

Artículo

# Dispositivo IoT e-tool utilizando protocolo CoAP para el monitoreo de las condiciones de salud laboral

Ángel Ganazhapa Malla<sup>[1]</sup>  Klever Tiupul Urquiza<sup>[2]</sup>  Gastón Chamba Romero<sup>[1]</sup> 

[1] Consultor independiente.

[2] Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez – Ecuador.



Autor para correspondencia: [k.tiupul@istlam.edu.ec](mailto:k.tiupul@istlam.edu.ec)

## Resumen

La importancia estratégica de las e-tool basadas en IoT desde el punto de vista de la seguridad y salud laboral radica en su aporte para la identificación de condiciones de riesgos laborales a partir de la gestión de la información de los entornos de trabajo y sus factores ambientales, en consonancia con los lineamientos de la OMS y normativas internacionales. La metodología para el desarrollo de un prototipo incluye la exploración del protocolo de comunicación, el diseño de una arquitectura integral (hardware y software), la implementación y pruebas de funcionalidad. Con la ayuda del método ágil XP (Extreme Programming) se desarrolló el front-end (interfaz del usuario) de la aplicación utilizando Flutter. Para la transmisión de datos se emplea CoAP por su eficiencia en redes inalámbricas y su capacidad para manejar comunicaciones asincrónicas; se obtuvieron mediciones ambientales de la temperatura, iluminación, calidad del aire, altitud, presión y humedad mediante sensores electrónicos conectados a la PCB del microcontrolador ATmega32U4 y en la interfaz de interconexión inalámbrica se utilizó un microcontrolador expressif como un hotspot wifi. Con Node JS se configura el back-end (interfaz de programación) del sistema empleando dos servidores, el primero para la recepción de datos desde el prototipo mediante el CoAP, y para alimentar a la aplicación con información se desarrolló un servidor de recursos. Después de un periodo de operación en distintas áreas, se pudieron comparar los datos obtenidos con los niveles recomendados en la salud ocupacional.

Palabras Clave: e-tool, CoAP, Node JS, IoT, riesgos laborales, seguridad y salud ocupacional.

## IoT e-tool device using CoAP protocol for monitoring occupational health conditions.

### Abstract

The strategic importance of IoT-based e-tools in terms of occupational health and safety lies in their contribution to identifying workplace hazards through the management of information from work environments and their environmental factors, in accordance with WHO guidelines and international regulations. The methodology for developing a prototype includes exploring communication protocols, designing a comprehensive architecture (hardware and software), implementation, and functionality testing. With the assistance of the agile XP (Extreme Programming) method, the front-end (user interface) of the application was developed using Flutter. CoAP was chosen for data transmission due to its efficiency in wireless networks and ability to handle asynchronous communications. Environmental measurements of temperature, lighting, air quality, altitude, pressure, and humidity were obtained using electronic sensors connected to the PCB of the ATmega32U4 microcontroller, with an expressif microcontroller used in the wireless connectivity interface as a Wi-Fi hotspot. Node JS was used to configure the system's back-end (programming interface) using two servers, the first for receiving data from the prototype via CoAP, and a resource server was developed to supply information to the application. After a period of operation in different areas, the collected data could be compared against recommended occupational health levels.

Keywords: e-tool, CoAP, Node JS, IoT, occupational risk, occupational health and safety.

## 1. Introducción

La información se ha convertido en uno de los mayores tesoros que puede poseer una empresa en la actualidad. Los datos y su procesamiento nos ayudan a comprender situaciones complejas o de poca relevancia para los humanos. En el trabajo, las personas pueden verse expuestas a diversos riesgos que pueden provocar problemas de salud a mediano y largo plazo. Delgado et al. (2020) indica que la salud laboral tiene como fin la salud física, mental y el bienestar de los trabajadores. La OMS en su resolución WHA60.26 insta a los estados miembros a garantizar la salud de los trabajadores. En este aspecto las herramientas electrónicas (*e-tool*) en el ámbito de salud y seguridad laboral son necesarias para ayudar a las empresas en la identificación y prevención de riesgos asociados al ámbito laboral.

El IoT se ha convertido en un aliado estratégico para obtener información respecto el entorno que nos rodea, expandiéndose rápidamente a muchas áreas. Khanna & Kaur (2020) indican un gran abanico de aplicaciones de IoT entre las cuales consta la salud pública y el monitoreo ambiental entre muchas otras y en diferentes escenarios, para así resolver desafíos reales con soluciones innovativas, de costos reducidos y de rápida implementación e integración. Tao et al. (2021) explora las tecnologías emergentes de IoT y así como los grandes desafíos venideros.

En Archana (2024) y Tiwari et al. (2021) se estudian varios dispositivos IoT enfocados al monitoreo de la salud demostrando la necesidad de estos para el control preciso y remoto de las condiciones de salud de sus usuarios. Miao & Yang (2022) han creado un sistema de monitoreo de aire y calidad de agua, demostrando una gran eficacia y viabilidad mediante el uso de dispositivos LoRa desplegados en varios nodos para recabar información de manera eficiente y oportuna. En Vallejo-Sanchez et al. (2024) se plantea una arquitectura IoT para el monitoreo ambiental misma que incluye tres capas fundamentales: capa de dispositivos, capa de red, y capa de aplicación.

Con base a lo expuesto, el propósito de esta investigación es diseñar e implementar una herramienta electrónica (*e-tool*) de bajo costo que esté vinculada al concepto IoT y que brinde información en tiempo real sobre el entorno laboral, mismo que puede utilizarse en pequeñas y medianas empresas para ayudar en aplicación de políticas de prevención laboral mediante la identificación y prevención de los riesgos asociados acorde a los datos ambientales obtenidos.

Para el desarrollo del prototipo, se planteó una arquitectura basada en Vallejo-Sanchez et al. (2024) misma que incluye una arquitectura de desarrollo de software. Para ello se establecieron tres objetivos específicos:

- (1) Explorar la funcionalidad del protocolo CoAP;
- (2) Diseñar la arquitectura (hardware y software) del prototipo;
- (3) Implementar el prototipo y realizar las pruebas de funcionalidad.

## 2. Background

### 2.1. Internet de las Cosas (IoT)

Debido a los avances en la tecnología de la información y la comunicación en los últimos años, el Internet de las cosas (IoT) ha aumentado significativamente, permitiendo a las personas conectarse a Internet a través de una amplia gama de dispositivos y desde una variedad de lugares. Hoy en día, no solo las personas están conectadas a Internet, sino también los objetos que nos rodean. La gran cantidad de sensores interconectados mediante IoT ha hecho que las decisiones basadas en la información sean mucho más eficientes (Işıkdağ, 2020).

El IoT surgió cuando el Internet tenía más conexiones que la cantidad de personas en la Tierra. Se ha aplicado a una gran variedad de campos, incluidas las viviendas, las ciudades, los automóviles, la atención médica, la agricultura, la industria entre muchos otros. IBSG (*Internet Business Solutions Group*) de Cisco describe al IoT como un punto en el tiempo en el que se conectaron a internet más cosas u objetos que personas. Hasta la fecha la Organización Internacional de Normalización (ISO) así como Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE, por sus siglas en inglés) han definido el estándar de IoT para el desarrollo de dispositivos, en la **Figure 1** se muestra la pila del protocolo del modelo ISO:

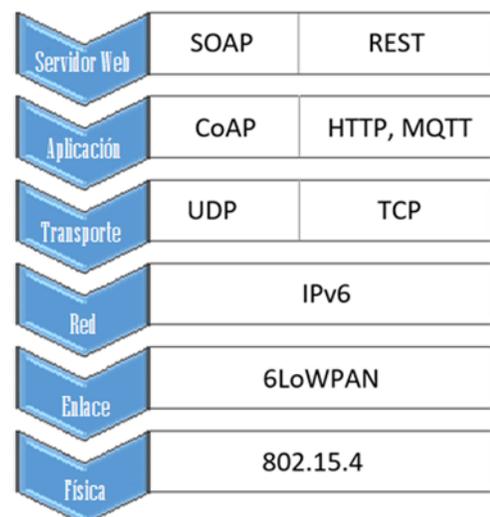


Figure 1: Stack de protocolo de la arquitectura de la IoT (Modelo ISO).

## 2.2. Protocolo CoAp

La comunicación IoT con internet se realiza como cualquier dispositivo conectado a la red, utilizando un protocolo para la transferencia y recepción de información. Existen varios protocolos de comunicación utilizados en la trama de datos de la capa de aplicación, Ashar Tariq (2020) muestra que CoAP funciona mucho mejor en comparación con HTTP, MQTT, ecc, proporcionando comunicación confiable entre los nodos inalámbricos entre otras características tales como menor pérdida de datos en redes CoAP de alto tráfico.

CoAP se puede definir como el protocolo especializado para el uso en nodos inalámbricos, restringidos y limitados por su baja potencia; se comunica con un modelo cliente/servidor de forma asíncrona lo que le da mayor interactividad a través de internet.

## 2.3. Seguridad y Salud Ocupacional

Según Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST) (2023), se establecen estrategias para lograr entornos de trabajo seguros y saludables. Se pueden encontrar diferentes tipos de aspectos que pueden provocar riesgo laboral como:

- Riesgos por condiciones de seguridad: Se refiere al estado de la maquinaria o estructuras que podrían provocar accidentes.
- Riesgos por agentes físicos: Se produce por las emisiones de energía como: el ruido o vibraciones provocados por maquinaria, la iluminación y variaciones de temperatura y la emisión de radiación, ultrasonidos o radiofrecuencias.
- Riesgos por agentes químicos: se producen por la exposición a agentes contaminantes en el ambiente de trabajo.
- Riesgos por agentes biológicos: generados por la exposición a bacterias, parásitos, virus, hongos y organismos que pueda producir alguna infección o alergia.
- Riesgo psicológico: provocada por la carga de trabajo excesiva que pueden llegar a producir fatiga, agotamiento o estrés y por consiguiente daños psíquicos como enfermedades nerviosas.

## 2.4. Herramientas tecnológicas en seguridad y salud ocupacional

La evolución tecnológica ha permitido la incorporación de IoT en muchos campos de estudio, y la seguridad laboral no es la excepción. Esto ha permitido que agentes involucrados generen herramientas electrónicas (e-tool) para prevenir los riesgos laborales.

Las herramientas electrónicas de seguridad y salud laboral pueden prestar ayuda y recursos a organizaciones en la gestión de los riesgos laborales como legislación para la prevención de riesgos laborales y, fomentar la prevención para fines informativos.

Utilizando las herramientas electrónicas (European Agency for Safety and Health at Work, 2020) se puede lograr: (1) Capacitar al personal para aplicar la prevención de riesgo laboral; (2) Facilitar la captación de datos de las e-tool para la toma de decisiones; (3) Ayudar a identificar los riesgos en el lugar de trabajo; (4) Facilita la evaluación de riesgos; (5) Presentar soluciones a los problemas de seguridad y salud laboral; (6) Apoyar la aplicación de medidas preventivas.

Varios dispositivos electrónicos fueron utilizados para realizar el hardware que soporte la recepción de datos, la conversión y adecuación de las señales, la interpretación de estas, y el envío de la trama de datos a través de la red inalámbrica. Como core principal se utilizó un microcontrolador de la familia *atmega* específicamente el ATmega32U4 que sirve para la recolección de señales provenientes de varios sensores: temperatura, humedad, presión, altitud, luminosidad, calidad de aire, nivel de ruido y en la interfaz de interconexión inalámbrica se utilizó un microcontrolador *expressif*, chip de bajo consumo energético con un stack TCP/IP para wifi.

## 3. Metodología

A continuación, se describe la metodología utilizada en cada uno de los objetivos planteados.

### *Estudio del funcionamiento del protocolo CoAP*

Se recopiló información concerniente a varios protocolos que funcionan al mismo nivel que CoAP. Mediante el método de análisis comparativo (Ayala, 2022) se llega a una conclusión específica de por qué se debe utilizar el protocolo CoAP en el desarrollo de este proyecto.

### *Diseñar la arquitectura (hardware y software) del prototipo.*

Para cumplir con la primera parte de este objetivo, referente al hardware se utilizó el método deductivo para obtener información sobre los componentes de hardware utilizados, y finalmente, debido a la variedad de componentes de hardware disponibles, se aplicó en conjunto el método analítico, el método empírico y la experiencia para seleccionar los elementos de hardware ideales acordes a las necesidades planteadas. Para lograr la segunda parte de este objetivo relacionada con el desarrollo de software, se utilizó el método de Programación Extrema (XP), que permite un desarrollo ágil para proyectos de corto plazo.

### *Implementación del prototipo y pruebas de funcionalidad.*

Para cumplir con el último objetivo del proyecto se implementó el sistema en un entorno real y se realizó un seguimiento mediante observación directa. Se comprobó que los datos variaron según los impulsos físicos aplicados.

## 4. Resultados

### 4.1. Estudio del funcionamiento del protocolo CoAp

Los diferentes protocolos que existe en la capa de aplicación de los dispositivos IoT se analizaron como se establece en (Ayala, 2022), en esta etapa del análisis comparativo, se definieron los objetos a comparar y las características con los que serán evaluados, mismos que están reflejados en la **Figure 1**.

Tabla 1: Diferentes protocolos que existe en la capa de aplicación de los dispositivos IoT (Ayala, 2022).

Característica	MQTT	CoAP
Facilidad de implementación	Implementación fácil, pero es complicado añadir ciertas extensiones como la traducción a HTTP	Fácil implementación, pero soporte en crecimiento con pocas librerías existentes
Consumo de energía	Consume más que CoAP	Consume menos que MQTT
Protocolo sobre el que opera	Utiliza TCP	Utiliza UDP
Modelo de comunicación	Tipo Publicación/Suscripción	Tipo Pregunta/Respuesta y Publicación/Suscripción
Envío de mensajes	Tipo asíncrono	Tipo síncrono y asíncrono
Confiabilidad	QoS0: Entrega no garantizada QoS1: Confirmación de entrega QoS2: Doble confirmación de entrega	Tiene mensajes confirmables y no confirmables, tiene respuestas ACKs y puede utilizar retransmisiones.
Tipo de seguridad	Por defecto no definida, se puede utilizar TLS/SSL	Utiliza DTLS o IPSec
Tamaño de cabeceras	Utiliza 2 Bytes	Utiliza 4 Bytes
Nodo de comunicación	Modelo muchos a muchos (m:n)	Modelo uno a uno (1:1)
Utiliza RESTful	NO	SI
Saturación	Alta en consumo alto de red	Baja
Latencia	Baja	Baja
Gestión de errores	NO	SI
Uso más común	Exteriores o Interiores	Exteriores o Interiores

Se destacaron 3 etapas para la construcción de un análisis comparativo exitoso: (1) se definen los principales conceptos, propiedades y características de los objetos a comparar, (2) se seleccionaron los objetos a comparar

justificando su selección en base a las características y conceptos obtenidos en la etapa anterior y, (3) se realizó el análisis de los casos específicos de protocolos a partir de la comparación de variables determinantes y constantes en cada objeto a comparar.

De acuerdo con las necesidades el protocolo, CoAP es el que mejor se adapta al desarrollo de esta aplicación IoT, porque cuenta con compatibilidad REST, protocolo de seguridad, mínimo consumo de recursos para operar.

#### 4.2. Diseñar la arquitectura del hardware y software del prototipo

Se recolecta la medición de los sensores de humedad, temperatura, calidad del aire, nivel de luz y nivel de sonido mediante una PCB. Se procesan los datos para crear una trama de información y se envía al servidor mediante una solicitud HTTP utilizando CoAP. La trama es recibida por el servidor CoAP en el servidor Node JS y se procesa y guarda en una base de datos. La app móvil procesa y obtiene la trama utilizando un servidor Node JS. La información se muestra y se compara dentro de la aplicación móvil.

Los sensores envían las señales recabadas al microcontrolador *atmega* en iteraciones de 30 segundos, creando así una trama de datos. El microcontrolador funciona como un concentrador de información el cual se encarga de enviar la trama a la interfaz de conexión inalámbrica. En la **Figura 2**, se puede visualizar la arquitectura planteada tanto como para los diferentes dispositivos hardware así como para el software desarrollado.

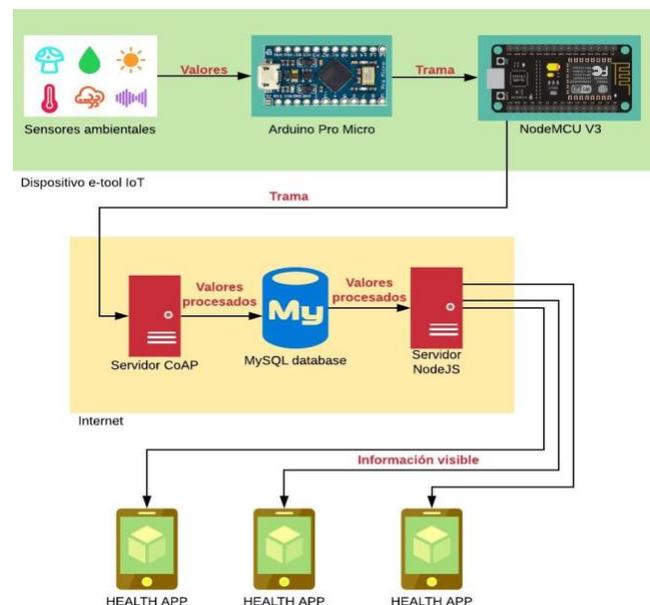


Figura 2: Diagrama de bloques del registro y procesado de información

**I) Diseño e implementación del prototipo IOT:** El propósito del microcontrolador expressif es hacer del dispositivo una herramienta capaz de trabajar en dos modos, el primero es ser un hotspot para configurar la conexión y el segundo mantener al dispositivo conectado a internet para enviar información al servidor mediante el protocolo CoAP al servidor.

**II) Implementación de la aplicación móvil:** Para el desarrollo de software se ha seleccionado la metodología Extreme Programming (XP).

**III) Especificaciones del requerimiento:** Para el planteamiento de los requerimientos funcionales y no funcionales de Software se utilizó el estándar IEEE 830-1998.

**IV) Selección de tecnología:** En función del tiempo y experticia se definen las tecnologías para la construcción del software, en la **Tabla 2** se pueden visualizar las tecnologías de desarrollo y software utilizados.

Tabla 2: tecnologías de desarrollo utilizadas

Software	Lenguaje de programación	Framework/Kit/Entorno	IDE
Aplicación móvil	Dart	Kit UI Flutter	Intellij IDEA
Servidor CoAP	JavaScript	Node JS con capa de CoAP	Visual Studio Code
Servidor JS	JavaScript	Node JS	Visual Studio Code
Base de datos	SQL	MySQL (Gestor de base de datos)	Workbench (Herramienta visual)
Programas arduino	C++ (adaptación de avr-libc)	Librerías controladoras de dispositivos	IDE arduino

**V) Valores óptimos en la salud ocupacional:** La Duke (2019) recopila el estándar de niveles recomendados de iluminación dependiendo de la actividad que se realiza, mismas que podemos segmentar en tres grupos importantes:

- Exigencias visuales bajas 50 a 200 lux, por ejemplo escaleras y pasillos.
- Exigencias visuales moderadas 500 a 100 lux, por ejemplo salas de videoconferencias, laboratorios y oficinas.
- Exigencias visuales altas 1500 a 2000 lux, por ejemplo mesa de diseño, taller de montaje de piezas con precisión milimétrica.

En cuanto a los niveles de temperatura y humedad, Maestre (2023) encuentra los rangos establecidos son de 23°C a 25°C y 45% al 60% respectivamente para temporadas de verano y 21°C a 23°C y 40% al 50% para temporadas de invierno, además menciona que los niveles de concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en sitios laborales no debe exceder los 1000 ppm.

Finalmente, en Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST) (2023) se establece la Norma ISO 11690-1:1997 para niveles de ruido en oficinas con trabajos rutinarios con un rango aceptable de 45 dB a 55 dB y para lugares de trabajo que implican concentración de 35 dB a 45 dB.

**VI) Pruebas de rendimiento y estrés del software:** En esta sección se utiliza Artillery, como herramienta de NodeJS que permite mediante la declaración de un fichero de configuración definir el número de usuarios y peticiones para la simulación y así registrar los resultados de latencia y duración para el mínimo, máximo entre otros. Para ejecutar las pruebas se tomaron en cuenta dos parámetros importantes, el tiempo de ejecución de las pruebas (Duration) y el número de peticiones por segundo que se realizarán (ArrivalRate), los resultados obtenidos se reflejan en la **Tabla 3**.

Tabla 3: Resultados de las pruebas de rendimiento y estrés del sistema

No. Fase de prueba	Duración	ArrivalRate	Resultados
1	10s	5	Escenarios lanzados: 118 Escenarios completados: 29 Peticiones completadas: 122 Latencia media: 1142.1 ms Códigos de respuesta 400: 122
2	10s	10	Escenarios lanzados: 145 Escenarios completados: 26 Peticiones completadas: 149 Latencia media: 5080.1 ms Códigos de respuesta 400: 144
3	10s	20	Escenarios lanzados: 187 Escenarios completados: 31 Peticiones completadas: 116 Latencia media: 8496.6 ms Códigos de respuesta 400: 116
4	10s	40	Escenarios lanzados: 229 Escenarios completados: 22 Peticiones completadas: 120 Latencia media: 18012.1 ms Códigos de respuesta 400: 120
<b>Resultado final de todas las peticiones</b>			Escenarios lanzados: 776 Escenarios completados: 776 Peticiones completadas: 2328 Latencia media: 25622.6 ms Códigos de respuesta 400: 2328

### 4.3. Implementar el prototipo y realizar pruebas

A continuación, en la **Tabla 4** se presentan las características de las oficinas en donde se realizaron las pruebas del dispositivo.

Como resultados se obtuvieron los siguientes. La **Figura 3** muestra la ventana de aplicación con los valores promedio y

las diferentes medidas que realiza el dispositivo e-tool. La **Figura 4** y **Figura 5** se muestran los valores obtenidos por el dispositivo ubicado en los diferentes lugares de trabajo. La **Figura 6** y **Figura 7** se indican las medidas realizadas por el dispositivo al ubicarlo al exterior del edificio

Tabla 4: Características de los lugares de prueba.

Oficina	Dimensiones	Iluminación Natural	Ventilación	Número Empleados	Piso
Electrónica	10 x 10 m	Alta	Alta	6	4
Diseño	12x13 m	Media	Media	11	1
Desarrollo	5 x 5 m	Baja	Baja	5	1
Personal	4 x 3 m	Baja	Baja	1	1
Exterior	---	Alta	Alta	0	0

Figura 3: Recolección de información y presentados en la aplicación



Figura 4: Promedio de niveles de sonido, temperatura y humedad en las oficinas

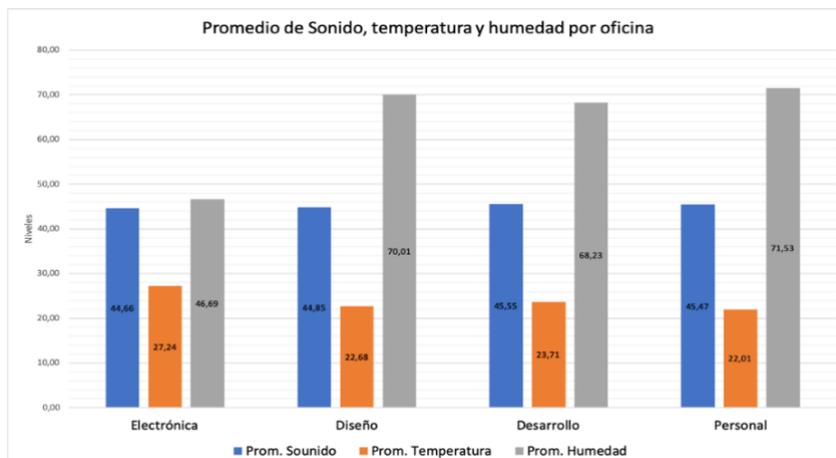


Figura 5: Promedio calidad del aire, luz, presión y altitud en las oficinas

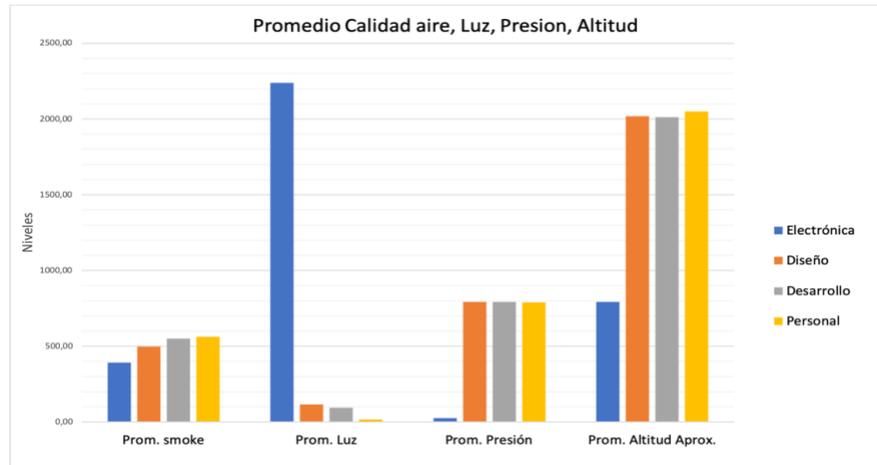


Figura 6: Medidas exterior: sonido, temperatura y humedad

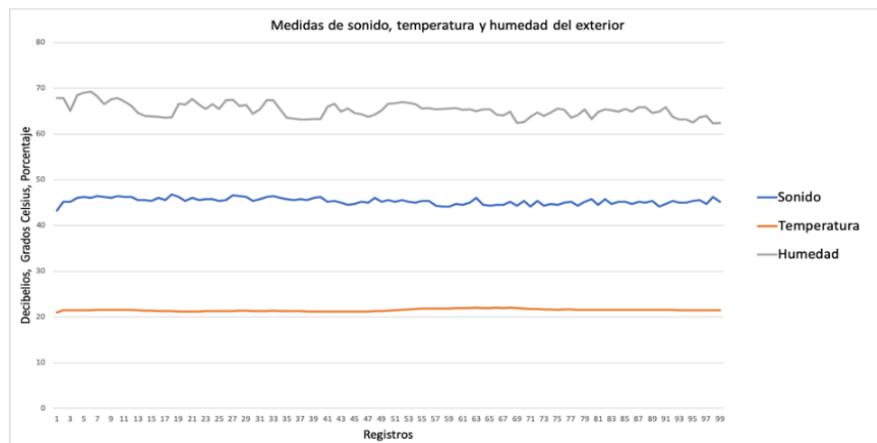
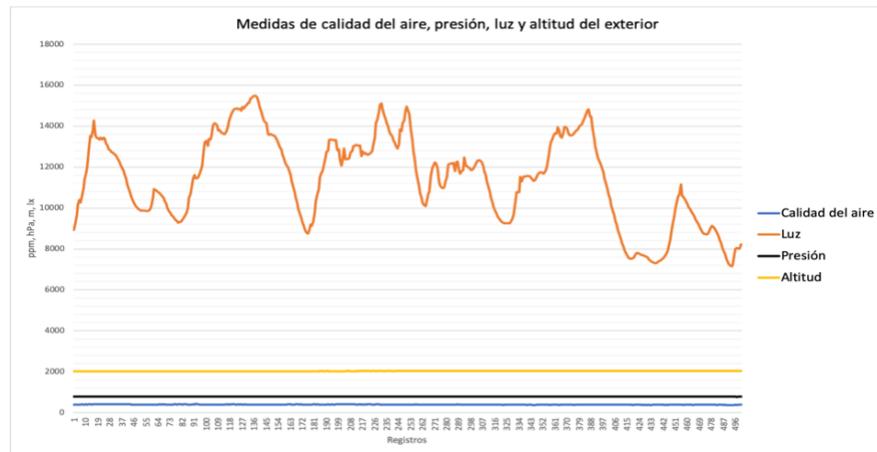


Figura 7: Medidas exterior: calidad del aire (CO2), luz, presión, altitud



## 5. Conclusiones

La herramienta e-tool desempeña un papel importante en la recolección y el análisis de datos pues logra mostrar de manera eficiente los niveles recolectados por los sensores para en base a la información recabada poder activar y facilitar de manera oportuna los mecanismos de intervención necesarios.

El departamento de Electrónica es el que mejor ambiente de salud laboral posee pues sus valores promedios correspondientes a las diferentes medidas realizadas estuvieron dentro de los valores óptimos para salud ocupacional recomendados por diferentes instituciones.

El departamento de Personal (RRHH) requiere atención prioritaria en cuanto a la presencia excesiva de humedad, y sumando la baja de ventilación en un área de 12 m2 en la que

labora tan solo una persona, además porque el nivel de smoke es superior a todas las áreas de trabajo.

Al exterior del edificio, el sonido, temperatura y humedad se mantienen constantes en promedio de 45 dB, 21°C y 75% respectivamente, lo cual es normal para el ambiente exterior, se puede notar que existe una gran variación de niveles de luz por los diferentes pasos de nubes sobre el lugar.

El desarrollo del sistema es económico debido a la sensorística y el hardware asociado, mismos que se pueden conseguir fácilmente en las tiendas especializadas.

## Referencias

- Archana, N. M. (2024). IoT based Health Monitoring System. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC RESEARCH IN ENGINEERING AND MANAGEMENT*, 8(3), 1-11. <http://dx.doi.org/10.55041/IJSREM29311>
- Ashar Tariq, M. (2020). Enhancements and Challenges in CoAP. *Sensors* 2020, 20(21). <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/21/6391>. <https://doi.org/10.3390/s20216391>
- Ayala, M. (2022, August 28). Método comparativo: qué es, características, pasos, ejemplos. *Lifeder*. <https://www.lifeder.com/metodo-comparativo/>
- Delgado, L., Borroto, E., & Moreira, E. (2020). Normativas en seguridad y salud ocupacional y los problemas éticos. *Revista San Gregorio*, 1(40), 1. <https://doi.org/10.36097/rsan.v1i40.1406>
- European Agency for Safety and Health at Work. (2020). Herramientas electrónicas en seguridad y salud en el trabajo | Safety and health at work EU-OSHA. EU-OSHA. <https://osha.europa.eu/es/themes/osh-e-tools>
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (2023). Estrategia Española de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2023-2027. <https://www.insst.es/noticias-insst/estrategia-esp%C3%B1ola-de-seguridad-y-salud-en-el-trabajo-2023-2027>
- İşıkdag, Ü. (2020). An IOT architecture for facilitating integration of geoinformation. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 5(1), 15-25. <https://doi.org/10.26833/ijeg.587023>
- Khanna, A., & Kaur, S. (2020). Internet of Things (IoT), Applications and Challenges: A Comprehensive Review. *Wireless Personal Communications*, 114, 1687-1762. <https://doi.org/10.1007/s11277-020-07446-4>
- La Duke, P. (2019, December 16). *lighting\_levels\_HSME\_2018*. Health and Safety International. Retrieved July 3, 2024, from

<https://www.healthandsafetyinternational.com/article/1843821/lighting-levels>

- Maestre, C. (2023, noviembre 30). Estudio de las casuísticas operativas con ventilación natural para garantizar la calidad del aire interior en lugares de trabajo que permitan un entorno salubre [Tesis Maestría]. In Depósito de Investigación de la Universidad de Sevilla. Sevilla, España.
- Miao, H.-Y., & Yang, C. T. (2022). On Construction of a Campus Outdoor Air and Water Quality Monitoring System Using LoRaWAN. *Innovative Applications of Big Data and Cloud Computing*, 12(10), 5018. <https://doi.org/10.3390/app12105018>
- Tao, W., Zhao, L., Wang, G., & Liang, R. (2021). Review of the internet of things communication technologies in smart agriculture and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 189. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106352>
- Tiwari, D., Prasad, D., & Guleria, K. (2021). IoT based Smart Healthcare Monitoring Systems: A Review. *International Conference on Signal Processing, Computing and Control (ISPCC)*, 6th, pp. 465-469. <https://doi.org/10.1109/ISPCC53510.2021.9609393>
- Vallejo-Sanchez, D., Muñoz-García, A., & Chaverra-Zuleta, E. (2024). Development of an IoT architecture for environmental monitoring: integrating open source technologies with application projection in the mining sector. *DYNA*, 9(231), 163-168. <https://doi.org/10.15446/dyna.v91n231.112093>

## Contribución de los autores (CRediT)

Conceptualización: A.G.M.; Contenidos y datos: A.G.M., K.T.U., G.C.R.; Análisis formal de datos: A.G.M., G.C.R.; Investigación: K.T.U., G.C.R.; Metodología: A.G.M., G.C.R.; Validación: K.T.U., G.C.R.; Redacción-revisión y edición: A.G.M., K.T.U. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

## Conflicto de intereses

Los autores han declarado que no existe conflicto de intereses en esta obra.



Derechos de autor 2024. Revista Científica FINIBUS - ISSN: 2737-6451.

Esta obra está bajo una licencia: Internacional Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0

