

Prototyping of a CO detection system in subway parking garages using Arduino Nano

Rodriguez Richard , Cortegana Jheiser , Jirón Andrés, Mg , Padilla Darwin, Mg ,
^{1,2,3,4}Universidad Tecnológica del Peru, Peru, 1626860@utp.edu.pe, u18304216@utp.edu.pe, e20084@utp.edu.pe,
c26834@utp.edu.pe,

Abstract– The present work focuses on detecting carbon monoxide in underground parking lots using a robot controlled by Arduino Nano. Equipped with specific sensors, an LCD screen, and a rechargeable lithium battery, the robot performs initial inspections, with damped servomotors for efficient mobility. Obstacle detection is carried out using an ultrasonic device, and the data is recorded in real-time on the EMQX server. To reduce mortality rates and protect operators from exposure to toxic gases, this project accurately measures environmental parameters, highlighting the importance of servomotors in vehicle movement.

Keywords--Monitoring, Arduino, IoT, Machine Learning, Toxic gases.

Prototyping of a CO detection system in subway parking garages using Arduino Nano

Rodriguez Richard , Cortegana Jheiser , Jirón Andrés, Mg , Padilla Darwin, Mg ,
^{1,2,3,4}Universidad Tecnológica del Peru, Peru, 1626860@utp.edu.pe, u18304216@utp.edu.pe, e20084@utp.edu.pe,
c26834@utp.edu.pe,

Abstract– *The present work focuses on detecting carbon monoxide in underground parking lots using a robot controlled by Arduino Nano. Equipped with specific sensors, an LCD screen, and a rechargeable lithium battery, the robot performs initial inspections, with damped servomotors for efficient mobility. Obstacle detection is carried out using an ultrasonic device, and the data is recorded in real-time on the EMQX server. To reduce mortality rates and protect operators from exposure to toxic gases, this project accurately measures environmental parameters, highlighting the importance of servomotors in vehicle movement.*

Keywords–*Monitoring, Arduino, IoT, Machine Learning, Toxic gases.*

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la investigación en robótica ha logrado avances tecnológicos notables, demostrando mejoras continuas y mayor eficiencia [1]. Estos avances han tenido un impacto positivo en diversos sectores industriales, destacándose especialmente en áreas como el de la minería y la automoción [2], donde el desarrollo de robots se centra en mitigar posibles riesgos para la salud de los trabajadores. Como prueba de este impacto tecnológico, se destaca la investigación realizada en [3], donde se implementó un sistema de identificación de los gases con mayor proporción en socavones mineros, además de medir la temperatura y la humedad relativa en dicho lugar. Los autores utilizaron un robot móvil controlado por un smartphone y equipado con sensores como el DH11 (Rango de temperatura: 0°C a 50°C (32°F a 122°F), Precisión de temperatura: $\pm 2^\circ\text{C}$ Rango de humedad: 20% a 90% de humedad relativa, precisión de humedad: $\pm 5\%$, tensión de funcionamiento: 3,3V a 5,5V, corriente de funcionamiento: 2,5mA máx. durante la conversión, salida: Se comunica mediante un solo bus de datos digital, intervalo de lectura: 2 segundos) para evaluar temperatura y humedad, el MQ-2, cuyos datos técnicos son: sensibilidad ajustable, rango de detección: 300 a 10000 ppm (partes por millón) para gases inflamables, tensión de funcionamiento: 5V DC, corriente de funcionamiento: <150 mA, tiempo de calentamiento: <1 minuto, tiempo de respuesta: <10 segundos, salida analógica: Voltaje proporcional a la concentración de gas detectada, salida digital: Salida TTL alta cuando se detecta un nivel de gas por encima del umbral ajustado, temperatura de funcionamiento: -10°C a 50°C, humedad de funcionamiento: <95% RH (sin condensación) para detectar metano (CH_4), el MQ-7 para medir concentración

de monóxido de carbono (CO), y el MQ-135, cuyos datos son: Rango de detección de gases: Amoníaco (NH_3), óxidos de nitrógeno (NO_x), alcohol, benceno, humo, CO_2 , tensión de funcionamiento: 5V DC, corriente de funcionamiento: <150 mA, tiempo de calentamiento: <1 minuto, tiempo de respuesta: <10 segundos, salida analógica: Voltaje proporcional a la concentración de gas detectada, salida digital: Salida TTL alta cuando se detecta un nivel de gas por encima del umbral ajustado, temperatura de funcionamiento: -10°C a 50°C, para evaluar concentración de dióxido de carbono (CO_2). Además, según [4], estas máquinas ofrecen información sobre parámetros ambientales, facilitando la recopilación de datos para tomar decisiones.

Por otro lado, es importante mencionar que actualmente se están desarrollando robots controlados de forma remota, destacando su relevancia para mejorar sistemas de control automático e introducir nuevas soluciones en la industria. Según [5], la alta demanda de robots móviles se debe a modelos versátiles de hardware y software, actualizados continuamente con nuevas funciones. Por ejemplo, en [6], los autores implementaron una serie de prototipos de vehículos automáticos que operan de manera inalámbrica mediante un programa basado en Arduino. La comunicación se efectuó mediante el Arduino Nano, al igual que otros microcontroladores Arduino, emplea niveles de voltaje TTL (Transistor-Transistor Logic) para la comunicación digital con otros dispositivos. Explicó que TTL es un estándar de voltaje ampliamente utilizado en la lógica digital, donde 0V indica un estado lógico "bajo" (LOW) y 5V (o 3.3V en algunos casos) representa un estado lógico "alto" (HIGH) y se conectó el pin RX (recepción) del módulo Wi-Fi al pin TX (transmisión) del Arduino Nano y el pin TX del módulo Wi-Fi al pin RX del Arduino Nano. Luego, utilizó una librería como SoftwareSerial en Arduino para establecer una comunicación serial a través de otros pines digitales, dado que el Arduino Nano tiene solo un puerto serial hardware. Una vez que se estableció la comunicación serial entre el Arduino Nano y el módulo Wi-Fi, el ingeniero pudo enviar y recibir datos utilizando comandos AT (Hayes AT Command Set) u otros protocolos de comunicación admitidos por el módulo Wi-Fi. Para conectar el Arduino Nano a un módulo Wi-Fi, como el módulo ESP8266, el ingeniero utilizó la comunicación serial TTL. Describió cómo el ESP8266 se comunica con el Arduino a través de pines digitales utilizando el estándar de comunicación serial UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter). Este

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

programa facilita la comunicación con el servidor host para supervisar el vehículo, mientras que los sensores de movimiento permiten un desplazamiento normal. Asimismo, en [7] se desarrolló un robot destinado a supervisar diversos parámetros ambientales, como la humedad, la temperatura, el nivel de polvo y CO_2 . En este caso, el sistema de adquisición de datos recopila información mediante una variante del Arduino Mega ADK, enviando señales al Sistema de Gestión de Base de Datos (SQLite). Además, se emplea una estructura maestro-esclavo para agregar o quitar sensores sin afectar el sistema. Respecto a los detalles de los sensores utilizados, en [8] se menciona que el sensor MQ7 se utiliza para detectar CO como uno de los dispositivos principales, mientras que el sensor DHT11 mide la temperatura y humedad relativa. Adicionalmente, se utilizó una tarjeta electrónica Arduino Uno como dispositivo de control, conectada al controlador L293D para suministrar corriente a los motores, cuyas características básicas son: voltaje: 4,5 voltios (pilas AA o AAA); tensión nominal: 3V - 6V; corriente nominal: 0,1A - 0,3A; velocidad sin carga: 5000 - 10000 RPM (revoluciones por minuto).

En este contexto, el objetivo principal de la presente investigación es el de diseñar un vehículo autónomo destinado a la detección de CO en estacionamientos subterráneos para regular la presencia de posibles agentes contaminantes. Para esto, se equipará al vehículo con sensores, los cuales realizarán inspecciones iniciales mapeando rutas y recopilando datos de temperatura, humedad relativa y concentración de CO . La información se transmitirá en tiempo real a un servidor, generando tablas estadísticas para evaluar las condiciones del estacionamiento de vehículos. Con esta investigación, se buscará elevar la seguridad laboral al identificar y resaltar áreas críticas de contaminación, reduciendo la exposición de los trabajadores al CO y contribuyendo a la disminución de la tasa de mortalidad en entornos laborales. Este avance tecnológico asegura un monitoreo ambiental más efectivo y preciso.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

En esta sección se describirá la metodología utilizada en esta investigación, enfocándose en la alimentación mediante baterías de litio y la implementación de servomotores. La detección de obstáculos y el análisis de parámetros ambientales respaldan el diseño eficiente del consumo de energía para el desarrollo del prototipo móvil.

La alimentación del prototipo se ha suministrado mediante una batería portátil recargable de litio de 5 Vdc. Los servomotores, diseñados en una escala pequeña para lograr alta velocidad de rotación y eficiencia en tareas, operan con una alimentación de 5 Vdc, según se detalla en [16]. Para mejorar la movilidad en terrenos rocosos, se han implementado ruedas tipo “cocada”. Los sensores de ultrasonidos, descritos en [16], permiten al

prototipo detectar obstáculos y monitorear parámetros ambientales durante su desplazamiento.

En cuanto al diseño del prototipo (ver Fig. 1), este ha sido organizado en etapas que incluyen alimentación, sensores, procesamiento y actuadores, variando según el tipo de tracción y neumáticos utilizados. Inspirándose en [17], se ha optado por la implementación de dos pares de neumáticos. Las ruedas traseras actúan como elementos motrices, mientras que las delanteras desempeñan la función de sistema de guía. La fuerza motriz se basa en el torque de las cuatro ruedas, siguiendo el enfoque de vehículos convencionales.

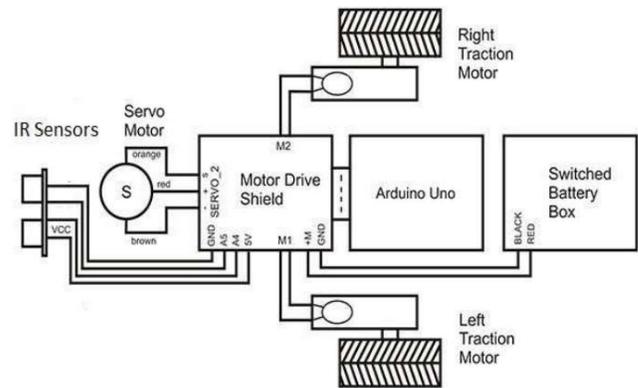


Fig. 1 Diseño y diagrama de bloques del prototipo [17].

El procedimiento aborda la selección de sensores para supervisar condiciones ambientales en espacios confinados, considerando especificaciones técnicas como tiempo de respuesta, corriente, resistencia, temperatura y rango de medición [18].

En segundo lugar, se aborda el diseño del consumo de la batería portátil para el monitoreo. Se calculan el promedio de corriente, voltaje y temperatura con Matlab®, siendo esencial para el correcto funcionamiento del prototipo y para dimensionar la carga y descarga de la batería [19].

En tercer lugar, se desarrolla la simulación del traslado del prototipo móvil. Después de calcular los parámetros eléctricos de la batería, se presenta un prototipo móvil con dimensiones de 0.45 cm de largo y 0.27 cm de ancho. Equipado con ruedas tipo “cocada”, cuenta con una pantalla de color celeste para visualizar datos ambientales capturados por los sensores. Los componentes electrónicos están montados en un protoboard asegurado en el techo del vehículo.

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En esta sección, se resaltan los resultados que evidencian el rendimiento del prototipo, con una precisa detección de obstáculos y monitoreo de parámetros ambientales, lo cual valida la robustez del diseño y confirma la efectividad de la metodología utilizada. En ese sentido, vale la pena destacar que el monitoreo de los parámetros de temperatura, humedad relativa y monóxido de carbono se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Tecnológica del Perú (UTP) mediante el uso de un conjunto de vehículos especializados. A través de un prototipo móvil, se llevó a cabo un monitoreo preciso para recopilar datos de los parámetros clave y supervisar la información en tiempo real. Esto fue posible gracias a la conexión establecida con un servidor EMQX. Además, se destaca la implementación de una fuente de alimentación mediante baterías recargables para garantizar la operación continua del sistema de monitoreo, simulado con el software Matlab®. El recorrido del prototipo móvil se ha perfeccionado mediante el entrenamiento de una red neuronal que modela la ruta de este equipo de manera virtual. Esta innovación asegura una navegación eficiente y adaptativa del prototipo, mejorando su capacidad para reconocer y reaccionar a distintas condiciones del entorno.

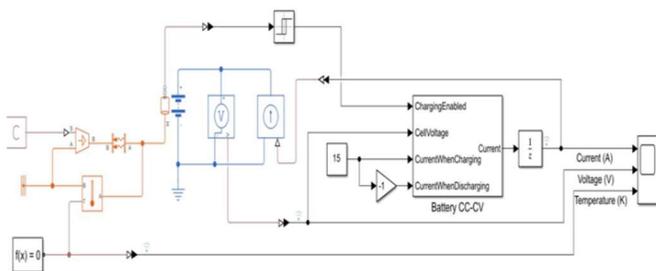


Fig. 2 Diagrama eléctrico de la batería del Robot.

La Fig. 2 ilustra el diagrama eléctrico de la batería del prototipo móvil, proporcionando detalles del esquema eléctrico desde la entrada de tensión hasta la distribución eléctrica y la salida de tensión dirigida a los componentes electrónicos principales, tales como sensores y motores DC. También se ilustra el uso de un algoritmo de corriente y voltaje constantes para el proceso de carga y descarga de la batería del prototipo. En este esquema, la tensión ingresa desde un extremo, mientras que en el otro extremo se encuentra el algoritmo (configuración del solucionador). La tensión pasa a través de la fuente de temperatura controlada, que a su vez alimenta al dispositivo de transferencia de calor por convección. En este punto, se conecta el sensor de temperatura, enlazado a su vez con la batería. En el siguiente bloque, se encuentra el sensor de voltaje y la fuente de corriente controlada, ambos enviando la información final.

Respecto al módulo de baterías CC-CV, representado en la Fig. 2, este administra el proceso de carga y descarga de la batería a lo largo de varias horas. Este módulo recibe parámetros como carga habilitada, voltaje de celda, corriente al cargar y corriente

al descargar. Es importante destacar que el estado de carga inicial (SOC) se establece en un valor de 0.3. Durante la carga, la corriente se mantiene constante hasta que la batería alcance su máxima tensión. Mientras tanto, en la fase de descarga, se utiliza una corriente constante que disminuye gradualmente hasta llegar a cero.

En ese contexto, en la Fig. 3 se muestra el comportamiento de la corriente de la batería como una función del tiempo. La línea continua roja representa la corriente de la batería durante el recorrido del prototipo móvil. Como se observa, para $t = 0$ horas, la corriente aumenta de forma constante hasta alcanzar el valor de $I = 15$ mA. Debido a las especificaciones del software, este comportamiento indicaría que la batería se carga completamente antes de realizar su movimiento. Para el intervalo de $t = < 0,0.81 >$ horas, note que la corriente se comporta de forma lineal, indicando que, en el primer periodo de movimiento del prototipo, la batería no se ha descargado. Para el intervalo de $t = < 0.81, 3.87 >$ horas, se observa que la corriente disminuye gradualmente desde $I = 15$ mA a $I = 0$ mA. Este patrón indica que la batería comienza a descargarse lentamente, alcanzando una descarga completa al final del

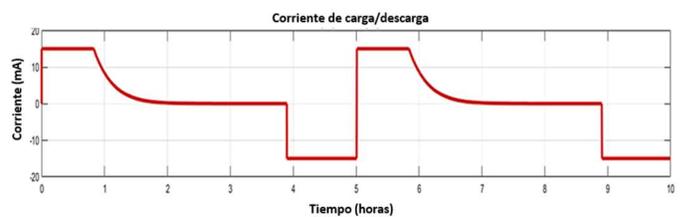


Fig. 3 Corriente de carga y descarga de la bacteria.

segundo intervalo de tiempo. Para el intervalo de $t = < 3.87, 5 >$ horas, se aprecia que la corriente disminuye aún más, llegando incluso a valores negativos. Sin embargo, según el software usado, este inusual comportamiento indicaría un tiempo muerto o un tiempo de cruce por cero de la batería. Finalmente, para valores posteriores a $t = 5$ horas, se nota un aumento drástico en la corriente, seguido por un patrón que posteriormente refleja el mismo comportamiento observado en el primer intervalo de tiempo. Este resultado es consistente con la elección de baterías modulares, lo que implica que cuando un módulo se descarga, el siguiente módulo entra automáticamente en funcionamiento.

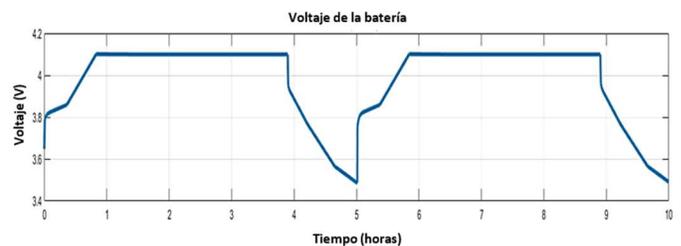


Fig. 4 Voltaje carga y descarga de la batería.

Asimismo, en la Fig. 4 se muestra el comportamiento de la tensión de la batería como una función del tiempo. La línea continua azul representa la tensión de la batería durante el recorrido del prototipo móvil. Como se observa, para $t = 0$ horas, la tensión aumenta constantemente hasta alcanzar un valor de $V = 3.8$ V. Durante los primeros $t = 0.834$ horas de movimiento, la tensión experimenta un aumento hasta alcanzar un valor de $V = 4.1$ v. Es importante mencionar que, en este periodo inicial de tiempo, el prototipo no realiza su recorrido. En el intervalo de $t = < 0.384, 3.87 >$ horas, la batería mantiene su tensión constante en $V = 4.1$ V, ya que se encuentra completamente cargada. Note que, en comparación con la Fig. 3, mientras la corriente disminuye, la tensión permanece constante. Este comportamiento se debe a que el prototipo se comporta como una resistencia; es decir, el resistor está ubicado continuamente en paralelo a la batería. Por lo tanto, la tensión en los terminales de la batería siempre será constante, ya que los módulos de la batería se están cambiando constantemente. Durante el intervalo de $t = < 3.87, 4.98 >$ horas, se observa que el comportamiento de la tensión decae linealmente. Este patrón es análogo al explicado en la Fig. 13, donde el tiempo de esta disminución se considera como un tiempo muerto o tiempo de cruce por cero. Finalmente, se observa que la tensión aumenta instantáneamente en intervalos posteriores a $t = 4.98$ horas, atribuible al cambio de módulo de batería. Este fenómeno es seguido por la reproducción del mismo comportamiento previamente mencionado.

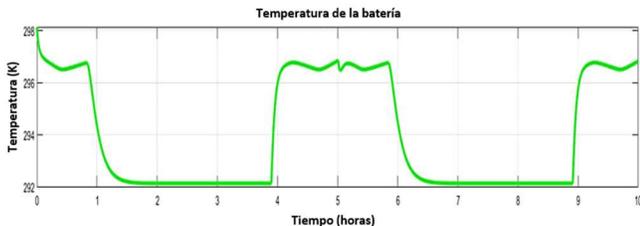


Fig. 5 Temperatura de la batería.

Además, en la Fig. 5 se muestra el comportamiento de la temperatura como una función del tiempo. La línea continua verde representa la temperatura de la batería durante el recorrido del prototipo móvil. Para $t = 0$ horas, la temperatura de la batería se mantiene constante en $T = 298$ °K, mientras el prototipo se encuentra en reposo. Al concluir el período de reposo, a $t = 0.82$ horas, la temperatura comienza a disminuir gradualmente hasta alcanzar $T = 296.77$ °K, lo cual sugiere la presencia de un consumo eléctrico significativo. En el intervalo de $t = < 0.82, 1.99 >$ horas, se observa que el comportamiento de la temperatura comienza a disminuir gradualmente, alcanzando finalmente $T = 292$ °K. En el intervalo de $t = < 1.99, 3.89 >$ horas, se observa que la temperatura se mantiene constante en $T = 292$ °K. En el intervalo de $t = < 3.89, 5 >$ horas, se observa que la temperatura aumenta súbitamente hasta ubicarse en un valor de aproximadamente $T = 296.77$ °K.

Comparando este comportamiento con lo discutido en la Fig. 3 y Fig. 4, se puede inducir que la batería se encuentra en tiempo de cruce por cero. Por último, para valores posteriores a $t=5$ horas, se observa que un patrón repetido en el comportamiento de la temperatura.

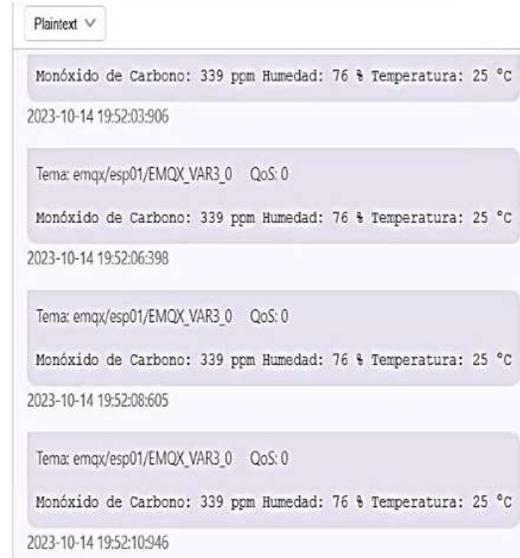


Fig. 6 Monitoreo en tiempo real con el servidor EMQX.

Por otro lado, en la Fig. 6 se muestra en tiempo real los valores de los parámetros ambientales, como el CO , la temperatura y la humedad relativa, obtenidos mediante el servidor EMQX. Estos valores representan mediciones en cuanto al tiempo de respuesta de los sensores, determinados mediante concentraciones de monóxido de carbono de 339 ppm, una humedad del 76 % y una temperatura de 25 °C. La medición del monóxido de carbono desempeña un papel de suma importancia en este proceso de monitoreo. La lectura obtenida se compara directamente con el sensor de referencia CMS, modelo QB10N-CO, asegurando así una medición precisa de este gas crítico. Es importante destacar que los sensores electrónicos tienen un tiempo de respuesta de diez segundos para actualizar cada uno de los tres valores relacionados con los parámetros ambientales. La disponibilidad de esta información en tiempo real proporciona una visión detallada y actualizada de las condiciones ambientales, facilitando una evaluación precisa y oportuna. Asimismo, la comparación con un sensor de referencia refuerza la confiabilidad de las mediciones, asegurando una monitorización efectiva y confiable de los niveles de monóxido de carbono, temperatura y humedad en el entorno.

diferentes puntos y posteriormente, llevamos a cabo una comparación matemática entre los valores precisos y los puntos que presentan similitud o precisión en las lecturas. Por otro lado, es importante destacar que el sensor patrón de la universidad mide en un rango que va desde 0 ppm hasta 300 ppm, según los datos técnicos del equipo.

TABLA I: Tendencias del monitoreo de los parámetros ambientales en un establecimiento lleno

ppm	T	HR	ppm/HR	ppm/T
316	28	77	4.10	11.29
396	28	72	5.50	14.14
289	27	66	4.38	10.70
285	27	63	4.52	10.56
281	26	60	4.68	10.81
314	28	76	4.13	11.21
292	27	69	4.23	10.81
286	27	65	4.40	10.59
282	26	61	4.62	10.85
278	26	57	4.88	10.69
313	28	76	4.12	11.18
297	27	68	4.37	11.00
292	27	65	4.49	10.81
289	26	61	4.74	11.12
282	28	80	3.53	10.07
Datos estadísticos				
	Desviación Estándar	Promedio	Max	Min
ppm	12125.73	299.47	396	278
T	8.93	27.07	28	26
HR	698.93	67.73	80	57

En la Tabla I se presenta un cuadro estadístico que resume los resultados de las 15 pruebas efectuadas con el móvil a diversas distancias, las cuales van desde 1 metro hasta 5 metros. Los promedios de los parámetros clave son notables: el CO alcanza 299.47 ppm, la temperatura se mantiene en 27.07 °C, y la humedad se sitúa en 67.73%. Además, se destacan los valores extremos de estos parámetros: para el CO, oscilan entre 396 ppm y 278 ppm; en cuanto a la temperatura, varían de 28 °C a 26 °C; y la humedad se desplaza en un rango de 80 % a 57 %.

Es relevante subrayar que estos resultados revisten gran importancia, ya que permitirán validar la precisión de las mediciones en comparación con el sensor patrón de CO.

En la Fig. 7 se exhibe un cuadro estadístico que representa la tendencia en las mediciones de los valores en partes por millón (ppm), temperatura en grados Celsius y humedad relativa. Note que esta operación es variable con respecto a la distancia del monitoreo, presentando distintas curvas en el tiempo. En este sentido, la curva correspondiente a la humedad relativa indica variabilidad entre las mediciones de CO, mientras que la curva de temperatura permanece constante. Por ejemplo, la escala de medición del gas monóxido arroja lecturas que fluctúan entre 278 ppm y 396 ppm, lo cual nos posibilita evaluar la diferencia entre el valor inicial y el final. Para llevar a cabo esta evaluación, en primer lugar, consideramos la distancia y la ubicación de nuestro prototipo móvil al realizar las mediciones. A continuación, realizamos una resta con los datos obtenidos en

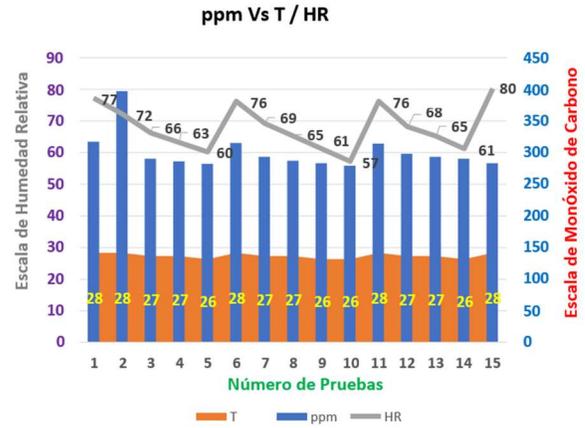


Fig. 7 Monitoreo de los parámetros del robot móvil en un establecimiento lleno.

TABLA II: Tendencias del monitoreo de los parámetros ambientales en un establecimiento semilleno.

ppm	T	HR	ppm/HR	ppm/T
413	29	84	4.92	14.24
414	29	89	4.65	14.28
423	27	70	6.04	15.67
421	27	72	5.85	15.59
421	27	71	5.93	15.59
412	29	88	4.68	14.21
410	29	90	4.56	14.14
420	27	70	6.00	15.56
419	27	72	5.82	15.52
416	27	74	5.62	15.41
356	29	90	3.96	12.28
384	29	86	4.47	13.24
408	28	70	5.83	14.57
406	28	77	5.27	14.50
404	27	73	5.53	14.96
Estadísticos				
	Desviación Estándar	Promedio	Max	Min
ppm	4269.73	408.47	423	356
T	12.93	27.93	29	27
HR	961.60	78.40	90	70

En la Tabla II se presenta un cuadro estadístico que resume las mediciones obtenidas a través del prototipo móvil. Los promedios de los parámetros son los siguientes: el CO registra 408.47 ppm, la temperatura alcanza los 27.93 °C y la humedad se sitúa en 78.40%. Además, el rango máximo y mínimo de estos valores se encuentra en: CO entre 423 ppm y 356 ppm, temperatura entre 29 °C y 27 °C, y humedad entre 90% y 70%. Estos indicadores corresponden a las pruebas realizadas, proporcionando una visión integral de las condiciones evaluadas.

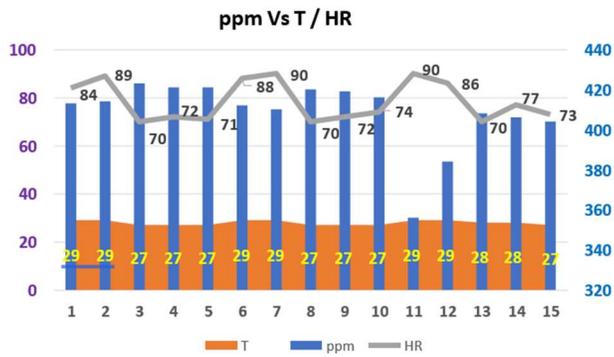


Fig. 8 Monitoreo del monitoreo de los parámetros del robot móvil en un establecimiento semilleno.

En la Figura 9 se muestra la tendencia en las mediciones de los valores en partes por millón (PPM), temperatura en grados Celsius y humedad relativa, como se detalla en la imagen. Esta representación visual permite observar la variabilidad de estas mediciones en función de la distancia de sensado, evidenciando distintas curvas a lo largo del tiempo. En este contexto, la curva correspondiente a la humedad relativa señala variaciones en las mediciones de CO, mientras que la curva de temperatura se mantiene constante. En la Tabla III se muestra un cuadro estadístico que representa las mediciones recopiladas por el prototipo móvil. Los promedios de los parámetros son los siguientes: el CO registra 394.80 ppm, la temperatura se sitúa en 27.33 °C y la humedad alcanza el 74.27%. Además, el rango máximo y mínimo de estos valores se encuentra en: CO entre 398 ppm y 392 ppm, temperatura entre 28 °C y 26 °C, y humedad entre 80% y 68%. Estos indicadores se basan en las pruebas realizadas, proporcionando una visión completa de las condiciones evaluadas.

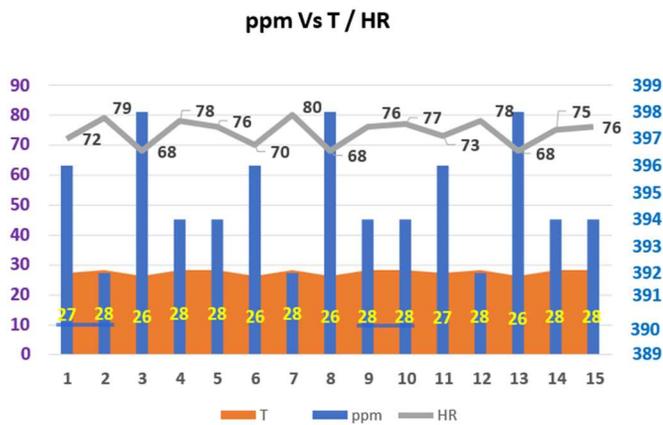


Fig. 9 Monitoreo del monitoreo de los parámetros del robot móvil en un establecimiento vacío.

TABLA III: Tendencias del monitoreo de los parámetros ambientales en un establecimiento vacío.

ppm	T	HR	ppm/HR	ppm/T
396	27	72	5.50	14.67
392	28	79	4.96	14.00
398	26	68	5.85	15.31
394	28	78	5.05	14.07
394	28	76	5.18	14.07
396	26	70	5.66	15.23
392	28	80	4.90	14.00
398	26	68	5.85	15.31
394	28	76	5.18	14.07
394	28	77	5.12	14.07
396	27	73	5.42	14.67
392	28	78	5.03	14.00
398	26	68	5.85	15.31
394	28	75	5.25	14.07
394	28	76	5.18	14.07
Estadísticos				
	Desviación Estándar	Promedio	Max	Min
ppm	62.40	394.80	398	392
Temp	11.33	27.33	28	26
HR	242.93	74.27	80	68

En la Fig. 9 se muestra la tendencia en las mediciones de los valores en partes por millón (PPM), temperatura en grados Celsius y humedad relativa. Esta operación varía en función de la distancia de sensado, generando diversas curvas en el tiempo. Por consiguiente, la curva de la humedad relativa indica variabilidad en las mediciones de monóxido de carbono, mientras que la curva de temperatura se mantiene constante.

TABLA IV: Datos estadísticos.

Monóxido de carbono (ppm)	Datos	Temperatura	Datos	Humedad Relativa	Datos
Media	367.578	Media	27.444	Media	73.467
Error típico	7.857	Error típico	0.141	Error típico	1.183
Mediana	394.000	Mediana	27.000	Mediana	73.000
Moda	394.000	Moda	28.000	Moda	76.000
Desviación estándar	52.708	Desviación estándar	0.943	Desviación estándar	7.936
Varianza de la muestra	2,778.159	Varianza de la muestra	0.889	Varianza de la muestra	62.982
Curtosis	- 1.235	Curtosis	- 0.840	Curtosis	- 0.063
Coefficiente de asimetría	- 0.753	Coefficiente de asimetría	- 0.003	Coefficiente de asimetría	0.268
Rango	145.000	Rango	3.000	Rango	33.000
Mínimo	278.000	Mínimo	26.000	Mínimo	57.000
Máximo	423.000	Máximo	29.000	Máximo	90.000
Suma	16,541.000	Suma	1,235.000	Suma	3,306.000
Cuenta	45.000	Cuenta	45.000	Cuenta	45.000

En la Tabla IV se muestra una tabla con los datos estadísticos de todos los parámetros medidos. En dicha tabla, se pueden observar valores como la varianza, la mediana, el error típico, la media, la desviación estándar, entre otros. Es relevante señalar que también se incluye un dato significativo denominado curtosis, cuyo valor en el cuadro es de -1.1185. Este valor indica que la mayoría de los datos tienden a distribuirse desde la media hacia la izquierda (hacia menos

infinito).

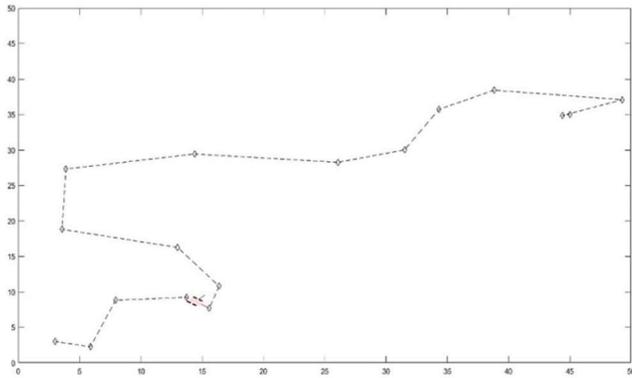


Fig. 10 Ruta definida para el movimiento del robot móvil en el software Matlab®.

En la Fig. 10 se presenta un gráfico que ilustra la ruta definida y el modelo de movimiento del prototipo, utilizando un controlador de seguimiento de rutas para guiar al prototipo a lo largo de su trayectoria. En este contexto, se ha desarrollado el controlador de seguimiento de rutas mediante el comando Pure Pursuit de Matlab®. Al iniciar la simulación, el prototipo móvil comienza a desplazarse basándose en la ubicación inicial y final. En otras palabras, su movimiento se ajusta a la posición actual y a la posición objetivo-establecida en la ruta. La gráfica, por lo tanto, representa las diversas posiciones que el prototipo adopta durante la trayectoria, haciendo referencia al eje x y al eje y dentro de una escala de (50, 50).

los puntos y la línea roja indican la trayectoria por la cual se moverá el robot. Así pues, en la Figura 11 se observa que existen diferentes caminos trazados que conectan el punto de inicio con el final y viceversa (línea continua azul). A pesar de esto, se observa que el prototipo elegirá la trayectoria (línea continua roja). En este contexto, el software Matlab® genera tanto la ruta como las rutas posibles. Concretamente, se emplea el controlador de seguimiento de trayectorias (Pure Pursuit) para guiar un prototipo simulado a lo largo de un camino predefinido. Es importante resaltar que la trayectoria deseada se compone de un conjunto de waypoints definidos explícitamente o calculados mediante un planificador de rutas. En consecuencia, se desarrolla el controlador de seguimiento de rutas Pure Pursuit específicamente para un prototipo de tracción diferencial, el cual calcula los comandos de control necesarios para seguir una ruta determinada.

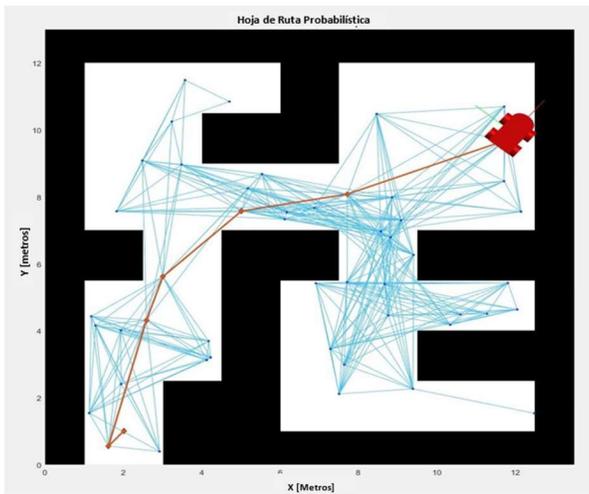


Fig. 11 Modelamiento del recorrido del robot en el software Matlab®.

La Fig. 11 muestra el mapa referencial de las rutas en el interior de un espacio con espacios confinados, ilustrando técnica y visualmente el control del prototipo para que siga la ruta deseada mediante un simulador. En este caso, los puntos y líneas azules representan las trayectorias posibles, mientras que

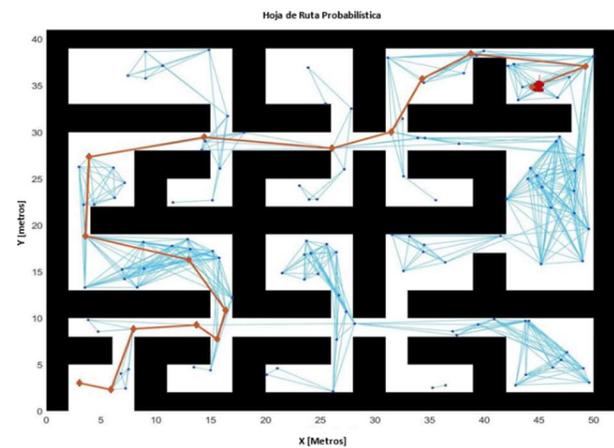


Fig. 12 Trayecto inicial del recorrido del robot en el software Matlab®.

En la Fig. 12 se presenta el trayecto inicial del recorrido realizado por el prototipo móvil en su movimiento. Después de trazar todas las posibles rutas tanto de ida como de retorno dentro del lugar de trabajo, en este punto se identifica la nueva ruta de retorno hacia el punto inicial, resaltada por la línea de color rojo. El controlador de seguimiento de rutas emite señales de control que el prototipo utiliza para navegar automáticamente a lo largo de la ruta deseada. Se establece un radio objetivo que representa la distancia deseada entre la posición final del prototipo y su destino. El prototipo se detiene cuando se encuentra a esta distancia del destino. Además, realiza un cálculo constante de la distancia real entre su posición y el destino, comparándola con el radio objetivo. El movimiento del prototipo concluye una vez que la distancia es menor que el radio objetivo.

IV. CONCLUSIONES

El prototipo demostró resultados prometedores en la medición y concentración de monóxido de carbono (CO), permitiendo la

evaluación de su conformidad con los límites para actividades en espacios confinados que incluyen áreas compartidas o forman parte de estacionamientos u otros lugares propensos a la generación natural de este gas tóxico. Además, la capacidad del prototipo para realizar desplazamientos controlados y aprender caminos mediante machine learning abre nuevas posibilidades para futuras investigaciones. En términos de mediciones en tiempo real, el prototipo facilita la evaluación de humedad relativa, temperatura y monóxido de carbono a través de los sensores DHT-11 y MQ-7, visualizándolos en la pantalla LCD y monitorizándolos en tiempo real mediante el servidor EMQX. El sensor DHT-11, con resolución de +/- 1 °C, proporciona datos precisos sobre la humedad relativa y la temperatura ambiente.

Respecto al análisis estadístico, este reveló que el valor 394 destaca como moda, indicando que las variables *CO*, humedad relativa o temperatura tienden a tener un pico alrededor de este valor. La curtosis muestra distribuciones relativamente planas con colas más ligeras, sugiriendo una presencia reducida de valores extremos. Además, se encontraron correlaciones entre las mediciones de *CO*, temperatura y humedad relativa. La variabilidad de los datos, representada por las variaciones de varianza, revela una considerable dispersión (2,778.159), baja variabilidad (0.889) y variabilidad moderada (62.982). Estos resultados ofrecen una clara perspectiva de cómo los datos se distribuyen alrededor de la media, con casos de alta, baja y moderada dispersión.

La comparación entre las mediciones de concentración de *CO*, temperatura y humedad relativa con medidores estándar, realizadas en distintos sectores del estacionamiento de la Universidad Tecnológica del Perú (UTP), arrojó los siguientes resultados: En un estacionamiento lleno, el rango de *CO* fue de 396 ppm a 278 ppm, con un promedio de 299.47 ppm, medido a temperaturas entre 26 °C y 28 °C. En un estacionamiento semilleno, el rango fue de 423 ppm a 356 ppm, con un promedio de 408.47 ppm, medido a temperaturas entre 27 °C y 29 °C. En un estacionamiento vacío, el rango fue de 398 ppm a 392 ppm, con un promedio de 394.80 ppm, medido a temperaturas entre 26 °C y 28 °C.

Como recomendaciones finales para asegurar el rendimiento del equipo, se sugiere esperar aproximadamente 2 minutos después de encenderlo para permitir que el sensor MQ-7 se estabilice. Es importante evitar la exposición directa a flujos de aire y soplos, ya que esto podría dañar el sensor y afectar las lecturas. Para garantizar la eficacia del servidor EMQX, se recomienda utilizar un módem o red con las mismas credenciales configuradas en la aplicación inicial. Durante la realización de mediciones ambientales, se aconseja evitar ubicarse cerca de extractores para obtener una mayor precisión en parámetros como la temperatura y el gas *CO*. Asimismo, se recomienda configurar el módulo Wifi y el servidor EMQX en el mismo entorno de red para una monitorización en línea

fluida, para esto se emplearon protocolos de comunicación: TCP/IP, MQTT.

Se trabajó con Arduino Nano en base: Versatilidad: A pesar de su tamaño reducido, el Arduino Nano conserva muchas de las características y funcionalidades de otros modelos de Arduino, lo que lo hace adecuado para una amplia gama de aplicaciones y Facilidad de uso: El Arduino Nano es fácil de programar y configurar, lo que lo hace ideal para proyectos en los que se requiere una curva de aprendizaje corta o donde se necesita una solución rápida y sencilla.

REFERENCIAS

- [1] O. Oyekola, A. Shoeb "Modular Climbing Robot Design with Automated Vision-Based Defect Classification," *Journal of Applied Engineering Science*, vol.1048, pp. 36-44, 2023.
- [2] J. Xin, Y. Qu, F. Zhang and R. Negenborn, "Distributed Model Predictive Contouring Control for Real-Time Multi-Robot Motion Planning," *Complex System Modeling and Simulation*, vol. 2, no. 4, pp. 273-287, 2022.
- [3] J. Martínez, R. Castro and R. Palomares, "Mechatronics Development of Terrestrial Mobile Robot for Exploring and Monitoring Environmental Parameters at Mine Analogue Sites using IoT Platform," *Regina Perú IEEE Xplore*, Vol.10, pp.1109, 2020.
- [4] K. Kodali and B. Sarjerao "Monitoreo de la calidad del aire basado en MQTT", Conferencia de Tecnología Humanitaria de la Región 2017 del IEEE de 10 (R10-HTC), Dhaka, Bangladesh, pp. 742-745, diciembre 2017.
- [5] I. Qadri, A. Munneer and S. Mohamed "Automatic robotic scanning and inspection mechanism for mines," *PIO Conference Serie: Materials Science and Engineering*, Vol.10, pp. 1088-1757, 2020.
- [6] H. Simpson, *Dumb Prototipos*, 3rd ed., Springfield: UOS Press, pp.6-9, 2004.
- [7] R. Sonny and M. Alimuddin "Temperature and Humidity Moisture Monitoring SYSTEM with Arduino R3 and DHT 11". *Electro Luceat*, Vol. 5, pp. 40-47, 2019.
- [8] M. Kim and Y. Choi "Applications of the open-source hardware arduino platform in the mining industry" *applied sciences*, pp.10,2020.
- [9] Manuscript Templates for Conference Proceedings, IEEE. http://www.ieee.org/conferences_events/conferences/publishing/template.html
- [10] M. King, B. Zhu, and S. Tang, "Optimal path planning," *Mobile Prototipos*, vol. 8, no. 2, pp. 520-531, March 2001.
- [11] M. King and B. Zhu, "Gaming strategies," in *Path Planning to the West*, vol. II, S. Tang and M. King, Eds. Xian: Jiaoda Press, 1998, pp. 158-176.
- [12] B. Simpson, et al, "Title of paper goes here if known," unpublished.
- [13] J.-G. Lu, "Title of paper with only the first word capitalized," *J. Name Stand. Abbrev.*, in press.
- [14] Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, "Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interface," *IEEE Translated J. Magn. Japan*, vol. 2, pp. 740-741, August 1987 [*Digest 9th Annual Conf. Magnetics Japan*, p. 301, 1982].
- [15] M. Young, *The Technical Writer's Handbook*, Mill Valley, CA: University Science, 1989.
- [16] S. Siswanto, M. Anif, D. N. Hayati y Y. Yuhefizar, "Pengamanan Pintu Ruang Menggunakan Arduino Mega 2560, MQ-2, DHT-11 Berbasis Android", *J. RESTI (Rekayasa Sist. Teknol. Inf.)*, vol. 3, no. 1, pp. 66 - 72, abril de 2019.
- [17] N. Pugazhenth, K. Vinulakshmi, V. Preneeth and K. Shrivani, "Design and Fabrication of Robot for Surveillance using Arduino," *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, Vol.8, pp. 3691-3693, Agosto de 2019.
- [18] M. Sivachitra, J. J. D. Kumar, R. Gokul, S. Harshini y G. Nithish, "Wi-Fi Controlled Multi-sensor Robotic Car", 2022 Segunda Conferencia Internacional sobre Inteligencia Artificial y Energía Inteligente (ICAIS), Coimbatore, pp. 1541-1546, Febrero de 2022.

- [19] R. Sonny & M. Alimuddin. (2019). "Temperature and Humidity Moisture Monitoring SYSTEM with Arduino R3 and DHT 11". *Electro Luceat*, Vol. 5, pp. 40-47, November 2019.