

# Diseño y fabricación de cronómetro digital aplicado a carreras de vehículos impulsados por CO<sub>2</sub> utilizando comunicación inalámbrica.

Machado-Díaz, E<sup>1</sup>; Serrano-Hernández, A<sup>1</sup>; Vaquera-González, E. <sup>1</sup>; Román-Landeros, D.A.<sup>1</sup>

## Datos de Adscripción:

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México (TecNM): Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, División de Ingeniería en Sistemas Automotrices, Av. Tecnológico No. 1555 Sur Periférico Gómez - Lerdo Km. 14.5, Ciudad Lerdo, Durango; México. C.P. 35150.  
eduardo.md@itslerdo.edu.mx

## Resumen -

Las carreras de vehículos impulsados por CO<sub>2</sub> son concursos muy populares dentro del mundo de la enseñanza ya sea a nivel media superior o superior. Sin embargo, la elaboración de la infraestructura, en la mayoría de los casos, queda a cargo de la institución en la que se lleva a cabo el evento. Esto conlleva un número importante de problemas logísticos, pues las pistas suelen tener una extensión considerable derivando problemas al momento de su armado.

Uno de los puntos más complejos en la elaboración de este tipo de pistas es la comunicación del lanzador (que se encuentra al inicio de ella) con los sensores de final de carrera (que se encuentran al final) pues si se realiza de forma alámbrica derivaría en un gasto considerable de conductores eléctricos, así como posibles fallas en su transporte.

Derivado de lo anterior, se plantea el diseño, fabricación y programación de un cronómetro digital a través de comunicación inalámbrica utilizando el protocolo ESPNOW para la comunicación del lanzador con los sensores de final de carrera, facilitando la elaboración de las pistas para estos eventos.

El cronómetro consta tanto del diseño del accionador realizado en software especializado, el cual cuenta con la instrumentación necesaria para detectar el momento correcto cuando se da comienzo a la carrera. Posteriormente se cuenta con el display numérico encargado de visualizar el tiempo de la carrera y que se encuentra controlado por un microcontrolador mediante elementos de programación como interrupciones por temporizador y externas para mayor exactitud.

**Palabras Clave** – Comunicación, Cronómetro, Inalámbrica, Instrumentación, Microcontrolador.

**Abstract** - CO<sub>2</sub>-powered vehicle races are very popular contests within the education world, whether at high school or university level. However, the creation of the infrastructure, in most cases, is managed for the institution where the event takes place. This entails a significant number of logistical problems, as the tracks tend to have a considerable length, resulting in issues during assembly.

One of the most complex aspects in the creation of these types of tracks is the communication between the launcher

(located at the beginning of the track) and the finish line sensors (located at the end of the track). If this communication is done via wired means, it would result in a considerable expense in electrical conductors, as well as possible transportation failures.

As a result of the above, the design, manufacture, and programming of a digital stopwatch is proposed through wireless communication using the ESPNOW protocol for communication between the launcher and the optical sensors, facilitating the creation of tracks for these events.

The stopwatch consists of both the design of the actuator made in specialized software, which has the necessary instrumentation to detect the correct moment when the race begins. Subsequently, there is a numerical display responsible for displaying the race time, which is controlled by a microcontroller, using programming elements such as timer and external interruptions for greater accuracy.

**Keywords** – Communication, Chronometer, Instrumentation, Microcontroller, Wireless.

## I. INTRODUCCIÓN

A medida que la popularidad de las carreras de vehículos impulsados por CO<sub>2</sub> crece, surge la necesidad de contar con sistemas de medición precisos y confiables para evaluar el rendimiento y la velocidad de estos vehículos.

En este contexto, el presente artículo se centra en el diseño y la fabricación de un cronómetro digital específicamente diseñado para su aplicación en carreras de vehículos impulsados por CO<sub>2</sub>. El objetivo principal es proporcionar a los competidores y espectadores una herramienta precisa y de alta tecnología para medir el tiempo y registrar los resultados de las carreras.

La propuesta se basa en la utilización de la comunicación inalámbrica como medio de transmisión de datos entre el vehículo y el cronómetro, lo que elimina la necesidad de conexiones físicas y permite una mayor flexibilidad en términos de ubicación y colocación del dispositivo de medición. Además, se busca garantizar la máxima precisión en la medición del tiempo, aprovechando los avances en tecnología digital y la implementación de algoritmos de sincronización y corrección de errores.

Este artículo presenta en detalle el proceso de diseño y fabricación del cronómetro digital, abarcando aspectos como la selección de componentes, la configuración de la comunicación inalámbrica, la implementación de algoritmos de medición de tiempo y las pruebas de funcionamiento. Se discutirán también las ventajas y desafíos asociados a la utilización de la comunicación inalámbrica en este contexto específico.

## 1.1 Origen de las carreras de vehículos impulsados por CO<sub>2</sub>

Las carreras de vehículos impulsados por CO<sub>2</sub> tienen sus raíces en la creciente preocupación mundial por los efectos negativos de los combustibles fósiles en el medio ambiente y la necesidad de buscar alternativas más sostenibles en el ámbito del automovilismo. Estas competiciones representan un esfuerzo por impulsar la innovación y el desarrollo de tecnologías que utilicen dióxido de carbono como fuente de energía, reduciendo así las emisiones contaminantes y promoviendo la conciencia ambiental en la industria automotriz (Blyth, 2015).

El surgimiento de las carreras de vehículos impulsados por CO<sub>2</sub> se remonta a finales del siglo XX y principios del siglo XXI. A medida que la preocupación por el cambio climático y la necesidad de encontrar alternativas más limpias en el sector automotriz aumentaban, se comenzaron a explorar diferentes enfoques para desarrollar vehículos de carreras más sostenibles. Fue en este contexto que surgieron las primeras competiciones dedicadas exclusivamente a los vehículos impulsados por CO<sub>2</sub> (Jo, 2013).

Una de las competiciones pioneras en este campo fue la "Greenpower" en el Reino Unido, que se inició en la década de 1990. Greenpower desafió a los participantes, en su mayoría estudiantes de instituciones educativas, a diseñar y construir vehículos de carreras impulsados por energía eléctrica o dióxido de carbono. Estas competiciones iniciales sentaron las bases para el desarrollo de tecnologías más eficientes y limpias en el automovilismo.

Con el tiempo, las carreras de vehículos impulsados por CO<sub>2</sub> se han expandido a nivel global. En diferentes países se han establecido competiciones locales y nacionales, brindando una plataforma para que equipos de estudiantes, ingenieros y entusiastas demuestren su creatividad y habilidades técnicas en el diseño y fabricación de vehículos de carreras más sostenibles.

Además de las competiciones locales, también se han creado eventos internacionales que han ganado reconocimiento y prestigio en la comunidad del automovilismo. Un ejemplo destacado es la "Shell Eco-marathon", una competición que se lleva a cabo en diferentes países alrededor del mundo. La Shell Eco-marathon desafía a los equipos a construir vehículos de ultra eficiencia energética, incluidos aquellos impulsados por CO<sub>2</sub>. Los participantes compiten para lograr la máxima eficiencia y recorrer la mayor distancia posible utilizando la menor cantidad de energía (Shell Eco-marathon., s.f.).

La evolución de las carreras de vehículos impulsados por CO<sub>2</sub> ha llevado a importantes avances tecnológicos en el diseño y la fabricación de vehículos más eficientes y respetuosos con el medio ambiente. Los equipos participantes han explorado diferentes enfoques, como la optimización aerodinámica, la utilización de materiales más ligeros y el desarrollo de sistemas de propulsión más eficientes, para mejorar el rendimiento de sus vehículos (Verhetsel, 2012).

Una de las competiciones más destacadas en el ámbito de los vehículos impulsados por CO<sub>2</sub> es la Aramco F1® Car Racing Challenge. Aramco, una compañía líder en energía y petroquímica, ha impulsado esta competencia para fomentar la innovación y el desarrollo de tecnologías más limpias en el deporte del automovilismo. El Evento se lleva a cabo en asociación con la Fórmula 1®, una de las competiciones

automovilísticas más prestigiosas y reconocidas a nivel mundial.

Esta competencia brinda a los equipos la oportunidad de diseñar y construir vehículos de carreras impulsados por CO<sub>2</sub> que compiten en un entorno altamente competitivo y de alto rendimiento. Un ejemplo de los vehículos utilizados en las carreras a nivel superior, y para los cuales está enfocado el presente proyecto es el que se muestra en la Figura 1.

**Figura 1**

*Ejemplo de diseño sencillo de vehículos utilizados en competencias de estudiantes.*

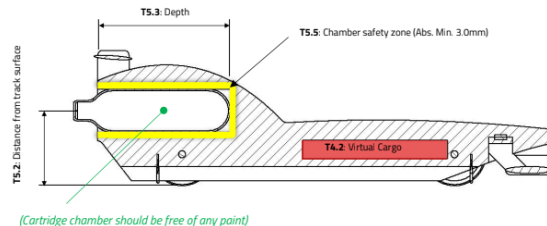


Los equipos participantes deben demostrar su habilidad para optimizar la eficiencia de los vehículos y superar los desafíos técnicos asociados con el uso del dióxido de carbono como fuente de energía. La Aramco F1® Car Racing Challenge destaca la importancia de la innovación y la sostenibilidad en el deporte del automovilismo y busca impulsar la adopción de tecnologías más limpias en esta industria (Formula 1, 2023).

Además del aspecto competitivo, las carreras de vehículos impulsados por CO<sub>2</sub> también han tenido un impacto significativo en la conciencia ambiental y la educación en temas de sostenibilidad. Un ejemplo de automóvil utilizado en las competencias se ve en la Figura 2.

**Figura 2**

*Ejemplo de diseño utilizado en Aramco F1®*



## 1.2 Carreras de vehículos impulsados por CO<sub>2</sub> en México.

Las carreras de vehículos impulsados por CO<sub>2</sub> han experimentado una notable evolución en las últimas décadas, tanto a nivel global como en México. Estas competiciones ofrecen una alternativa emocionante y sostenible a las carreras tradicionales, al utilizar dióxido de carbono como fuente de energía, reduciendo así las emisiones contaminantes y promoviendo la conciencia ambiental en el ámbito automotriz.

En México, el interés por las carreras de vehículos impulsados por CO<sub>2</sub> ha ido en aumento, especialmente en el ámbito educativo y de investigación. Estas competiciones se han convertido en una plataforma para que estudiantes y

profesionales de la ingeniería demuestren su creatividad, habilidades técnicas y conocimientos científicos en el diseño y fabricación de vehículos más eficientes y amigables con el medio ambiente (Orozco, 2019).

A continuación, se mencionan algunos eventos de carritos impulsados por CO<sub>2</sub> en México:

- **Competencia Nacional de Carros de CO<sub>2</sub>:** Organizada por diferentes instituciones educativas y asociaciones, esta competencia reúne a equipos de estudiantes de distintos niveles educativos para diseñar, construir y competir con carritos impulsados por CO<sub>2</sub>. El evento promueve la creatividad, el trabajo en equipo y la aplicación de conceptos científicos y tecnológicos.
- **Feria Nacional de Ciencias e Ingenierías (FENACI):** Este evento anual, enfocado en la divulgación científica y tecnológica, suele contar con una categoría dedicada a los carritos impulsados por CO<sub>2</sub>. Los estudiantes participantes presentan sus proyectos y compiten para demostrar la eficiencia, el diseño y la innovación de sus carros.
- **Feria Internacional de Ciencias e Ingenierías (FICI):** Similar a la FENACI, la FICI es una feria de ciencia e ingeniería que se lleva a cabo a nivel internacional. En esta competencia, los estudiantes presentan proyectos científicos y tecnológicos, incluyendo carritos impulsados por CO<sub>2</sub>, para ser evaluados por un jurado.
- **ExpoCiencias Nacional:** Como parte de ExpoCiencias, un evento anual que promueve la divulgación y el desarrollo científico en México, se suelen realizar competencias de carritos impulsados por CO<sub>2</sub>. Los estudiantes presentan sus proyectos y participan en exhibiciones y competencias para destacar la innovación y la creatividad en la construcción de estos carros.

Además de estas competiciones, diversas universidades y centros de investigación en México organizan eventos locales y nacionales para fomentar el desarrollo de vehículos impulsados por CO<sub>2</sub>. Estas competiciones suelen estar dirigidas a estudiantes de ingeniería y promueven la colaboración multidisciplinaria, la innovación tecnológica y la sustentabilidad.

A medida que la conciencia sobre el impacto ambiental de los vehículos convencionales continúa creciendo, se espera que las carreras de vehículos impulsados por CO<sub>2</sub> sigan ganando relevancia en México. Estas competiciones son una plataforma efectiva para fomentar la investigación y el desarrollo de tecnologías más limpias y eficientes en el sector automotriz, así como para promover la educación en temas relacionados con la energía renovable y la sostenibilidad.

### 1.3 Problemáticas de medición de tiempos.

Si bien las carreras son comunes en eventos académicos y de difusión científica, existen problemáticas en cuanto a la medición correcta de los tiempos. Es decir, se tiene que generar un sistema que permita cuantificar el tiempo que tarda el vehículo en recorrer la pista.

La presión ejercida por el CO<sub>2</sub> es considerable, y tomando en cuenta la aerodinámica de los vehículos, debe tener un rango de medición en el orden de los milisegundos. Así mismo se tiene que coordinar el sistema de ignición (de salida de los carritos) con la cuenta.

Se tienen antecedentes de cronómetros para diferentes eventos, se presenta el caso del proyecto realizado por (Montávez Madrigal, 2020) que diseñó e implementó un cronómetro digital utilizando una placa Raspberry Pi® para medición de tiempos en carreras de patinaje para evasión de obstáculos. El prototipo contiene como tarjeta de adquisición de datos, un Arduino Uno, al cual se le conectaron los sensores ópticos escogidos para la medición. Posteriormente, se programó una interfaz visual utilizando Python para el control de las pistas. El diseño de la interfaz desarrollada por el autor se muestra en la Figura 3.

**Figura 3**

*Cronómetro digital con interfaz visual para pruebas de patinaje*



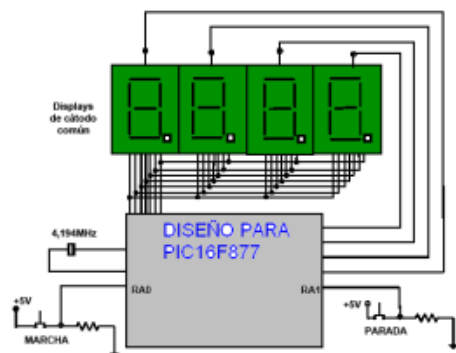
Sin embargo, el autor menciona que uno de los problemas a considerar en la implementación de este tipo de dispositivos es el cableado, pues es necesario llevar la señal de los sensores a los microcontroladores encargados de la adquisición de los datos. Lo que conlleva a limitaciones como:

- Aumento en el costo de los dispositivos.
- Problemas de conexión al momento de implementar el prototipo.
- Generación de sistemas de “conexión única” es decir, utilizar conectores que tengan una distribución establecida para evitar conexiones erróneas o accidentes al momento de conectar el cableado a los dispositivos correspondientes.
- El cableado debe de tener una tolerancia en caso de que se requiera realizar un cambio de posición de los elementos.

Todos los inconvenientes mencionados se tomaron en cuenta para la elaboración del presente proyecto.

Otro ejemplo de cronómetros, pero ahora mediante microcontrolador exclusivamente es el que fue diseñado y elaborado por (Núñez Pérez, 2011) quien propuso un cronómetro que esencialmente tiene dos componentes, uno de programación y otro de circuito; como elemento esencial en la combinación circuito-programación, se emplea un microcontrolador comercial PIC16F877.

El programa está estructurado para que el microcontrolador reciba señal de dos botones (Start o stop), procese la información, y muestre los datos en 4 displays de 7 segmentos (con punto decimal) de cátodo común. El circuito propuesto por Núñez se muestra en la Figura 4.

**Figura 4***Cronómetro digital para experimentos de física.*

El proyecto contiene un display cuádruple de cátodo común. Esto, en términos de diseño, no es óptimo por la gran cantidad de conexiones y recursos que se requieren del microcontrolador. Así mismo, la placa de circuito impreso se complica en su elaboración por las interconexiones que pueden generarse entre las pistas de conexión.

#### 1.4 Microcontrolador ESP32

El ESP32 es un microcontrolador de bajo costo y alto rendimiento que se ha vuelto muy popular en la comunidad de desarrollo de proyectos electrónicos. Con una arquitectura de doble núcleo y una velocidad de reloj de hasta 240 MHz, el ESP32 ofrece una potencia de procesamiento significativa para una amplia gama de aplicaciones (Pravalika, 2019).

Una de las cualidades más destacadas del ESP32 es su capacidad de comunicación inalámbrica. Equipado con un módulo Wi-Fi integrado, el ESP32 permite la conectividad a redes Wi-Fi, lo que facilita la comunicación y la interconexión con otros dispositivos y servicios en línea. Esto abre una amplia gama de posibilidades para aplicaciones IoT (Internet de las cosas), permitiendo al ESP32 interactuar con servicios en la nube, aplicaciones móviles y otros dispositivos inteligentes.

Además del Wi-Fi, el ESP32 también es compatible con Bluetooth, lo que amplía aún más sus capacidades de comunicación. Esto significa que el ESP32 puede conectarse y comunicarse de manera inalámbrica con dispositivos Bluetooth, como teléfonos móviles, tabletas, auriculares, altavoces y otros periféricos.

Entre las características de comunicación inalámbrica del ESP32, destaca el protocolo de comunicación ESP NOW. Este protocolo, desarrollado por Espressif Systems (la compañía detrás del ESP32), permite una comunicación directa y de baja latencia entre varios dispositivos ESP32 sin necesidad de un enrutador Wi-Fi. Esto es especialmente útil en aplicaciones de Internet de las cosas (IoT) donde se requiere una comunicación eficiente y de corto alcance entre múltiples dispositivos en una red local (Babiuch, 2019).

ESP NOW es ideal para aplicaciones como la monitorización y control de sensores distribuidos, la construcción de redes de sensores y actuadores, la comunicación entre nodos en una malla de dispositivos y muchas otras aplicaciones donde se requiere una comunicación inalámbrica simple y rápida.

## II. PARTE TÉCNICA

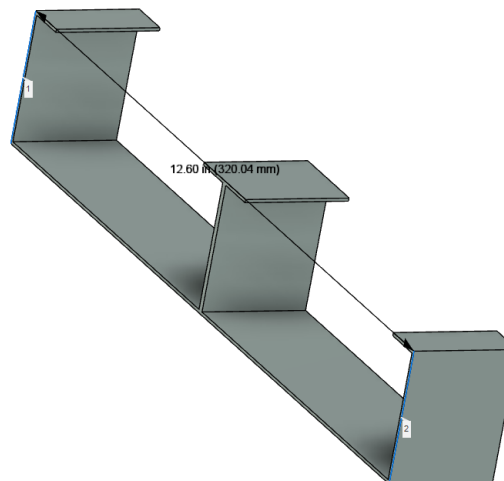
### 2.1 Especificaciones para el diseño del cronómetro.

El cronómetro se diseñó para un concurso de vehículos impulsados por CO<sub>2</sub> convocado por un instituto de educación superior con la finalidad de que los alumnos apliquen los conocimientos de diseño y apliquen técnicas de manufactura aditiva o reductiva y se interesen por la innovación y el desarrollo sustentable en su vida profesional.

En primer lugar, se debió de considerar las especificaciones técnicas que debería de tener el proyecto en general. Entre las características principales de diseño se encuentran:

- Que fuera desmontable, por motivos de transporte y almacenaje.
- Utilizar sensores ópticos que no interfieran en el recorrido de los vehículos.
- Utilizar visualización a través de display de 7 segmentos para cada carril o competidor.
- El sistema de lanzamiento debe estar vinculado inalámbricamente con los sensores de final de carrera y debe poder reiniciarse a voluntad del usuario.

Como punto de partida para las dimensiones físicas del cronómetro se debió de considerar el ancho de la pista en total, así como la tolerancia de los perfiles de aluminio. En la Figura 5 se muestran las medidas de los dos carriles unidos.

**Figura 5***Cronómetro digital para experimentos de física.*

Todos los modelos realizados en el presente informe fueron diseñados utilizando el software Fusion 360® a través de la licencia educativa.

El largo total de la pista es de 20mts. En el modelo mostrado solamente se muestra una parte para facilitar el ensamble de los demás componentes.

### 2.2 Selección de elementos para medición.

Una de las características principales del cronómetro es que el dispositivo que va a detectar el paso de los vehículos no afecte su recorrido. Se escogió un sensor óptico reflectivo E18-d80nk como el que se muestra en la Figura 6 que tiene un rango de 3 a 80cm y su alimentación es de 5V. Se van a colocar uno en cada riel de la pista.



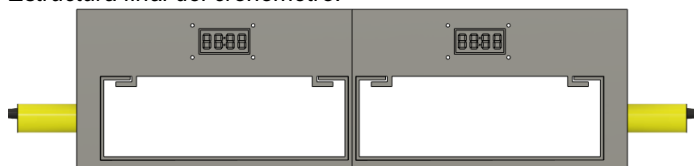


La tercer y última propuesta es la de la Figura 11, en esta, el sensor se mantiene en la lateral, pero ahora el montaje se realiza mediante presión. La estructura del cronómetro se “incrusta” en el perfil de aluminio.

En esta propuesta, se soluciona el problema de requerir tornillería y al mismo tiempo permite que el sensor sea removible de una forma más sencilla. También, al no estar completamente fijo, se puede calibrar la recta horizontal de llegada a cualquier punto del perfil. La altura del cronómetro es la máxima de los vehículos de acuerdo a la convocatoria con una tolerancia en caso de que algún carro sobrepase esta medida.

El elemento que permite que la estructura se incruste tiene tolerancia, pues realizando medidas físicas de los perfiles, éstos variaban unos de otros siendo necesario dejar un espacio que permitiera movilidad y a la vez sujeción.

**Figura 11**  
Estructura final del cronómetro.



Para la el montaje del módulo de visualización se optó por fijarlos por tornillería, pues éstos no deberán moverse en ninguna circunstancia. Los sensores ópticos se encuentran montados en la estructura del cronómetro mediante una rosca propia de su diseño. Los métodos de montaje se ven en la Figura 12.

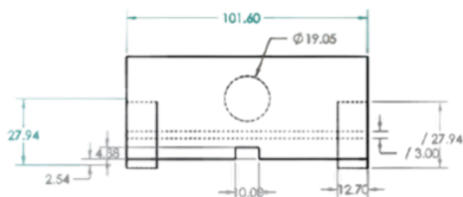
**Figura 12**  
Diseño de ensamble para display y sensor óptico.



## 2.4 Diseño del sistema de arranque.

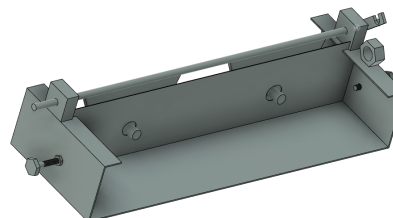
El sistema de arranque debe de realizar una perforación justo en el centro de los tanques de CO<sub>2</sub> del vehículo para liberar la presión del aire y hacer el movimiento. El mecanismo se realizó en base a las medidas puestas en la convocatoria del evento. Las medidas establecidas de altura para el tanque de CO<sub>2</sub> se muestran en la Figura 13 donde se ven las características de la parte trasera de los vehículos.

**Figura 13**  
Vista trasera con medidas para el tanque de CO<sub>2</sub>.



En base a lo anterior, se diseñó el mecanismo de accionamiento que se presenta en la Figura 14 que está compuesto de una placa metálica con un sistema de resortes para generar presión.

**Figura 14**  
Diseño mecánico del accionador



El accionamiento es manual, mediante el retiro de un perno que soporta la tensión de los resortes del accionador que está conformado de dos placas metálicas que tienen un clavo cada una, colocado a la altura establecida en los vehículos. Al retirar el perno, las placas traseras caen y los clavos golpean el tanque, haciendo la perforación que libera la presión.

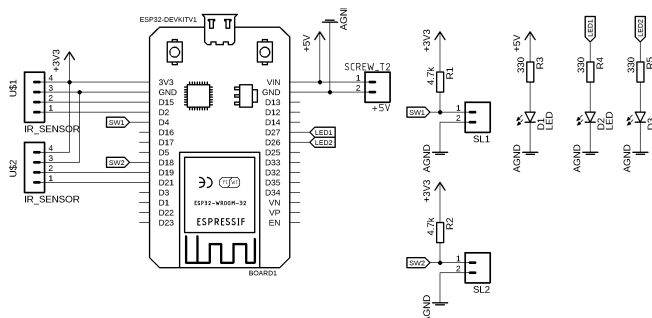
En este punto, se colocó un sensor óptico que será el encargado de detectar cuando el accionador cae, pues éste reflejará la luz del sensor, enviando la señal al display para comenzar a contar.

## 2.5 Diseño electrónico del cronómetro.

El diseño electrónico se puede dividir en dos partes: El circuito de arranque y el circuito de control de tiempo y detección de final de carrera.

El circuito de arranque consta de un botón pulsador que permitirá reiniciar el cronómetro y un sensor reflectivo en el mecanismo de arranque para iniciar el conteo. Utilizando el software Eagle® se diseñó el diagrama esquemático de la Figura 15.

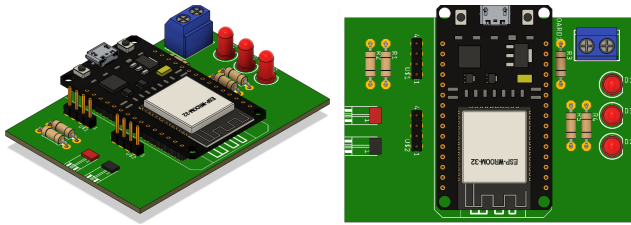
**Figura 15**  
Diseño esquemático del circuito de arranque.



Como medida preventiva, se colocaron dos conexiones para sensor infrarrojo. Una terminal de alimentación externa en caso de requerir una fuente de alimentación diferente al USB y conexiones para botones pulsadores externos en configuración Pull Up (lógica negativa). Así como 3 diodos LED que permitan visualizar el estado del cronómetro.

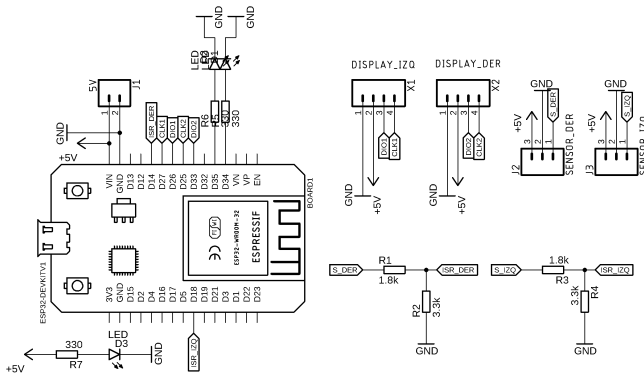
Mediante el mismo software se realizó el diseño del circuito impreso y la visualización en 3D. Esta última es de mucha importancia, pues en base a ella se va a crear la estructura donde irán montados los diferentes circuitos. La visualización del circuito en 3D se ve en la Figura 16.

**Figura 16**  
Vista 3D del circuito impreso para el accionador



Para el circuito de medición de tiempos y final de carrera se propuso el esquemático de la Figura 17. En este circuito se colocaron borneras por tornillo con la finalidad de que los cables provenientes de los sensores, así como de los display numéricos de siete segmentos pudieran conectarse con más facilidad.

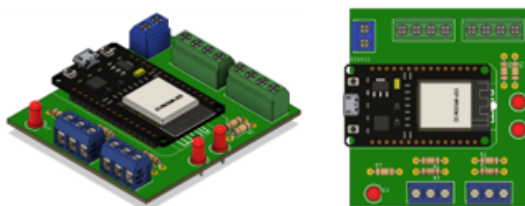
**Figura 17**  
Diseño esquemático para el circuito del cronómetro.



Debido a que los sensores ópticos funcionan con una salida a 5V se calcularon divisores de tensión para bajar el voltaje a 3.3V que es el voltaje de trabajo del ESP32. Como indicador de alimentación se implementó un LED para identificar si el circuito se encontraba alimentado. De igual forma, un borne de conexión para una fuente de alimentación externa.

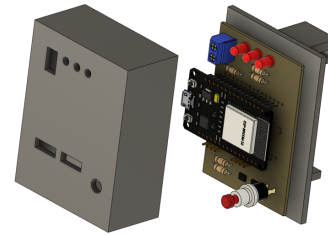
Con el circuito esquemático terminado, al igual que el circuito anterior, se diseñó la placa de circuito impreso y su vista en 3D que es la que se puede visualizar en la Figura 18.

**Figura 18**  
Vista 3D del circuito impreso para el cronómetro y sensores



Con la finalidad de proteger los circuitos electrónicos y que no estuvieran al alcance de las personas que asistieran al evento, se diseñaron gabinetes basándose en los diseños 3D de los circuitos anteriormente descritos. En la Figura 19 se muestra el gabinete elaborado para el circuito del accionador

**Figura 19**  
Vista 3D del diseño del gabinete para el circuito de accionamiento

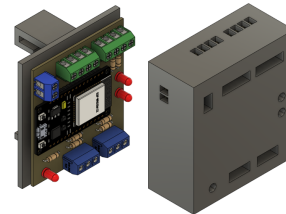


Se puede ver que el gabinete tiene una forma adecuada para ser fabricado mediante manufactura aditiva.

El gabinete se encuentra completamente sellado a presión y el riel que se incrustará en la pista se encuentra unido a través de tornillos a la placa de circuito impreso y a la base plástica. Así mismo, todos los elementos se encuentran accesibles para cualquier modificación.

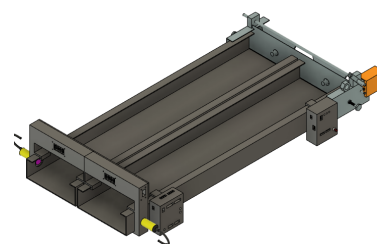
Repitiendo la operación se diseñó el gabinete para el circuito del cronómetro obteniendo la propuesta de la Figura 20.

**Figura 20**  
Vista 3D del diseño del gabinete para el circuito de medición



Con todos los elementos diseñados, se procedió a realizar el ensamble final de los componentes en la vista 3D de la pista, dando como resultado lo presentado en la Figura 21.

**Figura 21**  
Diseño 3D del ensamble de los elementos en la pista.



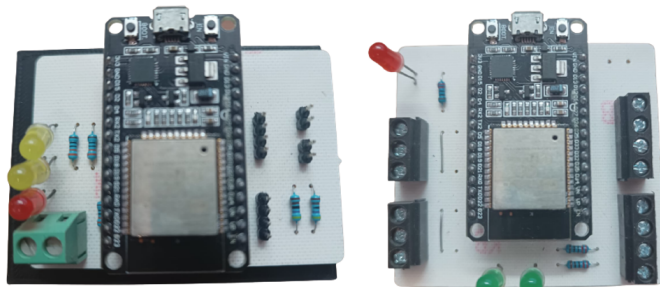
Se puede observar que todos los elementos se encuentran ensamblados de forma correcta en los perfiles de aluminio. Sin embargo, tienen tolerancias para que, al ser fabricados y colocados no tengan problemas con variaciones en las medidas de los componentes. Tener en cuenta que el tamaño total de la pista es de 20mts. Sin embargo, en el ensamble se ha acertado para una mejor visualización.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Fabricación de los elementos del cronómetro.

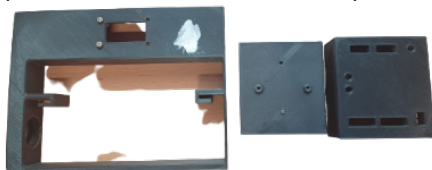
Para la fabricación de los circuitos impresos se usó el método de fresado CNC con la finalidad de que éstos tuvieran una mejor presentación y rendimiento. Los circuitos impresos con los componentes montados se ven en la Figura 22.

**Figura 22**  
*Circuitos impresos montados*



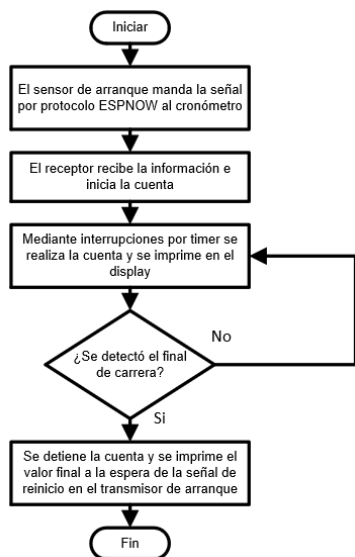
Posteriormente mediante tecnología de impresión 3D se fabricaron las estructuras del cronómetro y de los gabinetes de los circuitos electrónicos. Los elementos fabricados se ven en la Figura 23.

**Figura 23**  
*Estructuras plásticas realizadas mediante impresión 3D.*



Finalmente, con los elementos fabricados se procedió a realizar la programación de la comunicación inalámbrica. En la Figura 24 se muestra el diagrama de flujo para el funcionamiento del cronómetro. Los algoritmos se programaron utilizando el IDE de Arduino.

**Figura 24**  
*Diagrama de flujo del funcionamiento del cronómetro.*



Terminados todos los elementos se montaron en la pista para ser utilizados en el evento.

#### IV. CONCLUSIONES

El desarrollo de un cronómetro digital inalámbrico utilizando el protocolo ESPNOW para carreras de vehículos impulsados por CO<sub>2</sub> representa una solución innovadora y eficiente para abordar los desafíos logísticos asociados con la elaboración de la infraestructura de pistas en estos eventos. Al proporcionar una comunicación confiable sin la necesidad de cables, este sistema contribuye a reducir los problemas relacionados con el gasto de conductores eléctricos y posibles fallas durante el transporte.

Además de su funcionalidad práctica, este proyecto destaca por su enfoque en la aplicación de tecnologías de vanguardia y técnicas de diseño avanzadas. Mediante el uso de tecnología CAD-CAM-CAE y la impresión 3D, se logró diseñar y fabricar de manera precisa y eficiente los componentes del cronómetro, como el accionador y el display numérico.

Es importante destacar que este tipo de proyectos tecnológicos tienen un impacto significativo en el desarrollo de competencias profesionales en los alumnos de nivel superior. Al participar en el diseño, fabricación y programación de un producto tangible y funcional, los estudiantes adquieren habilidades prácticas en áreas como el diseño asistido por computadora, la fabricación digital y la programación de microcontroladores.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos al Tecnológico Nacional de México (TecNM); Instituto Tecnológico Superior de Lerdo por las facilidades brindadas para la realización del presente trabajo.

También se agradece a la División de Sistemas Automotrices, así como todos los docentes y alumnos involucrados para la realización del proyecto. Muchas gracias por su cooperación y participación con sus propuestas de mejora.

#### VI. REFERENCIAS

- Babiuch, M. (2019). Using the ESP32 microcontroller for data processing. *20th International Carpathian Control Conference*.
- Blyth, W. (2015). *Green Racing: Eco-Motorsports and the Environment*. CRC Press.
- Formula 1. (20 de mayo de 2023). Obtenido de <https://corp.formula1.com/partners/aramco/>
- Jo, H. (2013). Development of a CO<sub>2</sub> racing car using a fuel cell powertrain. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 781-785.
- Montávez Madrigal, A. (2020). *Diseño, desarrollo y validación de un cronómetro con un ordenador de placa reducida*. España: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Núñez Pérez, B. (2011). Cronómetro digital utilizando un microcontrolador de la familia PIC16F87X para instrumentar electrónicamente los ensayos y experimentos en laboratorios de física mecánica. *Revista Colombiana de Física*.
- Orozco, F. (2019). Análisis del desempeño y emisiones de CO<sub>2</sub> de vehículos híbridos y convencionales en condiciones de tráfico urbano en México. *Revista de Investigación en Ciencia e Ingeniería*, 47-59.
- Pravalika, V. (2019). Internet of things based home monitoring and device control using Esp32. *International Journal of Recent Technology and Engineering* 8, 58-62.
- Shell Eco-marathon. (s.f.). Obtenido de <https://www.shell.com/energy-and-innovation/shell-ecomarathon.html>
- Verhetsel, A. (2012). The Shell Eco-marathon: A socio-technical analysis of a fuel efficiency competition. *European Transport Research Review*, 43-54.