos son comparados con los obtenidos con un decibelímetro marca: UNI-T modelo: UT352 buscando de esta forma generar una relación entre las lecturas del sonómetro y el instrumento de calibración, dada por la siguiente ecuación:

$$y = 20 \text{Log}_{10}(x/10^{-12}) \quad (3)$$

Buscando mantener una relación que 55 decibeles es equivalente $3 \times 10^{-7} \text{ v/m}^2$; lo que permitirá obtener la lectura en decibeles para el uso diario en vez de tener que usar notación científica (o un decimal muy chico).

D. Medición de temperatura

Se seleccionó el circuito LM35DZ el cual es un sensor de temperatura con una precisión calibrada de 1°C y un rango que abarca desde -55°C hasta $+150^\circ\text{C}$.

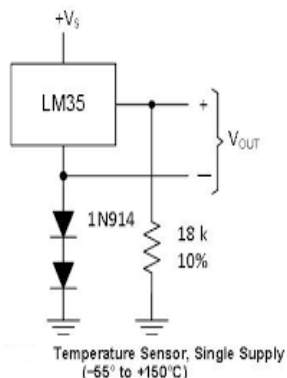


Figura 4. Conexión del Sensor LM35 como termómetro lo único que necesitamos es un voltímetro bien calibrado y en la escala correcta para que nos muestre el voltaje equivalente a temperatura.

Con los valores de voltaje obtenidos con el sensor de temperatura LM35DZ, estos son comparados con los obtenidos con el termómetro marca: Fluke 971 buscando de esta forma obtener una relación entre sensor de temperatura y el instrumento de calibración, dada por la siguiente ecuación:

$$y = 0.01x + 1.4 \quad (4)$$

E. Medición de humedad relativa

Se seleccionó el Sensor de Humedad de resistencia variable HR202 el cual cuenta con una excelente linealidad, alto rango de medida, rápida respuesta, bajo consumo de energía y muy buena estabilidad, ya que facilita ajustar el umbral de detección de posición de distribución de la humedad y operara con un voltaje de funcionamiento de 1.5 a 3.0Volts.

A fin de detectar la humedad como la necesidad de conocer la humedad ambiental, lo que facilita el hecho de poder conectar directamente al Microcontrolador y de esta manera detectar los cambios en el medio ambiente, utilizando al Sensor de Humedad como una resistencia variable.

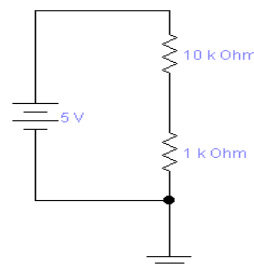


Figura 5. El HR202 es un sensor que cuenta con una excelente linealidad, alto rango de medida, rápida respuesta, bajo consumo de energía, muy buena estabilidad y alto radio de detección.

Con los valores de voltaje obtenidos con el sensor de Humedad HR202, estos fueron comparados con los obtenidos con el Termó-Higómetro marca: UNI-T Modelo: UT-333 buscando de esta forma obtener una relación entre el sensor de humedad y el instrumento de calibración, dada por la siguiente ecuación:

$$y = -0.0009x^2 + 0.042x + 4.5747 \quad (5)$$

F. Programación del Microcontrolador PIC16F877.

Una vez verificado el funcionamiento de cada uno de los sensores de manera individual, se utilizó la herramienta de programación PIC C que permite programar al microcontrolador por medio de lenguaje C, lo que facilita la configuración de la pantalla LCD, memorias, convertidores A/D, así como la Interfaz de Comunicación Serial

“USART”, siendo necesario el uso del circuito MAX232 como convertidor de nivel para la comunicación del PIC16F877 con una computadora personal; ya que los niveles de tensión con los que trabaja el modulo son de 0V y 5V, por eso el circuito MAX232 permite generar los niveles de tensión entre -12V y 12V para la comunicación serie con la computadora. De igual manera mediante el programa de Hyperterminal que es un cliente del sistema Windows para hacer conexiones tipo Telnet por medio del puerto serie, se registra la captura de las medidas de las variables ambientales en un archivo con formato tipo texto para su posterior graficación y análisis a través del programa de Excel.

G. Captura de los Datos.

El área de estudio corresponde a la unidad de consulta externa de especialidades ubicado en el Sur de la CDMX, para la recolección de las variables el sistema de medición se ubico al centro del área de consulta, efectuando una captura cada segundo durante 16 Hrs. continuas comprendiendo así los dos turnos laborales, tal como se muestra en la Figura.6 y su análisis como medida de dispersión en la Figura. 7.

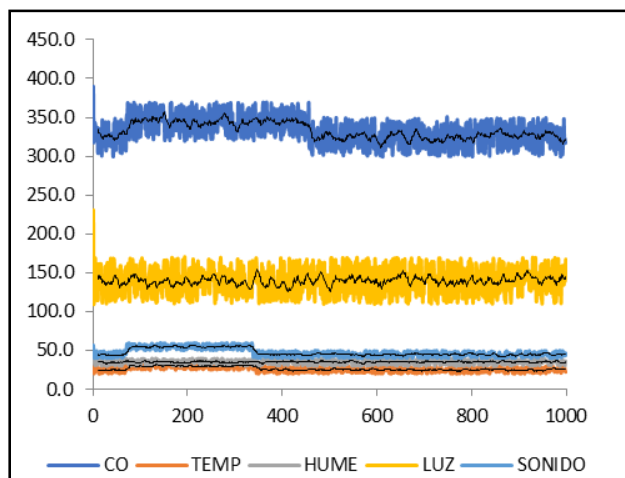


Figura 6. Registró en hoja de cálculo de Excel de las mediciones obtenidas de monóxido de carbono, humedad relativa, iluminación y temperatura en área de consulta externa.

CONCEPTO	CO (PPM)	TEMP (°C)	HUME (%)	LUZ (LUX)	SONIDO (dB)
PROMEDIO	332.7	26.3	34.9	140.6	44.7
DES.EST (±)	18.84	3.65	3.03	18.79	5.21

Figura 7. Análisis como medida de dispersión de los valores obtenidos en la captura de los valores de humedad relativa, con el empleo del PIC16F877.

IV. DISCUSIÓN.

La principal fortaleza del sistema descrito respecto de otros medidores de parámetros ambientales comerciales, es que este fue concebido y diseñado con un propósito muy específico derivado de una necesidad de un área hospitalaria, en que se busca contribuir en la mejora continua de la calidad de los servicios de atención médica y de la seguridad que se brinda a los pacientes.

Presentándose como área de oportunidad, la mejora de este primer prototipo mediante el uso de sensores digitales, en que es posible obtener directamente los valores de las variables ambientales, así como la posibilidad de incorporación de comunicación inalámbrica.

V. CONCLUSIÓN.

Con el desarrollo del presente proyecto se pone de manifiesto la iniciativa en el desarrollo de sistemas tecnológicos para ambientes hospitalarios, que de manera implícita busca proporcionar un beneficio para la población derechohabiente, ya que es posible el poder dotar a las unidades operativas de equipo biomédicos, que coadyuven con el cumplimiento de los planes y programas de trabajo establecidos en las unidades de atención medica, al igual que se fomenta el desarrollo de las actividades del ingeniero biomédico en nuestro país.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Bambarén-Alatrística C, Alatrística-Gutiérrez de Bambarén M. Impacto ambiental de un hospital público en la ciudad de Lima, Perú. Rev. Perú. Med. Exp. Salud Pública 2014 [cited 2016 Nov 18];31(4):712-5. Available from: <https://goo.gl/qknciE>.
- [2] <http://asinom.stps.gob.mx:8145/Centro/CentroMarcoNormativo.aspx>
- [3] World Health Organization & Health Care Without Harm. Healthy hospitals, healthy planet, healthy people: Addressing climate change in health care settings. Geneva: WHO; 2009.
- [4] K. Hunt, “The NICU: Environmental Effects of the Neonatal Intensive Care Unit on Infants and Caregivers” Research Papers. Paper 71. Southern Illinois University Carbondale, EEUU, 2011.
- [5] R. White MD, “Recommended Standards for Newborn ICU Design”, Consensus Committee on Recommended Design Standards for Advanced Neonatal Care, , 8th Edition, Clearwater Beach, Florida, EEUU, 2012.
- [6] Karlner J, Guenther R. Una agenda global para hospitales verdes y saludables: Un marco integral de salud ambiental para los hospitales y los sistemas de salud de todo el mundo. Buenos Aires: Salud sin daño; 2008.
- [7] Suárez-Pita M, Junco-Díaz AJ. Plan institucional de manejo de los desechos sólidos, una herramienta para la gestión hospitalaria. Rev.Cubana Hig. Epidemiol. 2012;50(3):60-64.
- [8] Manuel Kukuljan, “La oportunidad de desarrollar hospitales de alta calidad asistencial y docente para Chile”, Rev Med Chile 2017; 145: 72
- [9] Choi, I. S. Carbon monoxide poisoning: systemic manifestations and complications. J Korean Med Sci. 2001 Jun;16(3):253-61.Review. PMID: 11410684 [PubMed – indexed for MEDLINE].