

# DISEÑO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE USO EFECTIVO Y ESTIMACIÓN DEL FACTOR DE PROTECCIÓN EFECTIVO EN RESPIRADORES REUTILIZABLES PURIFICADORES DE PRESIÓN NEGATIVA



**Eduardo Toledo,**  
Investigador del Instituto de Investigación Científica de la Universidad de Lima.



**Yvan Lovaton,**  
Director de Ventas y Servicios Safety División de Draeger Perú.



**Grace Valenzuela,**  
Supervisora de Higiene Ocupacional y Prevención de riesgos.

Uno de los riesgos más importantes a los que se enfrentan los trabajadores de los sectores minero e industrial es el que afecta su aparato respiratorio, pues ellos están expuestos al polvo, humo, gases y productos químicos nocivos (Blair-Frasier, 2017). Regan (2019) menciona que no solo es importante conocer el tipo de agente nocivo al que se está expuesto, sino también determinar cuál es la concentración en el ambiente de trabajo. Al respecto, los centros de labores deben realizar modificaciones al proceso de trabajo e implementar controles de ingeniería o controles del desarrollo de las actividades; sin embargo, cuando estas acciones no logran reducir la exposición de los trabajadores por debajo de los niveles permitidos, se deben implementar herramientas de protección respiratoria (Dyer, 2020).

La protección respiratoria puede involucrar el uso de un respirador de cara completa, uno de media cara o la combinación de ambos con un filtro y/o cartucho, según corresponda (Birkner, 2012). Cuando se habla de protección respiratoria, un referente mundial es la norma OSHA 1910.134 (Occupational Safety and Health Administration [OSHA], 2006) y los factores de protección asignados del estándar de protección respiratoria (OSHA, 2009).

Estos estándares internacionales consideran los siguientes conceptos: Factor de Protección Asignado (APF, por sus siglas en inglés), que es el factor que se esperaría de un respirador según estándares gubernamentales; el Factor de Protección en el lugar de Trabajo (WPF, por sus siglas en inglés), que se obtiene a través de estudios que simulan la condición de trabajo; el Factor de Ajuste (FA), que sirve para evaluar si el protector respiratorio cumple o no con la regulación local; y el Factor de Protección Efectivo (EPF, por sus siglas en inglés), que se considera teórico a menos que se mida efectivamente qué nivel de protección brinda un respirador a un trabajador en el lugar donde cumple sus labores, según la siguiente ecuación:

$$EPF = \frac{Ts}{\frac{Tw}{WPF} + Tnw}$$

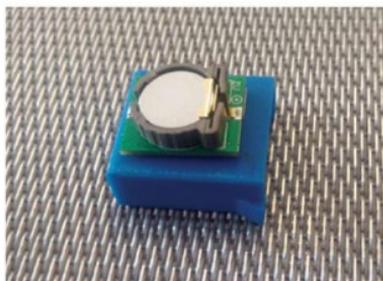
Donde:  
Ts: Tiempo efectivo de uso, Tw: Tiempo de trabajo, WPF: Factor de Protección en el lugar de Trabajo; y Tnw: Tiempo sin exposición al contaminante.

El nivel de respirador "de fábrica" no va a coincidir con el nivel de protección real que tiene un trabajador en su centro de labores. Tal diferencia puede cambiar en el tiempo, lo que se debe a factores tales como modificaciones en la estructura de la cara del colaborador por aumento o pérdida de peso, trabajo dental importante, etc (Regan, 2019).

Para reducir los efectos de la contaminación del aire, las organizaciones deben implementar planes de protección respiratoria de forma anual. Estos programas tendrán éxito si se cuenta con el respaldo de los trabajadores para lograr una mayor probabilidad de cumplimiento de su parte (Birchner, 2012), por lo que es importante fortalecer los programas de protección respiratoria en las organizaciones, definiendo el nivel de protección que pueden brindar los respiradores y concientizando sobre su uso efectivo. El problema es que a la fecha no se dispone de metodologías para determinar los tiempos de uso efectivo de los respiradores durante la jornada laboral.

Al pasar de los años, se han tenido amplios desarrollos en el área de procesamiento de señales para las correctas captura, interpretación y medición de los diferentes datos fisiológicos; sin embargo, aunque existen extensos estudios, diseños y desarrollos en esta área y en el almacenamiento de datos, actualmente se presentan inconvenientes en las técnicas utilizadas para captura de datos mediante mecanismos no invasivos, así como en la interpretación de los datos en pantalla sin perturbaciones de la señal, los parámetros de seguridad de la información de los pacientes y la normatividad que se debe implementar (Cowans y Olarte, 2017).

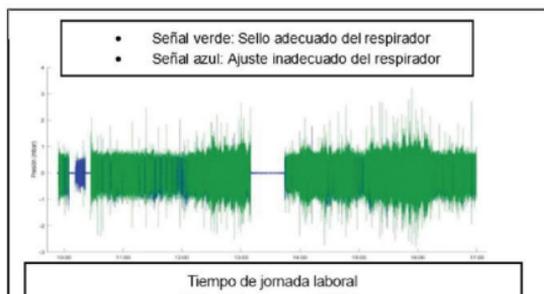
Ante esta problemática, investigadores de la empresa Draeger Perú y del Instituto de Investigación Científica (IIC) de la Universidad de Lima desarrollaron un dispositivo denominado Pulmochip, sistema electrónico que determina los tiempos de uso y no uso efectivo del respirador en la jornada laboral. Además, diseñaron una plataforma web donde se



cargan la data y los resultados del procesamiento de la información. Este proyecto fue desarrollado en el marco del Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad (Innovate Perú) del Ministerio de la Producción, y patentado como modelo de utilidad según Resolución N.º 000198-2022/DIN del 17 de febrero de 2022.

El dispositivo mencionado mide en tiempo real los parámetros de temperatura, humedad y presión para determinar el tiempo efectivo de uso en la jornada laboral del trabajador. Para ello, debe ser colocado en el interior de la pieza buconasal del respirador, en la zona superior central de la pieza, sin que interfiera con el proceso de exhalación/inhalación. Cuando se evaluaron los tres parámetros requeridos, el parámetro de presión interna fue el que tuvo un menor error porcentual (de 0,01 %) con respecto a las mediciones del equipo patrón de medición.

La señal de presión interna de un respirador adecuadamente utilizado tiene un patrón definido; asimismo, la señal de presión de un respirador con fuga o que ha sido retirado del rostro tendrá otro patrón característico, de menor magnitud.



El circuito electrónico se compone de un sensor de presión y de un circuito de adquisición compatible con los rangos de sensibilidad, velocidad de respuesta y condiciones de operación dentro del respirador, además de un sistema de control de muy bajo consumo, una memoria de datos que permita registrar la información adquirida por el sensor y un sistema de alimentación basado en la batería.

Un profesional especializado en salud ocupacional diseñó y formuló el protocolo de pruebas y procedimientos estandarizados para la ejecución de las pruebas del sistema y la recolección de datos, de forma que se garantice la correcta lectura de datos y su reproducibilidad. Asimismo, se tuvo en cuenta el registro de parámetros ambientales como presión, temperatura y humedad, características de las condiciones de trabajo. Adicionalmente, se realizó una evaluación del dispositivo desarrollado con un equipo contador de partículas para pruebas de ajuste cuantitativas, lo que permitió determinar que el dispositivo no interfiere con el uso normal del respirador.

Con este dispositivo se pudieron determinar los tiempos de uso efectivo, no efectivo y no uso del respirador de medio rostro durante su utilización. Con los resultados obtenidos puede estimarse con gran aproximación el EPF del respirador. Un menor valor del EPF evidenciará la necesidad de hacer mejoras en el proceso de protección respiratoria. Se podría trabajar sobre alguno de los factores que influyen en el uso del respirador, o cambiar el modelo de respirador y migrar a otro con mayor nivel de protección asignado.



Esta información cuantitativa será una herramienta importante para la mejora en la gestión de la salud respiratoria de los trabajadores, evitando que estos puedan adquirir enfermedades ocupacionales crónicas como la neumoconiosis.

### Referencias bibliográficas:

- Birkner, J. (2012, 6 de junio). Want respiratory protection compliance? *Industrial Safety & Hygiene News*, 46(6), 36-38.
- Blair-Frasier, A. (2017, 9 de junio). Q & A: Improving Respiratory Protection in Manufacturing. *Industrial Maintenance & Plant Operation*, 78(6), 20-21. 2p. 4 C.
- Cowans J. y Olarte N. (2017, marzo). Señal respiratoria a partir del acondicionamiento electrónico de la señal ECG. *Scientia et Technica*, XXII-22(1). Universidad Tecnológica de Pereira. <https://doi.org/10.22517/23447214.13911>
- Dyer, K. (2020). What is a Respiratory Protection Program and when do you need one? *Clean, comfortable, complaint. Industrial Safety & Hygiene News*, 54(5), 20.
- Regan, R. (2019). Selecting the right respirator. *Industrial Safety & Hygiene News*, 53(12), 14-15.
- Occupational Safety and Health Administration. (2006). Personal Protective Equipment. Respiratory Protection (standard 1910.134). Occupational Safety and Health Standards.
- Occupational Safety and Health Administration. (2009). Assigned Protection Factors for the Revised Respiratory Protection Standard (OSHA 3352-02). <https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/3352-APF-respirators.pdf>