

# Plataforma robótica operada remotamente: MARK 1

Arthur Jonathan Fuquen Villamizar\*

## Resumen

En el siguiente artículo se presenta el proceso de creación, diseño y construcción del vehículo operado remotamente MARK 1, el cual participa en el concurso interno de robótica denominado “Reto Indiana en los Cielos”, realizado por la escuela de Ingeniería Electrónica de la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN). Para participar en el evento, siempre buscando la innovación en la electrónica y en el diseño, se logró la creación de un vehículo que cumplía con todas las características electrónicas y mecánicas que se requerían para pasar los retos dispuestos por el concurso. En este trabajo se tiene como objetivo describir el proceso que se llevó a cabo para crear el robot MARK 1, de forma tal que se evidencie el proceso de reingeniería: los avances y las modificaciones que fueron apareciendo a lo largo del proceso de construcción. Es importante mencionar que surgieron retos mecánicos, electrónicos y físicos durante la adecuación del robot a los retos dispuestos para pasar la pista de obstáculos.

## Abstract

The following article presents the creation, design and construction of the remotely operated vehicle “MARK 1”, which participates in the internal robotics contest called “Reto Indiana en los Cielos”, carried out by the School of Electronic Engineering of the Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN). To participate in the event, always seeking innovation in electronics and design, the creation of a vehicle was achieved that met all the electronic and mechanical characteristics that were required to pass the challenges set by the contest. The objective of this work is to describe the process that was carried out to create the MARK 1 robot, in such a way that the reengineering process is evident: the advances and modifications that appeared throughout the construction process. It is important to mention that mechanical, electronic and physical challenges arose during the adaptation of the robot to the challenges prepared to pass the obstacle course.

**Cómo citar este artículo (APA):** Fuquen Villamizar, A. (2019). Plataforma robótica operada remotamente: MARK 1. *Hashtag*, (15), 75-86

**> Palabras clave:** desarrollo, innovación, reingeniería, robótica, vehículo teleoperado

**> Keywords:** development, innovation, reengineering, remote operated vehicle, robotic

\* Estudiante de Ingeniería Electrónica de la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN). Contacto: arthur.fuquen@cun.edu.co

## Introducción

En este artículo se describe el proceso de diseño y creación de un dispositivo mecánico de control totalmente electrónico de tipo robótico teleoperado con el único propósito de superar los retos dispuestos en el concurso interno “Reto Indiana en los Cielos” realizado por la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN), los cuales se describirán posteriormente. Este diseño se ajusta a las necesidades de la pista que se construyó exclusivamente para este concurso, con especificaciones muy claras y con requerimientos mínimos de funcionamiento. Para este evento se superó el nivel de los carros que concursaron en las anteriores versiones del evento: la fuerza, control, tamaño, peso y velocidad mejoraron, sin olvidar la necesidad de contar con un diseño completamente autónomo de programación, lo que hace que ningún diseño sea igual al de otro concursante.

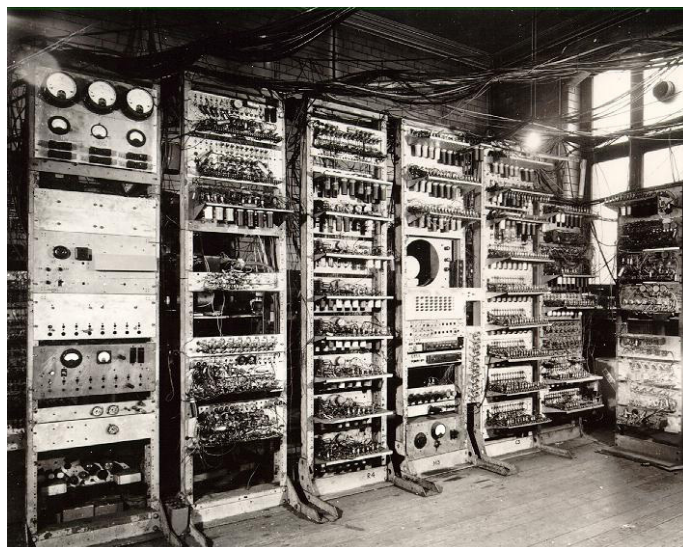
Para iniciar, la base del proyecto final fue una caja de chasis en limpio, de unas dimensiones que se fueron modificando a medida que se ajustaba el vehículo a las condiciones de la pista. Esto dio muchas pautas de diseño en SolidWorks: a medida que se avanzaba, fue necesario hacer modificaciones de programación para poder optimizar la velocidad de los motores. En este sentido, fue necesario ajustar las conexiones a la tarjeta diseñada para que fueran las adecuadas en cuanto al voltaje utilizado, el consumo de corriente de acuerdo con la carga de los motores, y el diseño de baterías que se utilizarían —al circuito principal se adiciona otra tarjeta de control, pero destinada al control de una bomba de agua que se utiliza para apagar unas velas como

parte del reto—. Todo esto se ajustó a una aplicación desarrollada en App Inventor, según las necesidades de nuestro diseño.

El prototipo se inspira en un BUGGY de carreras (Hernández, 23 de mayo del 2016) y se logró el objetivo en cuanto a funcionamiento, velocidad, respuesta de los controles y apariencia. Todo este trabajo de diseño de cada una de las piezas que constituye el vehículo MARK 1, el cual fue trabajado en SolidWorks en lo relativo al diseño desde el chasis (que es a medida); la parte delantera, donde se soporta la bomba de agua; la adaptación de los motores a medida; la parte externa, donde se deja la caja del agua, y la parte interna, donde se instalan las tarjetas de funcionamiento a medida. Por su parte, en el programa PIC-C se hace toda la programación, desde el encendido hasta la modulación por ancho de pulsos (PWM, por sus siglas en inglés), el cual fue utilizado para darle velocidad de un 35 % hasta el 75 % de la fuerza total de los motores, donde se dispusieron todos los comandos de conducción que se ajustaron a la *app* diseñada en App Inventor (Arce, 6 y 7 de diciembre del 2017).

Construido en la Universidad de Harvard en 1944, el Mark I fue el primer ordenador electromecánico. Proyecto conjunto entre la IBM y el ingeniero Howard Aiken, se basaba en la máquina analítica de Charles Babbage y, para su construcción, fue necesario utilizar 800 km de cables y más de 3 000 000 de conexiones, entre pistones, ruedas dentadas y otros elementos mecánicos, por lo que llegó a pesar 31 500 kg (EcuRed, s. f., párr. 1). En la figura 1 se muestra cómo se veía la computadora Mark I.

Figura 1. Computadora Mark I.



Fuente: Informática General (s. f.).

Howard Aiken empezó en 1937 a buscar un patrocinador para construir su calculadora, pero después de dos rechazos se le presentó un aparato que el hijo de Charles Babbage había donado a la Universidad Harvard, 70 años antes. Esto llevó a Aiken a estudiar a fondo a Babbage y a añadir referencias de esa máquina analítica a su propuesta. El Mark I funcionaba con relés, se programaba con interruptores y leía los datos de cintas de papel perforado; además

El computador empleaba señales electromagnéticas para mover las partes mecánicas. Esta máquina era lenta (tomaba de 3 a 5 segundos por cálculo) e inflexible (la secuencia de cálculos no se podía cambiar); pero ejecutaba operaciones matemáticas básicas y cálculos complejos de ecuaciones sobre el movimiento parabólico de proyectiles. (EcuRed, s. f., párr. 5)

## Características del concurso interno Reto Indiana en los Cielos

La principal característica del concurso es desplazar un robot por una pista predeterminada realizando ocho retos para terminar el recorrido en el menor tiempo posible y cometiendo un mínimo de faltas. Para esto, debía utilizarse un robot teleoperado con ruedas que se desplazaran por la pista. El funcionamiento del sistema mecánico, electrónico, así como la creatividad de diseño y la programación que tenía el robot debía cumplir con las especificaciones previstas para

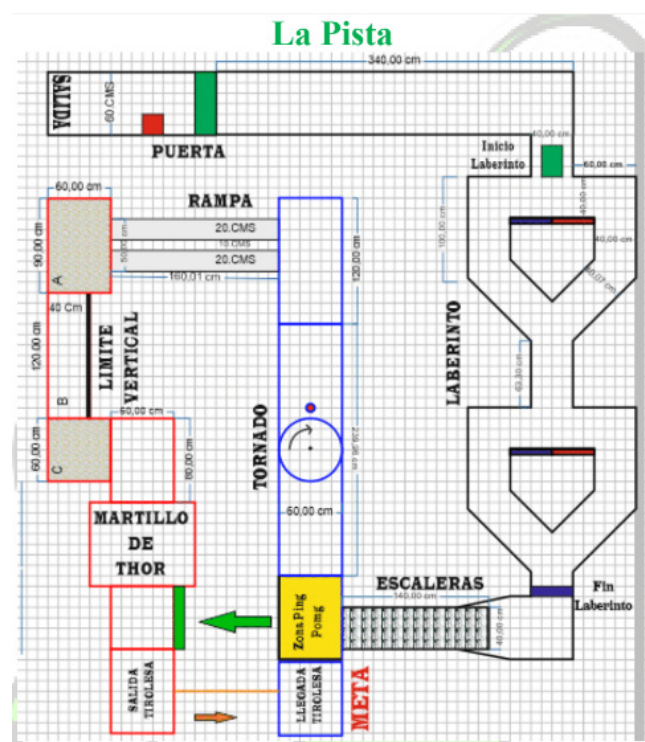
el concurso. Para esta versión, el tiempo de recorrido no fue tenido en cuenta para puntuación, solo se utilizaría en caso de empate por puntos para definir los primeros lugares. El tiempo total que disponía cada equipo era de ocho minutos, en el que podían realizarse dos recorridos y solo se tendría en cuenta el recorrido con mayor puntaje. Existían variaciones de los retos y la calificación para los estudiantes de los diferentes ciclos del programa: técnico, tecnológico y profesional.

Para teleoperar el vehículo, el equipo es libre de elegir la electrónica aplicada al robot para general el desplazamiento, al igual que el sistema de comunicación que prefería utilizar; podía ser con módulos wifi, *bluetooth*, *Xbee*, *RF*, etc.

La pista estaba diseñada en madera MDF con muros laterales de 7 cm de altura en el mismo material, con sectores que no tenían estas paredes, los

cuales se especificaban en los detalles de cada uno de los retos. La pista estaba dividida en tres zonas: la zona negra se encontraba a nivel del suelo; la zona azul a una altura de 65 cm, y la zona roja a una altura de 130 cm aproximadamente. La pista estaba distribuida en un área de 6 m<sup>2</sup>, como se puede ver en la figura 2.

Figura 2. Pista Reto Indiana en los Cielos.



Fuente: Pinzón (30 de mayo del 2019).

## Retos

### Reto 1 - Puerta de Alí Baba

Para iniciar la competencia, el robot debía desplazarse hasta el sitio designado para resolver el reto, lugar donde se encontraba una caja de 10 x 10 x 15 cm fabricada en madera MDF, con un peso total de 2 kg, ubicada en la pista en el cuadro rojo a una distancia de 20 cm de la puerta. El

robot debía empujar la caja hasta la puerta y activar un interruptor de 4 cm de radio, a una altura del suelo de 10 cm, con lo cual la puerta se abría de forma automática. El equipo que lograra pasar este reto de forma satisfactoria obtenía 20 puntos. Este reto era de carácter obligatorio, es decir, el equipo que no lograra superarlo no podía continuar en el concurso.



## **Reto 2 - Zona de Fuego**

En este reto, el operador ubicaba el robot en la zona marcada con color amarillo y, desde ahí, el robot debía apagar dos velas que se encontraban a 15 cm y 30 cm de la pared de la pista. Las velas siempre estuvieron a una altura de 15 cm y el robot únicamente podía utilizar agua para apagar las velas, de ahí que los diseñadores del robot necesitaban contemplar en el diseño un dispositivo que les permita realizar tal proceso. Si el robot apagaba la primera vela (ubicada a 15 cm) recibía 10 puntos, y si apagaba la segunda vela (ubicada a 30 cm) recibía 20 puntos. En este sentido, si lograba apagar las dos velas sumaba 30 puntos. Ahora bien, si un robot no conseguía superar este reto, podía continuar en el concurso, pero recibía una penalización de 10 puntos.

## **Reto 3 - Laberinto**

Este reto fue diseñado para que el equipo lo pudiera resolver de forma controlada o autónoma. El robot se ubicaba en el inicio del laberinto, en la zona verde, e iniciaba el recorrido: si se escogía de forma autónoma, el operador debía accionar el robot y no podía manipularlo hasta que este llegara al final del laberinto sin tocar ninguna de las paredes; si el equipo decidía resolver el laberinto en forma controlada por el operador, este debía ubicarse en la zona verde y llegar al final sin tocar ninguna de las paredes, que estaban ubicadas a 7 cm de altura. Si el robot resolvía el laberinto de forma autónoma, utilizando sensores y sin tocar ninguna de las paredes, recibía 50 puntos, y si lo realizaba en forma controlada por el operador y sin tocar ninguna de las paredes recibía 20 puntos. El robot que no lograra cumplir el reto se penalizaba con 10 puntos.

## **Reto 4 - Escaleras**

El reto de las escaleras estaba diseñado para que el operador del robot subiera una pendiente de

aproximadamente 25 grados de inclinación en una pista de 40 cm de ancho, en la cual se ubicaban unos peldaños de escalera de 2 x 2 cm. En esta sección no había paredes y el operador debía maniobrar el robot para que no cayera. Si el robot subía en un primer intento las escaleras, recibía 30 puntos; si no lo lograba, el mecánico del equipo podía colocar nuevamente el robot en el inicio de la escalera e intentarlo de nuevo, obteniendo 15 puntos si cumplía el reto. En caso de no lograrlo en ninguno de los dos intentos, el mecánico del equipo podía ubicar el robot al final de la escalera y se le descontarían 10 puntos.

## **Reto 5 - Tornado**

En este reto, el operador del robot necesitaba tener agilidad para pasar un puente circular de 60 cm de diámetro que no contaba con paredes y que giraba en el sentido de las manecillas del reloj. El operador debía llegar al punto de entrada y calcular el momento exacto para ingresar en el puente y desplazarse por él, tratando de salir en el punto exacto y procurando no caer al vacío. Este reto sumaba 20 puntos para el robot que lograra superarlo. Si el robot caía, uno de los miembros del equipo podía ubicarlo en el punto de entrada del puente para volver a intentarlo, pero solo se sumaban 10 puntos si el intento era exitoso. En caso de que el robot no lograra superar el reto, un miembro del equipo podía ubicar el robot en la salida del puente, aunque recibía una penalización de 10 puntos. Este reto era igual para los participantes de los ciclos técnico y tecnológico, pero para el ciclo profesional disponía de un led blanco al finalizar la pista (identificado en la figura como un círculo de color azul y rojo). En este caso, los docentes del ciclo podían solicitar al equipo resolver el reto de forma autónoma.

### **Reto 6 - Rampa**

Este reto contaba con una rampa con ancho total de 50 cm y con una inclinación de 19 grados aproximadamente, pero tenía dos secciones de solo 20 cm, separadas por 10 cm, las cuales estaban cubiertas de tapete alfombra. El equipo debía tener en cuenta estas medidas al momento de diseñar el robot, ya que este reto, al no tener paredes, llevaba a que fuera posible que el robot cayera hacia los lados o en la división central de 10 cm. El reto evaluaba la pericia del operador para llevar el robot hasta el final de la rampa, donde llegaría a la zona roja que estaba inclinada 30 grados en una sección cubierta de tapete, zona en la que era necesario girar para enfrenarse al siguiente reto. Resolver este reto en un único intento otorgaba 20 puntos y, en caso de no lograrlo, se penalizaría con 10 puntos negativos, pero el robot podía seguir compitiendo.

### **Reto 7 - Limite Vertical**

Este reto presenta una pista inclinada 30 grados en todo momento y que se dividía en tres zonas: la zona A, cubierta de tapete y muros en la parte externa; allí, el robot debía girar y avanzar hacia la zona B, en la que se obtenía la calificación. Este reto tenía 120 cm de largo por 40 cm de

ancho y era de madera MDF sin tapete ni muros, solo disponía de una cinta negra en el límite inferior. Si el robot llegaba a la zona C, cubierta de tapete y muros externos, giraba hacia abajo para llegar a una zona sin inclinación, la cual llevaba al robot al siguiente reto. Por este reto, desde la competencia se recomendaba que, en el diseño del robot, se tuviera en cuenta la adherencia de las ruedas, para que el robot no cayera al suelo. Resolver este reto otorgaba 30 puntos y, en caso contrario, se recibía una penalización con 10 puntos.

### **Reto 8 - Martillo de Thor**

En este reto, el robot llegaba a un segmento de la pista donde encontraba dos martillos de madera girando con el objetivo de golpear al robot y sacarlo de la pista. Los martillos estaban separados entre sí por 50 cm y su eje de rotación estaba a 35 cm del suelo. En este segmento, la pista no tenía paredes. Si el robot lograba pasar el reto sin que los martillos lo golpearan, sumaba 20 puntos; si el robot era golpeado y salía de la pista, podía intentarlo de nuevo y, en caso de superar el reto en este segundo intento, recibía 10 puntos. Ahora bien, si en ninguno de los dos intentos superaba la prueba, recibía 10 puntos negativos.

## **Desarrollo del proyecto**

De acuerdo con las especificaciones de la pista y las reglas generales del concurso, se empezó modelamiento de la estructura mecánica que debía llevar el robot. El sistema hidráulico del disparo en el carro está constituido por dos válvulas antirretorno, cuyo fin es que el agua no retorne al tanque principal y la motobomba permanezca a su nivel de operación. También se utilizaron dos recipientes plásticos para que brindaran abundante agua al tanque principal y, así, la motobomba se pudiera alimentar. De otro lado, se

contó con un regulador de presión y una boquilla tipo abanico para que el chorro de agua sea disperso.

La descripción detallada del comportamiento del circuito lógico y electrónico de disparo es la siguiente: la señal emitida por el micro PIC 16f783A (Microchip, 2001) activará la base de un transistor 2n3904 PNP (Unisonic Technologies, 2005), la cual alimenta la bobina de un relevo a 5v DC. Se realiza el diseño de este tipo de activación

teniendo en cuenta los consumos máximos que el PIC<sup>1</sup> puede brindar por cada puerto de salida. Las salidas (láser y chorro de agua) se activan únicamente al energizar el relevo, las pruebas de accionamiento y respuesta resultaron favorables y confiables en el momento de la prueba.

El cuerpo de programa final de MARK 1 fue implementado bajo funciones y librerías dentro de lenguaje de programación PIC-C. Fue necesario implementar el PWM para poder controlar la velocidad y fuerza del motor (Nanotec, 25 de mayo del 2018). Como herramienta, el PWM resultó muy útil, ya que minimiza considerablemente el rango de error y aumenta la exactitud en los

movimientos del robot, reduciendo el consumo de batería pero manteniendo su eficiencia.

### Modelado 1

El resultado de la estructura se modeló según los requerimientos de la pista en conjunto con el sistema de aspersor de agua; aun así, se realizaron ajustes de infraestructura. Como primer modelo, se logró el que se muestra en las figuras 3 y 4, el cual era favorable para nuestras expectativas, pero en realidad era insuficiente para superar el primer reto.

Figura 3. Modelo del primer chasis abs.

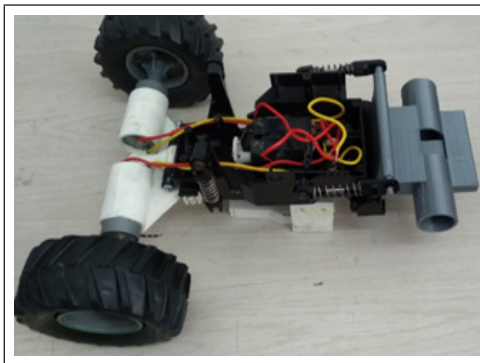
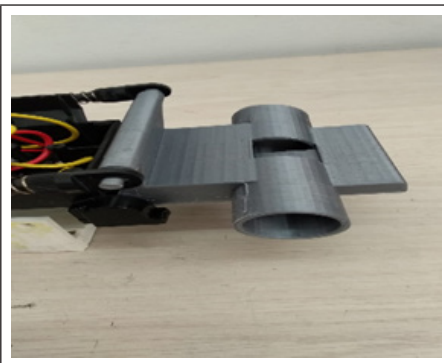


Figura 4. Suspensión posterior pla.



Fuente: elaboración propia.

### Modelado 2

En este segundo diseño se cambió el material del chasis de ABS, con el que se realizó el primer diseño, pero en pruebas resultó no ser la mejor opción. Por sus aplicaciones más mecánicas que resistivas, se opta por utilizar material PLA, que ha sido más acertado en pruebas de resistencia

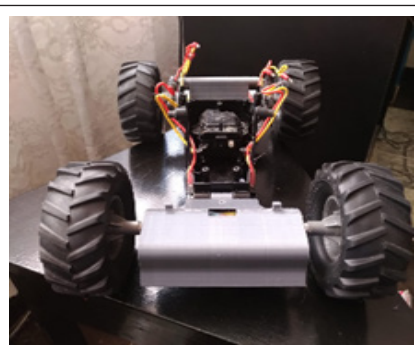
y de diseño, ya que ha sido aprobado por el grupo de trabajo y es más acorde a las necesidades de los retos. Además, se ha podido ajustar una nueva pieza al chasis, un soporte de bomba de agua con el que se podrá pasar el segundo reto dispuesto. Los motores funcionan correctamente. Las figuras 5 y 6 muestran el segundo diseño.

1 Programmable Interrupt Controller.

**Figura 5.** Pruebas de bomba.



**Figura 6.** Modelado antes de cableado.



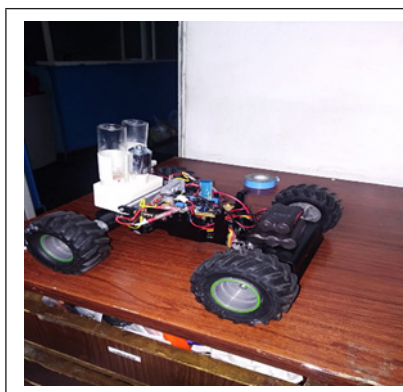
Fuente: elaboración propia.

### Modelado 3

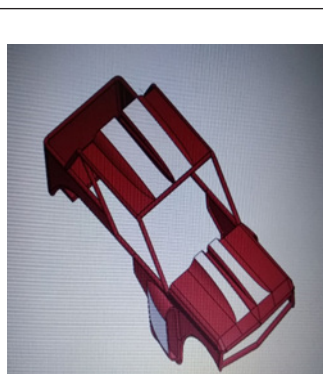
En este modelado final, se incorporaron, como mejoras, la mira láser, el diseño de la carrocería, el desarrollo de la App Inventor para el mando de MARK 1, el PWM para control de velocidad y fuerza y el diseño e impresión en 3D de exostos y tanque de agua. Se realizaron mejoras en los acoples de los motores hacia la llanta, puesto que presentaban desnivel y desbalance en el direccionamiento (Boylestad y Nashelsky, 2009). Se

evidenciaron fallas en la primera impresión de la carcasa en 3D, debido al grosor según el diseño en el programa SolidWorks y una válvula anti-retorno que presentaba fugas, lo que producía que la válvula filtrara aire a la bomba y que no funcionara o que no proporcionara la suficiente fuerza de agua. Se procedió a cambiar las válvulas y, como medida de seguridad, en el momento de las pruebas se tuvieron dos válvulas de contingencia.

**Figura 7.** Modelo con tanque.



**Figura 8.** Modelado en SolidWorks.



**Figura 9.** Modelo con batería.



Fuente: elaboración propia.

Para continuar con la implementación del sistema de riego para para apagar las velas mediante disparos de agua, según lo requiere el

reto, se diseña un circuito que, por medio de un transistor BJT NPN (Neudeck, 1994), al inyectar una pequeña corriente por la base, servirá



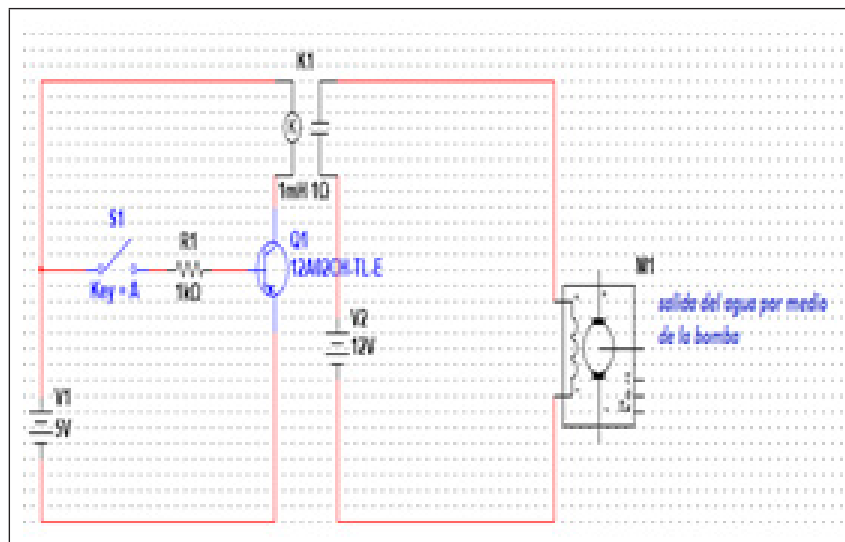
para alimentar la bobina del relé y así accionar la bomba de agua. Se tiene en cuenta que tanto el sistema de accionamiento del transistor y la alimentación de la bomba son de diferentes magnitudes de voltaje, por lo que se instalan las respectivas protecciones.

El objetivo de las aspas del impulsor es que, al momento en que el agua entra al centro del

rotor, haga que la fuerza centrífuga sea muy fuerte por la compresión del fluido, generando una presión y haciendo que el fluido salga con rapidez (White, 2004). Esto se debe a que el propósito no era solo pasar el fluido de un lado a otro, sino también ahorrar tiempo y pasar gran cantidad de fluido a presión para que llegue a una mayor distancia.

## Diagrama del circuito, conexión de bomba

Figura 10. Circuito disparo bomba de agua.



Fuente: elaboración propia.

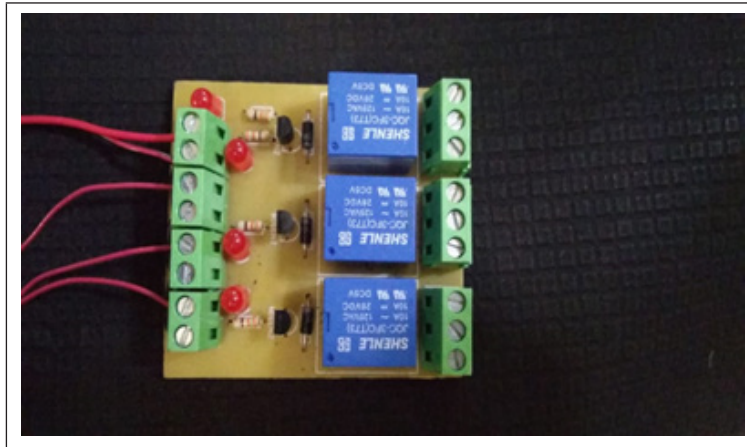
Descripción del circuito:

La función de la bomba de agua era llegar a superar las distancias de 15 cm y 30 cm estipulados en el reto. Con esto en mente, se pone en funcionamiento mediante la activación del transistor BJT NPN (Savant, Roden y Carpenter, 2000; Neudeck, 1994), el cual, al inyectar una pequeña

corriente por la base, sirve para alimentar la bobina del relé y así accionar la bomba de agua. En este primer circuito se tuvieron en cuenta los límites de corriente y voltaje, tanto del transistor como del relé, y el consumo nominal de la bomba es de 600 mA, así que requiere un sistema totalmente independiente tanto del control como del circuito de potencia.

## Circuito terminado del sistema de disparo

Figura 11. Tarjeta de dispuesta para disparo de la bomba de agua.



Fuente: elaboración propia.

## Pruebas de conectividad

Durante las semanas posteriores, se realizaron pruebas de conectividad, donde el Bluetooth HC-05 (Naylamp Mechatronics, s. f.) y se evidenció

que el emisor y el receptor trabajan de manera óptima; aun así, para mejorar el alcance, se usa el módulo ESP32 (Espressif Systems, 2019).

## Pruebas de funcionamiento

- El dispositivo cumple para el desplazamiento de la caja de madera de 10 x 10 x 15 cm (con un peso total de 2 kg) ubicada en la pista a una distancia de 20 cm de la puerta, que activará un interruptor que abrirá la puerta de Alá Babá; gracias a la configuración de los cuatro motores de 500 revoluciones por minuto y 3.5 kg, el chasis y las llantas están a la altura de este reto.
- Se diseñó un soporte para la bomba de agua que, hasta el momento, es un reto de ingeniería poder llevar el agua de un extremo a otro a través de tubos plásticos y evitar las filtraciones.
- Para el reto de las escaleras se consigue que las llantas en conjunto de con los motores (Nanotec, 25 de mayo del 2018) den la fuerza y coeficiente de fricción necesarios para subir sin contratiempos.
- Para la prueba del tornado, los motores y la habilidad de conductor logran superar a satisfacción la prueba.
- Para la prueba de la rampa, el diseño del chasis es acorde a las dimensiones de esta prueba. Los motores están en óptimas condiciones para cumplirla.

- Para la prueba de límite vertical, las llantas están construidas con un coeficiente de fricción alto. Se espera que las dimensiones del chasis y el sistema de suspensión permitan que el robot supere la prueba satisfactoriamente.
- Para la prueba del martillo de Thor, se diseña una carcasa para que, en caso de ser golpeado por uno de los martillos y caiga de la pista, tenga la fortaleza para soportar sin daños el golpe y, a la vez, la caída.

## Arquitectura y propuesta

La finalidad de participar en este concurso es poner en prueba los conocimientos adquiridos durante el transcurso de la carrera de Ingeniería Electrónica en la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN), conocimientos que dieron las bases necesarias para poder desarrollar sistemas y circuitos que logren cumplir con el requerimiento solicitado y obtener

la mejor puntuación posible. La intención era que los estudiantes pudieran diseñar modelos diferentes de los que ya existen, mejorar cada sistema existente y aportar un nuevo aire, tanto en el diseño como en el funcionamiento. Este trabajo buscó demostrar que se puede hacer reingeniería, diseñar completamente nuevos chasis y nuevos implementos.

## Conclusiones

Para el grupo de trabajo denominado MARK 1, como se llama el vehículo, se destaca el trabajo en equipo y el valor de apoyo a la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN) por las enseñanzas que han llevado a que se pueda realizar un vehículo con las particularidades dispuesta para superar los retos establecidos en este reto. En cuanto a las plataformas robóticas realizadas mediante múltiples ensayos y correcciones a los prototipos que se desarrollaron, se estableció que poseer un mejor sistema de comunicación permite tener una ventaja significativa, debido a que puede transmitir la información de forma rápida y eficaz.

En las pruebas realizadas en pista se observó que el comportamiento de MARK 1, en cuanto a los sistemas mecánicos, no tuvo mayores complicaciones, ya que, según lo observado en la competencia, se comportó como se esperaba. Esto indica que se realizaron los cambios necesarios y se adaptó a las necesidades dispuestas por los retos y a la pista en sí.

Se logró el objetivo de pasar la pista del Reto Indiana en los Cielos, la cual presentó una cantidad de obstáculos que fueron incrementando su nivel de dificultad a medida que avanzó el concurso. El vehículo Mark 1 obtuvo el cuarto lugar en una competencia con más de 50 vehículos participantes.

## Referencias

- Arce, E. (6 y 7 de diciembre del 2017). Desarrollo de aplicaciones móviles con App Inventor [presentación de diapositivas]. Santiago: Universidad del Desarrollo - Universidad de Excelencia (UDD); Encuentro de Centros de Apoyo a la Docencia (ECAD). Recuperado de <https://bit.ly/3oiSnYk>
- Boylestad, R. y Nashelsky, L. (2009). *Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*. México: Pearson Education.
- EcuRed. (s. f.). Mark I. Recuperado de <https://bit.ly/3kTeGl8>
- Espressif Systems. (2019). ESP32 Series Datasheet. Recuperado de <https://bit.ly/2WqRots>
- Hernández, A. (23 de mayo del 2016). Diseño mecánico en la industria automotriz [entrada de blog]. *Intelligy Blog*. Recuperado de <https://bit.ly/3kY2jEG>
- Informática General. (s. f.). Manchester Mark I. Recuperado de <https://bit.ly/3okPpLY>
- Microchip. (2001). *PIC16F87X data sheet*. Microchip Technology Incorporated. Recuperado de <https://bit.ly/2Y72EMH>
- Naylamp Mechatronics. (s. f.). Configuración del módulo Bluetooth HC-05 usando comandos AT [entrada de blog]. Recuperado de <https://bit.ly/3AXjpbi>
- Neudeck, G. (1994). *El transistor bipolar de Unión*. Addison Wesley.
- Nanotec. (25 de mayo del 2018). Compact brushless DC servo motor with integrated controller. Nanoten plug and drive. Recuperado de <https://bit.ly/3F9CtFx>
- Pinzón, S. (30 de mayo de 2019). Concurso Ingeo 2019B [entrada de blog]. Recuperado de <https://bit.ly/39Q8eVF>
- Savant, C., Roden, M. y Carpenter, G. (2000). *Diseño electrónico: circuitos y sistemas*. Ciudad de México: Pearson Education.
- Unisonic Technologies (2005). 2N3904 Datasheet. Recuperado de <https://bit.ly/3usn9ii>
- White, F. (2004). *Mecánica de fluidos*. Madrid: McGraw-Hill.