

VEHÍCULO TELE OPERADO PARA LA MEDICIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES

Abel Hernández Eskenazi¹, Josué Daniel Herrera Martínez², Raydel García Mesa³

^{1,2} Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Hecheverría”, CUJAE, Ave 114 #11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba

³ Centro de Investigaciones en Microelectrónica, Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Hecheverría”, CIME, CUJAE, Antigua carretera de Vento, Km8 ½, Capdevila, Boyeros, La Habana, Cuba.

¹e-mail: ahernandeze@tele.cujae.edu.cu

²e-mail: jherreram@tele.cujae.edu.cu

³e-mail: raydel.gm@cime.cujae.edu.cu

RESUMEN

El diseño y construcción de vehículos tele operados constituyen una tendencia actual en el desarrollo de las telecomunicaciones y la electrónica. Una de sus principales aplicaciones consiste en la adquisición de datos del entorno para su posterior estudio o su análisis en tiempo real. Este documento tiene como objetivo exponer los resultados de la construcción de un vehículo tele operado por una comunicación inalámbrica Bluetooth, mediante una aplicación Android en un teléfono inteligente, para el monitoreo de variables ambientales en lugares remotos o de difícil acceso para el hombre. Además, se realizó la instalación de una cámara que mediante una conexión por Wi-Fi (Wireless Fidelity) con otro teléfono inteligente o una tableta, permite presenciar imágenes en Alta Definición captadas desde el vehículo. Se realiza un análisis del estado del arte de los vehículos tele operados en la actualidad, las características técnicas del dispositivo creado, las ventajas y limitaciones que posee el mismo, así como las posibles aplicaciones que puede tener el proyecto en la actualidad y en el futuro.

PALABRAS CLAVES: vehículo tele operado, monitoreo de variables, Arduino.

TELE OPERATED VEHICLE FOR THE MEASUREMENT OF ENVIRONMENTAL VARIABLES

ABSTRACT

The design and construction of teleoperated vehicles constitute a current tendency in the development of the telecommunications and the electronic. One of its main applications consists in the acquisition of data from the environment for its later study or its analysis in real time. This document has as objective to expose the results of the construction of a teleoperated vehicle by a Bluetooth wireless communication, through an Android application in a smartphone, for the monitoring of environmental variables in remote places or of difficult access for the human beings. Moreover, carried out the installation of a camera which by means of a connection by Wi-Fi (Wireless Fidelity) with other smartphone or tablet, permits to witness images on High Definition from the vehicle. It carries out an analysis of the state of the art of the teleoperated vehicles at present, the technical specifications of the created device, the advantages and the limitations that possesses the prototype and the possible applications that the project can have at present and in the future.

KEY WORDS: tele operated vehicle, monitoring of variables, Arduino.

VEHÍCULO TELE OPERADO PARA LA MEDICIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES

1. INTRODUCCIÓN

Los vehículos tele operados son dispositivos móviles controlados por un usuario desde una distancia segura [1], que ejecutan tareas imposibles o que supongan riesgos, esfuerzos o costos elevados para el hombre. Actualmente se han desarrollado un gran número de prototipos de vehículos tele operados, principalmente en universidades alrededor del mundo, para profundizar conocimientos y generar creatividad [1], [2], [3], [4], [8], [14]. Gran parte del éxito en las tareas que realiza el vehículo se debe al diseño óptimo de un sistema remoto, esquematizado en la Fig. 1, el cual permite controlar el dispositivo que requiere un operador humano a distancia. Esto implica la disponibilidad de una interfaz hombre-máquina [2].

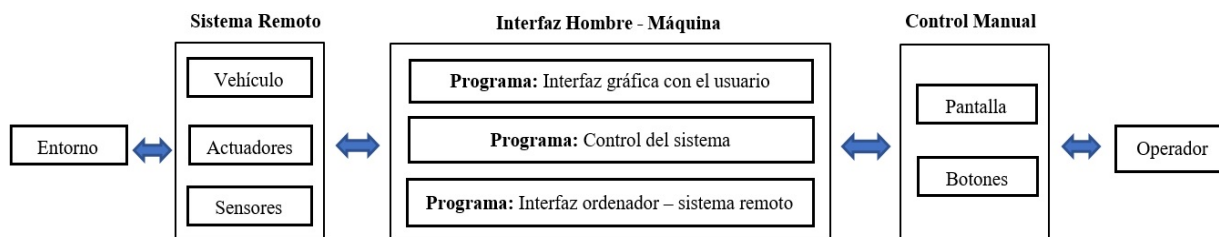


Figura 1: Sistema remoto.

Con la realización de este proyecto se busca construir un vehículo que cumpla con los siguientes requisitos funcionales:

- Tele operación desde un teléfono inteligente.
- Fácil maniobrabilidad para la evasión de obstáculos.
- Transmisión de imágenes inalámbricamente al operador para facilitar el manejo remoto.
- Monitoreo de variables ambientales a partir del uso de sensores de bajo costo.
- Procesamiento a partir de una plataforma de hardware y software libre.

Se emplearon como métodos investigativos la búsqueda bibliográfica, para conocer el estado del arte del tema y estudiar las tecnologías empleadas; así como el método empírico, para realizar la construcción y el trabajo experimental con el prototipo.

A partir de un trabajo de mesa previo al desarrollo del proyecto, los autores concluyeron llevarlo a cabo en las siguientes etapas:

1. Selección de una tarjeta electrónica que controle todo el dispositivo, el puente H (circuito que permita controlar los motores), el módulo de comunicación para conectar al operador con el dispositivo, la alimentación y una aplicación provisional libre de costos para el control del vehículo.
2. Integración de todos los elementos anteriores y la creación de un programa básico que permita mínimamente el control del vehículo mediante la aplicación provisional.
3. Selección del sensor para las mediciones a realizar, la cámara a emplear y la aplicación libre de costo mediante la cual se van a realizar la recepción de las imágenes captadas.
4. Instalación del sensor, la cámara y un circuito de iluminación para momentos de poca visibilidad.
5. Creación de una aplicación que permita el monitoreo de los datos del sensor y del control del vehículo, así como la modificación del programa cargado para integrar todos los elementos instalados.

6. Realización de pruebas y mediciones.

A continuación se presentarán las secciones Estado del Arte, donde se analizan prototipos y proyectos nacionales e internacionales que sirven de referencia para el dispositivo desarrollado por los autores; Descripción Técnica, donde se expone las tecnologías implementadas en el vehículo; Ventajas y Limitaciones del Proyecto, donde se realiza un balance de los beneficios y las desventajas tecnológicas de las implementaciones realizadas; Aplicaciones Prácticas en la Actualidad, en la cual se analizan empleos prácticos del vehículo a partir de sus características actuales; Aplicaciones Prácticas en el Futuro, en la cual se analizan empleos futuros a partir de mejoras del prototipo y por último Conclusiones, donde se resumen los resultados obtenidos.

2. ESTADO DEL ARTE

Existen varios ejemplos de vehículos tele operados en el mundo empleados para las más variadas labores. Uno de ellos fue el USMC (US Marine Corp), mostrado en la Fig. 2, desarrollado por la compañía Spawar Systems Center (SSC) de San Diego como parte del programa Ground Air TeleRobotic Systems (GATERS) bajo la dirección de la Unmanned Ground Vehicle Joint Program Office (UGV/JPO). Compuesto principalmente de tres módulos: movilidad, vigilancia y armas, provisto de cámaras de video y micrófonos para lograr telepresencia [3].

Otro vehículo se muestra en la Fig. 3, el Sojourner Rover, que es un pequeño vehículo robotizado de seis ruedas, construido por el Jet Propulsion Laboratory de la NASA (National Aeronautics and Space Administration), diseñado para ser enviado a Marte dentro del Pathfinder, con capacidad de transmitir imágenes y realizar experimentos en el suelo de Marte. El sistema de alimentación del "Rover" está compuesto de un arreglo de paneles solares, baterías y una electrónica de potencia para su adecuado manejo y distribución, cuenta con la capacidad de moverse en terrenos difíciles y rocosos, debido a que posee seis ruedas dotadas de 3 grados de libertad que le permiten adaptarse a terrenos difíciles [3].



Figura 2: Vehículo tele operado USMC.



Figura 3: Robot Sojourner Rover.

En tiempos más recientes se ha logrado presenciar el desarrollo de vehículos tele operados en América Latina por parte de universidades, empresas e investigadores individuales. Uno de estos ejemplares es el prototipo de vehículo para la captura y almacenamiento de variables atmosféricas, desarrollado por el Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Automatización y Control GISEAC de las Unidades Tecnológicas de Santander, Colombia, que se muestra en la Fig. 4. Este prototipo está equipado con sensores de temperatura y humedad, presión atmosférica y concentración de monóxido de carbono, con el objetivo de realizar mediciones y almacenarlas en una memoria micro SD para su posterior análisis [1]. Otro ejemplo en Latinoamérica se muestra en la Fig. 5, el robot explorador con Arduino para los miembros del cuerpo de bomberos de Montería – Córdoba, desarrollado por la Universidad de Córdoba en Colombia. Este vehículo explorador es controlado por Wi-Fi y transmite vídeo a través de la misma red. Puede ser

VEHÍCULO TELE OPERADO PARA LA MEDICIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES

controlado a través de un ordenador y les permite a los miembros del cuerpo de bomberos de la ciudad de Montería – Córdoba, explorar zonas de alto peligro, antes de hacer un acercamiento a dicha área [4].

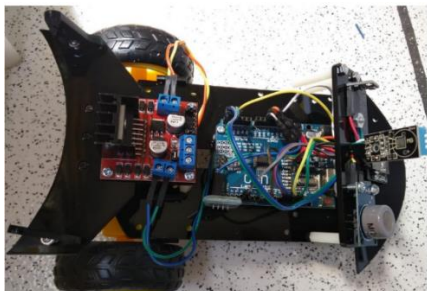


Figura 4: Prototipo del GISEAC.



Figura 5: Dibujo del robot explorador de la Universidad de Córdoba.

En Cuba existen varios trabajos relacionados con robots móviles pero orientados más que a la tele operación a la implementación de autonomía e inteligencia artificial en los vehículos. Uno de estos es la descripción del modelo cinemático y dinámico de un mini robot móvil construido por el Instituto de Cibernética Matemática y Física (ICIMAF), donde se analizan y plantean las ecuaciones que restringen el movimiento del robot por una superficie plana horizontal [5]. Otro proyecto relacionado es el estudio realizado, por Maikel Orlando Torres Piñeiro y Valery Moreno Vega, de un método de generación de caminos para robots móviles mediante curvas clotoideas [6], que en general logra tres cosas fundamentalmente: obtener un camino suave y cinemáticamente admisible, generar dicho camino lo más cercano posible al planificado previamente y reducir el tiempo de cómputo del algoritmo de generación [6].

A partir del estudio de los prototipos mencionados anteriormente se concluye que los vehículos tele operados se conforman por bloques funcionales, los cuales se relacionan para cumplir una determinada tarea:

- Sistema de locomoción: Integración de componentes mecánicos encargados del movimiento (ruedas, esteras).
- Procesador: Componente del hardware programable que ejecuta las instrucciones dadas al vehículo.
- Sistema de comunicación: Componente que permite la comunicación operador – vehículo.
- Alimentación: Suministro energético del sistema.
- Sensores: Componentes que captan magnitudes físicas del medio.
- Sistema electromecánico: Integración de componentes encargados de convertir la energía eléctrica en mecánica (motores y puente H).
- Control manual: Interfaz que permite el envío de instrucciones al vehículo.

Atendiendo a los requerimientos mínimos del proyecto, las características de los vehículos estudiados y la disponibilidad de componentes, se determinó que el prototipo del GISEAC, de la Fig. 4, es el mejor referente para la construcción del dispositivo deseado. Dicho prototipo satisface requerimientos como la tele operación desde un teléfono inteligente, empleo de sensores de bajo costo y procesamiento a partir de una plataforma de hardware y software libre. Sin embargo, requiere modificaciones y mejoras tecnológicas como la instalación de una cámara para la transmisión de imágenes, sustitución de la tecnología empleada para el sistema de locomoción por otra disponible para los autores y el desarrollo de una aplicación de control y monitoreo.

3. DESCRIPCIÓN TÉCNICA

A continuación, se abordarán las especificaciones técnicas de los componentes del vehículo construido, los cuales fueron seleccionados partiendo principalmente de que puedan cumplir con los requerimientos funcionales del proyecto y de la disponibilidad de los mismos.

Sistema de locomoción

El sistema de locomoción está basado en la reutilización de la estructura mecánica de un carro de juguete por control remoto en desuso. El mismo consiste en cuatro ruedas puestas en movimiento por un sistema de tracción total (4x4) conformado por la distribución de un motor para cada rueda. El criterio de selección tenido en cuenta radica en que el empleo de esta distribución de motores posibilita un control independiente sobre el sentido de movimiento de cada rueda, que a su vez permite una mayor maniobrabilidad del vehículo durante la evasión de obstáculos, requisito fundamental del proyecto. Esto representa una ventaja sobre el empleo de otros sistemas como los de tracción trasera o delantera, los cuales no permiten dicho control independiente debido a la distribución de dos motores solo en las ruedas traseras o en las delanteras. Por otra parte, una desventaja del sistema empleado respecto a los otros mencionados, es el consumo energético causado por el uso de un mayor número de motores; sin embargo, esto no representa problemas significativos para la autonomía energética del vehículo construido.

Para realizar los giros se tuvo que seleccionar entre dos mecanismos teniendo en cuenta las características y las aplicaciones del proyecto: el giro en configuración Ackerman de la Fig. 6.1 o el giro en configuración diferencial de la Fig. 6.2. El Ackerman consiste en girar mientras se avanza a partir del control de un eje vertical en las ruedas delanteras. Esta configuración requiere abarcar un diámetro de giro mayor que las dimensiones del vehículo [11]. Por otra parte, el mecanismo diferencial consiste en la realización de giros de hasta 360 grados sin tener que avanzar o variar la posición relativa del vehículo a partir del cambio del sentido de giro de las ruedas de un lado respecto al otro. Esta configuración demanda un radio de giro mucho menor [11]. Se decidió implementar el giro en configuración diferencial, incluso teniendo cuatro ruedas, porque este mecanismo puede resultar muy útil mientras el vehículo transita por lugares estrechos que requieran giros en el lugar, sin poder realizar desplazamientos. Se pudiera señalar que la desventaja que presenta el mecanismo seleccionado, respecto al Ackerman, es que para su óptimo funcionamiento se requiere vencer la fricción que existe entre la superficie transitada y las ruedas, lo que puede requerir mayor energía y conlleva a un desgaste más rápido de las gomas a largo plazo. A pesar de esto, las pruebas realizadas sobre el control del vehículo, especialmente en la evasión de obstáculos en espacios reducidos, demuestran que esta configuración es la óptima para el proyecto.



Figura 6.1: Giro en configuración Ackerman.

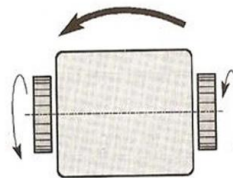


Figura 6.2: Giro en configuración diferencial.

Tarjeta electrónica

La tarjeta electrónica seleccionada como procesador es un Arduino UNO, tal y como se muestra en la Fig. 7, cuyas especificaciones técnicas aparecen en la Tabla 1 [7]. Su selección se basa principalmente en la disponibilidad que se tenía de un ejemplar. Esta tarjeta es una plataforma de hardware y software libre basada en un microcontrolador Atmega328 y un entorno de desarrollo con lenguaje de programación de alto nivel; posee espacio en memoria suficiente para el programa desarrollado (se ocupó el 14% del espacio de almacenamiento de programas y el 7% de la memoria dinámica) y además cuenta con un número de pines suficientes para las conexiones de entradas y salidas que se necesitan [7]. Es diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios y existe mucha información bibliográfica para su uso [7]. Una desventaja de su empleo son sus dimensiones (68,6 mm x 53,4 mm)



Figura 8: Módulo Bluetooth HC-05.

Motores, módulo puente H y batería

El sistema electromecánico del vehículo está conformado por cuatro motores DC de 12V y 300 mA de consumo, también reciclados del juguete por control remoto, y un módulo que contiene cuatro puentes H distribuidos uno para cada motor. Un puente H es un circuito que permite el control de los motores con la potencia que requieren utilizando estímulos de una potencia menor. A partir de la bibliografía estudiada se concluyó que el módulo puente H más empleado es el driver L298N debido a que permite controlar dos motores DC y la velocidad de giro de los mismos por PWM (Pulse-Width Modulation) [2], [3], [8]. Sin embargo, el L298N no se encontraba a disposición de los autores; por ello, el módulo puente H empleado es un circuito impreso en el Centro de Investigaciones en Microelectrónica (CIME) basado esencialmente en el uso de dos transistores y dos relés por cada motor a controlar como se aprecia en el diagrama de la Fig. 9 [16]. Este diseño presenta como desventaja respecto al L298N la imposibilidad de controlar la velocidad de giro; por otra parte, tiene como ventajas el control de cuatro motores desde un mismo circuito y un mejor aprovechamiento de la tensión otorgada por la batería (el L298N presenta caídas internas de tensión de más de 1V debido a transistores de conmutación que no están presentes en el módulo implementado en el proyecto [8]). La alimentación de los motores se realiza desde la batería que energiza al vehículo y los estímulos se realizan con los pines digitales del Arduino UNO.

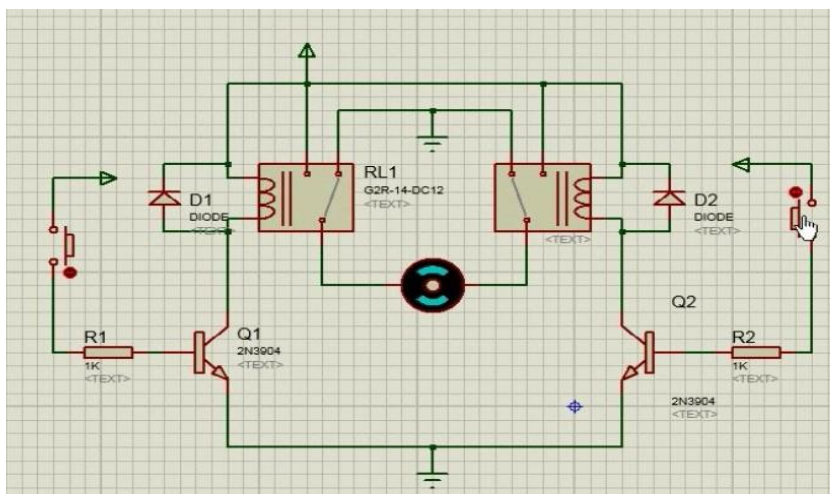


Figura 9: Diagrama del puente H que controla un motor [16].

VEHÍCULO TELE OPERADO PARA LA MEDICIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES

Para la batería del vehículo se usaron un total de 9 celdas de iones de litio: 3 bloques en serie formado cada uno por 3 celdas en paralelo. De esta manera la batería brinda una alimentación de 11,1V y 6,6 Ah, comparable con los valores admisibles para el Arduino UNO de la Tabla 1 y suficiente para alimentar a los motores DC. En la práctica la capacidad de la batería empleada es inferior al valor teórico debido a que la mayoría de las celdas son recicladas, impedimento para que el desempeño del vehículo sea lo eficiente que pudiera llegar a ser con celdas nuevas. La batería actual ha sido suficiente para las pruebas reales que se han realizado con el proyecto y le otorga una autonomía al vehículo entre 40 y 45 min de movimiento; sin embargo, de emplear una batería nueva con la capacidad teórica se alcanzaría una autonomía mayor a las 2 horas.

Sensor e iluminación

Para el monitoreo de las variables ambientales se mantuvo como criterio de selección de sensores el bajo costo y la fácil adquisición para los autores. Por ello se analizó la posibilidad de implementar sensores como los MQ para concentraciones de gases, los DHT para temperatura y humedad relativa y los BMP para presión atmosférica [1], [13]. Finalmente, la implementación que se llevó a cabo fue el sensor digital de temperatura y humedad relativa DHT11, mostrado en la Fig. 10, debido a que era el único sensor a disposición de los autores. Con dicho sensor se pueden realizar mediciones en tiempo real desde la zona donde se encuentra el vehículo. El sensor DHT11 trabaja en un rango de mediciones entre 0 y 50 °C de temperatura y entre 20 y 90 % de humedad relativa; su precisión es ± 2 °C de temperatura y ± 5 % de humedad relativa [13], valores suficientes para los objetivos del proyecto. Con estas magnitudes se puede calcular el índice de calor o temperatura aparente en grados Celsius, que es una medida de sensación térmica experimentada cuando se combinan la temperatura real y la humedad relativa existente [9]. Esta magnitud es muy importante sobre todo en trabajos al aire libre o en zonas subterráneas porque existen una buena cantidad de enfermedades asociadas al trabajo bajo condiciones de una elevada temperatura aparente [9]. Igualmente, es muy útil en la agricultura debido a que la humedad y la temperatura son factores que condicionan mucho la calidad de los cultivos.

Para la iluminación se utilizó el foco de una linterna en desuso, el cual está compuesto por seis LED (Light Emitting Diodes) blancos en paralelo que brindan una iluminación suficiente para el trabajo con la cámara en zonas de oscuridad.

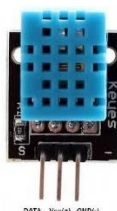


Figura 10: Sensor DHT11.

Cámara y aplicación para visualización de imágenes

Debido al requerimiento de transmitir imágenes inalámbricamente desde el vehículo para facilitar el manejo remoto, se decidió implementar un bloque funcional conformado por una cámara. Para esta implementación se tenían a disposición de los autores dos variantes tecnológicas: la OV7670 o la GoPro H9. La cámara OV7670 es un SoC (system on a chip) que permite realizar procesamiento de imágenes [8]. Puede funcionar con Arduino aunque requiere una programación muy compleja y muchas conexiones [8]. Es capaz de captar imágenes con una resolución de 640 x 480 píxeles y requiere una tensión de alimentación de 3,3V [8]. Por otra parte, la GoPro H9, mostrada en la Fig. 11, es una cámara previamente programada para captar imágenes, procesarlas y transmitir las hacia un terminal [17]. Alcanza captar imágenes en resoluciones del formato Ultra High Definition (UHD), pero inalámbricamente transmite en Alta Definición (HD) hasta el formato 1080p (1920 x 1080 píxeles) [17]. La transmisión inalámbrica se realiza a través de una conexión Wi-Fi, en la banda de 2,4 GHz, y posee batería propia que se puede recargar con el uso de un cable USB [17]. Finalmente, la variante implementada fue la cámara GoPro H9, debido a que su instalación en el vehículo no requiere programación, posee una batería particular para su empleo y permite la transmisión inalámbrica de imágenes con mejor resolución que la OV7670 y de forma independiente al resto del sistema.

Para la recepción y visualización en tiempo real de las imágenes se empleó la aplicación Ez iCam, mostrada en la Fig. 12, recomendada por los fabricantes de la cámara [17]. Esta aplicación se ejecuta en otro teléfono inteligente que se conecta vía Wi-Fi con la cámara, desde el cual se pueden realizar fotografías, videos y la descarga de las imágenes. Ez iCam es una aplicación que se puede descargar gratis de Internet para cualquier sistema operativo de teléfono inteligente o tableta y ha mostrado muy buen funcionamiento en el proyecto [17].



Figura 11: Cámara GoPro H9.



Figura 12: Imagen visualizada desde la aplicación Ez iCam.

Aplicación para control y monitoreo del vehículo

Para la interfaz máquina – operador se necesitaba una aplicación que permitiera el control del vehículo y el monitoreo de las mediciones de los sensores a la vez. Existen en Internet aplicaciones gratuitas que permiten el control de un vehículo por Bluetooth [1], [8], [14] y otras que permiten monitorear sensores por Bluetooth [10], [15]; sin embargo, no se encontró ninguna aplicación que cumpliera estas dos funciones a la vez. Por ello, se decidió desarrollar una aplicación propia para el proyecto, mostrada en la Fig. 13, haciendo uso de la plataforma online de desarrollo de aplicaciones para dispositivos Android App Inventor. Se escogió esta plataforma porque presenta un lenguaje muy intuitivo, basado en programación visual y de bloques. Además, cuenta con varias clases predefinidas muy interesantes y útiles para proyectos con Android [10].

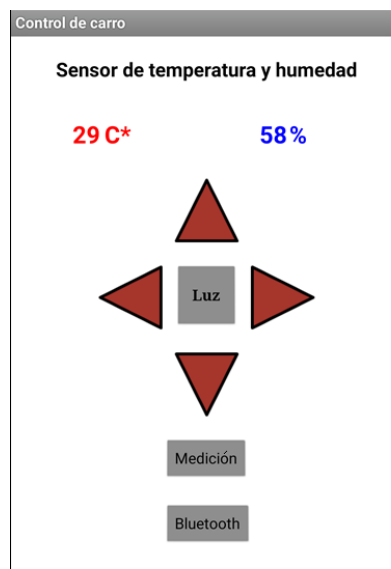


Figura 13: Aplicación de control y monitoreo.

VEHÍCULO TELE OPERADO PARA LA MEDICIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES

4. VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

Partiendo del análisis de las características técnicas del vehículo desarrollado en el proyecto, cuyas vistas isométrica, frontal y superior se muestran en la Fig. 14, se realizará un balance de las ventajas y limitaciones del dispositivo creado.



Figura 14: Vistas isométrica, frontal y superior del vehículo tele operado (de izquierda a derecha).

En comparación con el prototipo seleccionado como referencia, mostrado en la Fig. 4, el vehículo desarrollado presenta varias ventajas como la reducción de costos por el uso de componentes reciclados que propician sustituir importaciones sin comprometer la calidad, el monitoreo y almacenamiento en tiempo real de mediciones mientras se controla el dispositivo, realización de giros de 360° sin variar su posición y la transmisión de imágenes en Alta Definición que favorecen el manejo remoto.

Quedó por mejorar respecto al vehículo del GISEAC la distancia de comunicación, que debido al empleo de la tecnología Bluetooth la distancia máxima de comunicación es de 10 m. Para mejorar este aspecto en el prototipo actual se pueden estudiar diferentes variantes tecnológicas como el empleo del módulo de radiofrecuencia NRF24L01, el cual puede alcanzar enlaces de hasta 100 m en su versión con antena integrada o 1 km en el caso de la versión que cuenta con un amplificador y una antena externa [8]. Este módulo incorpora la lógica necesaria para que la comunicación sea robusta, como corrección de errores y reenvío de datos si es necesario; liberando de esta tarea al procesador [8]. Su control se realiza a través de bus SPI (Serial Peripheral Interface), presente en la tarjeta electrónica empleada, Arduino UNO, por lo que su instalación no supondría un gran cambio en el hardware del vehículo desarrollado.

Igualmente existen otros aspectos a mejorar como es la autonomía de la batería a partir del empleo de celdas nuevas y la incorporación de otros sensores como los de la familia MQ, de los cuales un ejemplar se empleó en el prototipo de referencia para realizar mediciones de la concentración de monóxido de carbono en el ambiente [1].

5. APLICACIONES PRÁCTICAS EN LA ACTUALIDAD

Medición de temperatura y humedad relativa en lugares de difícil acceso

A partir de los sensores instalados en el vehículo se pueden realizar mediciones sobre el comportamiento de la temperatura y la humedad relativa en diferentes lugares, sobre todo de difícil acceso para el hombre, que no impliquen una distancia de control mayor a los 10 m. Estas mediciones pueden ser monitoreadas en tiempo real por el operador o bien pudieran ser almacenadas para estudios estadísticos posteriores como puede ser el comportamiento de estas magnitudes bajo distintas condiciones.

Grabaciones de imágenes en lugares de difícil acceso

Haciendo uso de la cámara instalada y del circuito de iluminación el vehículo es capaz de captar imágenes en Alta Definición y enviarlas al terminal del operador, quien tiene la posibilidad de obtener videos o fotografías de la zona transitada. A su vez, estas imágenes pueden ser descargadas desde el terminal del operador para su posterior visualización. Esto posibilita la inspección de lugares de difícil acceso para el hombre y que resulten de interés para determinados estudios.

Educación

Desde el punto de vista educativo el vehículo desarrollado es muy útil para introducir a estudiantes en temas como la robótica, la electrónica, la programación y, en menor medida, las comunicaciones inalámbricas. Quedó demostrado así durante el Curso de Robótica para niños en el Parque Tecnológico La Finca de Los Monos, en La Habana, entre los meses de julio y agosto del 2020, donde se utilizó el prototipo desarrollado como medio de enseñanza para ejemplificar el uso de la plataforma Arduino, de motores y de sensores en la robótica. Además, se puede utilizar la capacidad de medición de la temperatura y la humedad relativa en el estudio de temas medioambientales por parte de niños y adolescentes.

6. APLICACIONES PRÁCTICAS EN EL FUTURO

Las aplicaciones futuras del proyecto pueden ser muy variadas debido a la tendencia existente de desarrollar máquinas que sustituyan o complementen el trabajo del hombre. Prácticamente todas significarán una modificación en mayor o menor escala del prototipo actual en dependencia de las exigencias de la tarea a realizar. A continuación, se presentarán algunas de las aplicaciones que los autores creen más factibles para el futuro del vehículo desarrollado.

Exploración

La exploración de escenarios peligrosos o de difícil acceso como puede ser una cavidad subterránea, una tubería, derrumbes, suelos contaminados o zonas de altas temperaturas es una de las aplicaciones que pudiera tener el proyecto. El vehículo con el equipamiento de sensores adecuados, como aquellos que miden la concentración de gases, permitiría un estudio más exhaustivo de la zona transitada. Para este fin el prototipo actual tendría que mejorar varios aspectos como son la distancia máxima de comunicación entre el vehículo y el operador y la incorporación de nuevos sensores en dependencia del objetivo de la exploración.

Agricultura

Un importante empleo de este proyecto sería en la agricultura. Debido a la cantidad de enfermedades laborales que enfrentan los trabajadores agrícolas como las enfermedades respiratorias, por la exposición a sustancias tóxicas, las enfermedades de la piel debido a las altas temperaturas y a los rayos del Sol y las enfermedades osteomusculares [12]; el proyecto podría modificarse para convertirse en un vehículo de fumigación o inyección de plaguicidas para evadir la exposición directa de los seres humanos a sustancias tóxicas y a los rayos solares. Con este objetivo habría que incorporarle al prototipo actual un sistema de fumigación eléctrico, mayor autonomía energética y más sensores que permitan evaluar las condiciones ambientales y de los cultivos a fumigar.

Vigilancia

La última de las aplicaciones presentadas es la vigilancia, debido a que el empleo de vehículos robóticos y teleoperados en esta labor contribuye a la reducción de costos por concepto de salarios de vigilantes; permite el monitoreo centralizado de diferentes áreas y que el trabajo humano se enfoque en temas administrativos y de intervención en caso de incidentes detectados por el dispositivo. Para esta aplicación el prototipo creado tendría que incorporar nuevos elementos como un sistema de comunicación de mayor alcance, un sistema de alarma que le avise al operador de algún problema e inteligencia artificial.

7. CONCLUSIONES

VEHÍCULO TELE OPERADO PARA LA MEDICIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES

Con la culminación de este proyecto se satisface el objetivo de construir un vehículo tele operado para la medición de variables ambientales, que actualmente puede emplearse para la exploración de lugares de difícil acceso que no requieran una distancia mayor a los 10 m entre el operador y el dispositivo, para la medición de la temperatura y humedad de diferentes espacios, así como con fines educativos para estudiantes que se inician en el uso de la plataforma Arduino. Como resultado adicional está la creación de una aplicación para dispositivos Android que permite el control por Bluetooth de un vehículo electrónico mientras se monitorean las lecturas de sensores. Los resultados también demuestran que se debe seguir trabajando en eliminar limitaciones del prototipo actual para posibilitar que el vehículo construido tenga un mejor funcionamiento. Además, se demostró la posibilidad de obtener resultados prácticos a partir del reciclaje de materiales y componentes. Igualmente, contribuyó a consolidar conocimientos de estudiantes en áreas como la electrónica y la programación.

RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a los trabajadores del taller de reparaciones Electrónica Viva, en La Habana, por su apoyo brindado, por ceder espacio y recursos para la realización de pruebas y mediciones necesarias para los resultados obtenidos.

REFERENCIAS

- [1] «Teleoperación y Aplicaciones Móviles», 2018. <http://www.uts.edu.co> (accedido jul, 2019).
- [2] C. Flores-Vázquez, A. Rojas, K. Trejo «Operación remota de un robot móvil usando un teléfono inteligente», *INGENIUS*, n.o 17, ene. 2017.
- [3] A. Cerón, «Sistemas robóticos teleoperados», *Ciencia e Ingeniería Neogranadiana*, n.o 15, pp. 62-72, ene. 2005.
- [4] A.J. Viloría, C.A. Correa, «Construcción de un robot explorador con Arduino para los miembros del cuerpo de bomberos de Montería – Córdoba», *Eng., Universidad de Córdoba, Montería – Córdoba*, 2015.
- [5] A. Pozo, «Modelo cinemático dinámico del mini robot móvil Ricimaf», *RIELAC*, vol. 33, pp. 49-62, 2012.
- [6] M.O. Torres, V. Moreno, «Un nuevo método de generación de caminos para robots móviles mediante curvas clotoides», *RIELAC*, vol. 36, pp. 98-118, 2015.
- [7] R. Batista, «Diseño e implementación de un sistema de iluminación inteligente de interiores», *Eng., Universidad Tecnológica de La Habana “José A. Echeverría” CUJAE, La Habana*, 2019.
- [8] S. Companioni, «Procesamiento de imágenes, obtenidas por un vehículo autónomo, para el reconocimiento de daños en cultivos», *Eng., Universidad Tecnológica de La Habana “José A. Echeverría” CUJAE, La Habana*, 2020.
- [9] S. Pino, G. Ponce, «Comportamiento de la enfermedad laboral en Colombia 2015-2017», *Fasecolda*, pp. 48-55, 2018.
- [10] R. A. Moreno, Autoedición, *Desarrollo de aplicaciones para Android usando MIT App Inventor 2*, 2016.
- [11] L.A. Velasco, «Diseño de un sistema de control basado en linealización por realimentación para robot móvil tipo Ackerman con velocidad variable y movimiento en doble sentido describiendo trayectorias óptimas», *Msc., Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima*, 2019.
- [12] M.E. Tirira, «Estrategias de bioseguridad en agricultores que usan plaguicidas en la comunidad Chután Bajo de la ciudad San Gabriel», *Eng., Universidad Autónoma de Los Andes, Tulcán*, 2019.
- [13] L. Rodríguez, «Diseño e implementación de una Estación Meteorológica para la agricultura basada en Arduino», *Eng., Universidad Tecnológica de La Habana “José A. Echeverría” CUJAE, La Habana*, 2019.
- [14] A. Campos, «Diseño e implementación de un vehículo de cuatro ruedas omnidireccionales», *Eng., Universidad Politécnica de Valencia, Valencia*, 2018.
- [15] J.M. Nova, «Diseño y desarrollo de una aplicación para monitorear la concentración de CO y CH4 en dispositivos móviles Android», *Eng., Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga*, 2018.
- [16] «Circuito – inversión de giro de un motor de CD con relés», 2018. <http://ecdrumdownload.blogspot.com> (accedido jul, 2019).
- [17] «Manual de la GoPro», 2017. <http://www.google.com>. (accedido jul, 2019).

SOBRE LOS AUTORES

Abel Hernández Eskenazi, estudiante de Tercer Año de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica, de la facultad del mismo nombre, de la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, CUJAE,

Cuba. Pertenece al Grupo de Investigaciones de Sensores Inalámbricos. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8988-1902>

Josué Daniel Herrera Martínez, estudiante de Tercer Año de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica, de la facultad del mismo nombre, de la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, CUJAE, Cuba. Pertenece al Grupo de Investigaciones de Sensores Inalámbricos. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8094-6880>

Raydel García Mesa, Máster en Ciencias desde el 2019. Graduado de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica en el 2013 en el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. Ha desarrollado proyectos vinculados con la adquisición de datos a distancia. Pertenece al Grupo de Investigaciones de Sensores Inalámbricos. Posee la categoría docente de Instructor. Actualmente trabaja como profesor de la asignatura de Electrónica Analógica en la Facultad de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica en la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, CUJAE, Cuba. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7545-3552>

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no hay conflictos de intereses.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- **Abel Hernández Eskenazi:**
Trabajo de diseño y desarrollo del prototipo. Programación del microcontrolador y de la aplicación móvil. Búsqueda del estado del arte. Redacción del artículo.
- **Josué Daniel Herrera Martínez:**
Trabajo de diseño y desarrollo del prototipo. Programación del microcontrolador. Realización de pruebas experimentales de validación del prototipo. Redacción del artículo.
- **Raydel García Mesa:**
Conceptualización del proyecto. Trabajo de diseño y desarrollo del prototipo. Realización de pruebas experimentales de validación del prototipo. Revisión crítica del proceso de redacción del artículo.

Esta revista provee acceso libre inmediato a su contenido bajo el principio de hacer disponible gratuitamente investigación al público. Los contenidos de la revista se distribuyen bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License. Se permite la copia y distribución de sus manuscritos por cualquier medio, siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores y no se haga uso comercial de las obras.

