



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO
WEARABLE DE ASISTENCIA COGNITIVA AUDITIVA
PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO EN
COMPETENCIAS DE CICLISMO EXTREMO**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO ELECTRÓNICO

Autores:

MATEO EZEQUIEL VINTIMILLA PIÑA
KAM ZHENG WEI LAING SEBASTIAN

Director:

JAIME SEBASTIAN BURBANO VILLAVICENCIO

CUENCA-ECUADOR

2023

I. ÍNDICE DE CONTENIDOS

I. Índice de Contenidos.....	i
II. Índice de Figuras.....	ii
III. Índice de Tablas.....	iii
IV. Resumen:.....	iv
V. Abstract:.....	iv
I. Introducción y antecedentes.....	1
II. Descripción del sistema: copiloto virtual.....	3
A. Modo “Route”.....	3
B. Modo “Race”.....	4
C. Construcción del prototipo y pruebas unitarias de funcionamiento.....	5
D. Pruebas de funcionamiento.....	5
• Pruebas del módulo receptor GPS.....	5
• Pruebas de audio.....	5
E. Construcción del copiloto virtual.....	6
III. Validación del prototipo y análisis de resultados.....	6
A. Validación del prototipo en un ambiente controlado.....	6
B. Validación del prototipo en campo.....	6
IV. Conclusiones y trabajo futuro.....	7
V. Referencias.....	8

II. ÍNDICE DE FIGURAS

FIG. 1 DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO.....	2
FIG. 2 DIAGRAMA GENERAL DE LA ARQUITECTURA DE HW Y SW, SEGÚN LOS MODOS DE FUNCIONAMIENTO.	3
FIG. 3 DIAGRAMA DEL MODO "ROUTE".....	4
FIG. 4 ARQUITECTURA DE SW DEL MODO "ROUTE".	4
FIG. 5 DIAGRAMA DEL MODO "RACE".....	4
FIG. 6 ARQUITECTURA DE SW DEL MODO "RACE".	4
FIG. 7 PLACA PCB.	5
FIG. 8 HISTOGRAMA DE VARIABILIDAD DE LONGITUD.	5
FIG. 9 HISTOGRAMA DE VARIABILIDAD DE LATITUD.....	5
FIG. 10 PROTOTIPO DE COPILOTO VIRTUAL IMPLEMENTADO	6
FIG. 11 PRUEBAS DEL PROTOTIPO EN AMBIENTE CONTROLADO.	6
FIG. 12 RESULTADOS ENCUESTA CALIDAD DE EXPERIENCIA A PILOTOS DE PRUEBA.	7

III. ÍNDICE DE TABLAS

TABLA. I VARIABILIDAD DE LONGITUD Y LATITUD.....	5
TABLA. II TIEMPOS CRONOMETRADOS PISTA Z.....	7
TABLA. III TIEMPOS CRONOMETRADOS PISTA X.	7
TABLA. IV ENCUESTA DE CALIDAD DE EXPERIENCIA.....	7

IV. RESUMEN:

Durante los días de entrenamiento previos a una competencia de ciclismo extremo, resulta esencial para cada ciclista determinar la ruta óptima de carrera. Ésta depende de factores propios del deportista como también del terreno, por ello su definición es individual y única. Cambios en dicha ruta, pueden significar diferencias en los tiempos de competencia. Por lo cual, en este trabajo se diseñó e implementó un dispositivo wearable de asistencia cognitiva auditiva que brinda una retroalimentación referencial de la ruta óptima registrada. El sistema cuenta con dos modos de funcionamiento, uno donde se recopila los tramos críticos de la pista y el segundo que proporciona la asistencia cognitiva auditiva. El prototipo implementado se validó con ciclistas de diferentes categorías, donde se compara la mejoría en los tiempos de descenso en contraste con la metodología tradicional.

Palabras clave: asistencia cognitiva, auditiva, ciclismo extremo, dispositivo wearable, sistema embebido.

V. ABSTRACT:

During the days of preparation previous to a mountain biking competition, it is of utmost importance for each cyclist to determine the optimal race route. This depends on the cyclist's factors as well as the terrain, hence its definition is individual and unique. Changes in this route may result in significant competition time differences. For this reason, in this work, we implement and design a wearable hearing cognitive assistance device that provides the athlete with feedback on the registered optimal route. The system has two operation modes, one where critical sections of the track are collected and the second that provides hearing cognitive assistance. The prototype was validated with cyclists from different categories, where we compare the improvement of the riding times in contrast to the traditional methodology.

Keywords: audio system, cognitive assistance, embedded systems, mountain biking, wearable device.



Este certificado se encuentra en el repositorio digital de la Universidad del Azuay, para verificar su autenticidad escanee el código QR

Este certificado consta de: 1 página

Diseño e implementación de un dispositivo wearable de asistencia cognitiva auditiva para mejorar el rendimiento en competencias de ciclismo extremo

Vintimilla Piña Mateo Ezequiel
Escuela de Ingeniería Electrónica
Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador
mateo5003141@es.uazuay.edu.ec

Kam Zheng Wei Laing Sebastián
Escuela de Ingeniería Electrónica
Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador
kamsebastian@es.uazuay.edu.ec

Resumen—Durante los días de entrenamiento previos a una competencia de ciclismo extremo, resulta esencial para cada ciclista determinar la ruta óptima de carrera. Ésta depende de factores propios del deportista como también del terreno, por ello su definición es individual y única. Cambios en dicha ruta, pueden significar diferencias en los tiempos de competencia. Por lo cual, en este trabajo se diseñó e implementó un dispositivo wearable de asistencia cognitiva auditiva que brinda una retroalimentación referencial de la ruta óptima registrada. El sistema cuenta con dos modos de funcionamiento, uno donde se recopila los tramos críticos de la pista y el segundo que proporciona la asistencia cognitiva auditiva. El prototipo implementado se validó con ciclistas de diferentes categorías, donde se compara la mejoría en los tiempos de descenso en contraste con la metodología tradicional.

Keywords— *audio system, cognitive assistance, embedded systems, mountain biking, wearable device.*

I. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

En el ciclismo profesional y amateur, el deportista, en conjunto con su equipo de apoyo, desarrollan un plan estratégico a ser ejecutado durante cada carrera. Dicho plan se basa principalmente en el minucioso análisis de los aspectos técnicos y físicos del entorno de entrenamiento y de la competencia. Esto se realiza con el fin de garantizar el mejor desempeño posible del deportista, a la vez que se busca precautelar su integridad física y mental. Factores como la pendiente de la pista, zonas técnicas y tipo de terreno, además de las características propias del ciclista, determinarán el tipo de estrategia a utilizar; por lo que esta variará significativamente entre competencias y competidores.

Durante los días de preparación previos a la competencia, resulta esencial determinar la ruta óptima de carrera para cada ciclista en específico. Es decir, a pesar de recorrer la misma pista, cada deportista podrá tener una diferente ruta que le permita obtener el máximo beneficio de las condiciones de la carrera. Pequeños cambios en dicha ruta pueden significar grandes diferencias en los tiempos de competencia y, por ende, en los resultados alcanzados. La metodología comúnmente empleada hoy en día para esta parte del entrenamiento, consiste en que el ciclista memorice la pista

al recorrerla varias veces previo a la competencia. En cada recorrido, se realiza una ruta ligeramente diferente y, posteriormente el deportista y su equipo analizan minuciosamente cada uno de los intentos con el fin de determinar la ruta óptima de carrera. Esto normalmente se realiza en base a los mejores tiempos obtenidos en cada trayecto. Sin embargo, en la realidad, para el deportista resulta prácticamente imposible memorizar el 100% de la ruta determinada, lo cual da lugar a imprevistos que el ciclista deberá solucionar durante la carrera. Debido a factores como la adrenalina de la competencia, la fatiga muscular y mental, entre otros, las decisiones tomadas de forma apresurada e improvisada por el deportista no siempre se apega a la estrategia planteada.

En el ciclismo extremo, a diferencia de otras disciplinas (ej. rally), al tratarse de un deporte individual a la hora de competir, no se cuenta con un copiloto; el cual ayudaría a erradicar los problemas antes mencionados. En este ámbito, el uso de la tecnología durante las sesiones de entrenamiento y competencia, podría ser un factor determinante para potenciar el rendimiento del ciclista. Por ello, en este trabajo se implementa un dispositivo wearable de asistencia cognitiva (copiloto virtual) para competencias de ciclismo extremo, que brinda al deportista una retroalimentación referencial de la ruta óptima en un ambiente auditivo personalizado, permitiendo así que éste obtenga el mayor provecho de sus entrenamientos durante la competencia. El copiloto virtual obtiene la posición del ciclista y en base a la misma, reproduce un audio de retroalimentación a través de un audífono incorporado. Dicho audio contiene las instrucciones próximas a realizar por parte del ciclista en un determinado tramo crítico. Posteriormente, se actualiza la posición conjuntamente con el audio respectivo a medida que avanza por la ruta, teniendo así una retroalimentación de inicio a fin. Las instrucciones en específico son almacenadas previamente por el deportista, y presentan recomendaciones de cómo seguir el camino que más se apegue a la ruta óptima determinada, así como también condiciones técnicas próximas. En la Fig.1, se presenta un

diagrama general del funcionamiento del asistente cognitivo propuesto.

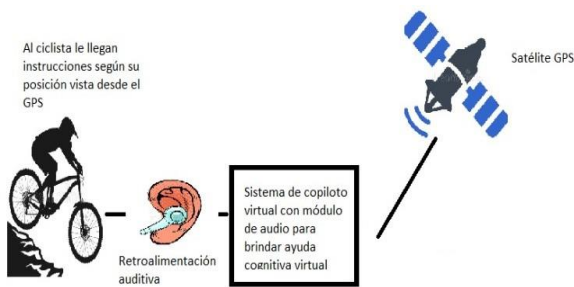


Fig. 1 Diagrama de Funcionamiento.

La cognición según APA, diccionario conciso de psicología, consiste en “toda forma de conocimiento y consciencia que permite la percepción, pensamiento, recuerdo, razonamiento, juicio, imaginación y solución de problemas” [1]. Es decir, la cognición permite al ser humano memorizar situaciones y eventos para generar conocimiento y consciencia de las acciones a realizar en su entorno. El continuo avance de la tecnología ha permitido el desarrollo de múltiples asistentes cognitivos con el fin de entrenar o mejorar una o varias habilidades de los seres humanos [2].

En general, existen dos tipos de asistencia cognitiva:

- **Visual:** los asistentes capturan información del entorno en el que se desenvuelve la persona a través de cámaras y sensores incorporados para magnificar la cantidad y la calidad de datos capturados y, posterior a una etapa de análisis, presentan la información de manera clara y concisa al usuario a través de algún tipo de *display*.
- **Auditiva:** A diferencia de los asistentes visuales, los asistentes cognitivos auditivos, basan su funcionamiento en el sentido del oído, donde se brindan instrucciones al usuario a través de un audífono.

En el marco de investigación y desarrollo de asistentes cognitivos, en el instituto de comunicaciones Fraunhofer [3], se realizó la simulación de un asistente cognitivo visual y auditivo para barcos militares. Este sistema sirve de ayuda en los centros de información de combate, ya que permite a los operadores tener un mejor rendimiento al momento de realizar sus tareas militares. El asistente cognitivo implementado resulta fundamental para entrenar operadores más calificados y mejorar sus tiempos de reacción ante los estímulos percibidos. Así mismo, en “Early Implementation Experience with Wearable Cognitive Assistance Applications” [4], se implementa un asistente cognitivo visual con la finalidad de presentar un método novedoso de asistencia en tareas complejas o que necesitan de cierto nivel de habilidad, como por ejemplo jugar al ping pong. Los investigadores hicieron uso de la tecnología que proveen los lentes inteligentes de Google (Google glasses) para ayudar a personas que intentan jugar este deporte por primera vez,

presentando sugerencias de cómo golpear la pelota al momento de recibir el ataque del contrincante. El sistema detecta la posición del oponente a través de la cámara integrada en los lentes, y con un modelo de inteligencia artificial, busca determinar el tipo de golpe que este podría realizar. En base a ello, predice la dirección de la pelota antes de que ésta llegue al campo que el usuario defiende. La retroalimentación se presenta en un *display* incorporado en los lentes, mediante un texto que indica la dirección esperada de la pelota. Por otra parte, en Zúrich-Suiza, se desarrolló un asistente cognitivo auditivo que ayuda a los pacientes que sufren de Parkinson [5]. Este dispositivo entra en funcionamiento cuando detecta que el paciente tiene un ataque de congelamiento de la marcha y emite un sonido hasta que se reanuda la misma, sirviendo de alerta para el usuario y personas cercanas que puedan brindar ayuda en caso de ser necesario.

La incorporación de asistentes cognitivos a los deportes es un área novedosa que ha captado el interés de industrias de múltiples índoles, en especial gracias al amplio uso de dispositivos *wearables* para el monitoreo y control de variables físicas durante los entrenamientos y competencia. Existen *wearables* que se han vuelto de uso común durante las sesiones de entrenamiento de los deportistas e incluso en la población en general. Un caso conciso son los dispositivos que se utilizan para monitorear el pulso cardíaco o el número de pasos realizados. Sin embargo, existen aplicaciones más específicas donde se puede realmente evidenciar las ventajas del uso de asistentes cognitivos en este tipo de dispositivos. En estos casos, las variables a monitorear y las habilidades a desarrollar en los deportistas amateur y profesionales, dependen exclusivamente del deporte que se practica.

En una investigación realizada en la Universidad del Azuay, se implementó un dispositivo wearable para la adquisición de datos acerca de la actividad muscular, con el fin de medir el rendimiento físico de un ciclista [6]. Las señales recopiladas se envían a una tarjeta embebida para su posterior procesamiento offline. Sin embargo, en un asistente cognitivo resulta crítico compartir la información con el usuario lo más cercano al tiempo real, ya que esto ofrece mejores resultados durante las sesiones de entrenamiento y en especial durante las competencias, al generar una reacción inmediata. Esto último se demuestra en un estudio realizado en la universidad de Aix Marseille, donde se utiliza un dispositivo de asistencia cognitiva para mejorar la fuerza de pedaleo de un ciclista [7]. El dispositivo emite un sonido en específico cuando se detecta una baja en el torque al momento del pedaleo, lo cual incentiva al ciclista a incrementar la fuerza empleada. Los resultados demuestran que las sesiones de entrenamiento pueden ser más eficientes con la ayuda de este tipo de dispositivos. En el estudio, además se comparan los dos tipos de asistentes cognitivos previamente mencionados (visuales y auditivos), donde los investigadores concluyen que, en el ciclismo, una retroalimentación visual es importante, pero poco útil, ya que el ciclista debe prestar el mayor nivel de atención posible a la ruta. Por ende, se recomienda el uso de un asistente auditivo, que brinda retroalimentación oportuna, sin sacrificar la concentración del deportista. Esto a su vez

mejora la seguridad del uso del asistente. Por otra parte, en la Universidad de Guayaquil, se desarrolló un prototipo de chaleco *wearable* inteligente para ciclistas con la finalidad de informar a los automovilistas los movimientos futuros del ciclista mediante un sistema de señalización con direccionales basado en leds (LilyPad). El sistema está comandado por una aplicación móvil que a su vez envía señales (ya sea por comando de voz o de manera manual) a una tarjeta embebida por medio de Bluetooth para que se accionen los leds señalando la dirección del movimiento del deportista [8]. En [9], se presenta un estudio realizado por el departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Sevilla donde se creó un dispositivo electrónico textil para señalización ciclista mediante reconocimiento de gestos. El sistema se incorpora a la vestimenta del deportista de una manera no invasiva y se conecta a un acelerómetro. De esta manera capta los gestos de la muñeca del ciclista para obtener un sistema de señalización simple que muestran el sentido de a dónde se dirige el mismo. En el año 2023, la UCI (Unión Ciclista Internacional) autorizó la incorporación de dispositivos de radios y uso de auriculares durante las competencias mundiales en disciplinas del ciclismo como el descenso de montaña, con el fin de tener una comunicación entre el ciclista y su equipo de trabajo durante los descensos [10].

Los estudios presentados sientan una base de estado del arte que demuestra que, en el ámbito deportivo, tanto para los deportistas, así como para los organismos que rigen el ciclismo extremo, la constante innovación y desarrollo de los dispositivos cognitivos llegará a ser más bien una necesidad para todo aquel implicado en esta disciplina. El copiloto virtual aquí propuesto se alinea con esta visión, ya que, a diferencia de los estudios presentados, se brinda asistencia cognitiva en tiempo real, a través de un ambiente auditivo personalizado que permita al ciclista apegarse a su ruta óptima durante las sesiones de entrenamiento o competencia.

Las secciones restantes de este documento se organizan de la siguiente manera: En la sección II se realiza el análisis de requerimientos del sistema propuesto, de los que derivan los modos de funcionamiento con los que contará el copiloto virtual. Además, se describe el proceso de implementación de un prototipo. En la sección III, se presentan las pruebas de validación realizadas con 3 ciclistas, con el fin de determinar si existe una mejora del rendimiento del ciclista al usar el copiloto virtual durante sus entrenamientos y competencia. Finalmente, en la sección IV se exponen las conclusiones en base a los resultados obtenidos en la sección anterior y trabajo futuro.

II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA: COPILOTO VIRTUAL

En el ciclismo extremo, cualquier dispositivo incorporado a la bicicleta no debe afectar en lo absoluto al mecanismo de la misma, ni a la visual o libre movilidad del deportista. Por ello, se debe prestar especial atención a las dimensiones y posicionamiento del copiloto virtual propuesto. También se debe tener en cuenta requerimientos básicos como la fácil accesibilidad al momento de registrar los tramos críticos y de escuchar las indicaciones. Finalmente, se requiere de un sistema confiable que registre el posicionamiento en todo

momento del ciclista y reproduzca las indicaciones oportunamente durante la competencia, con un consumo moderado de energía que permita que el dispositivo funcione durante jornadas largas de entrenamiento o de competencia.

Es fundamental destacar que el copiloto virtual propuesto en este estudio, no tiene como objetivo interferir con la forma tradicional en que los ciclistas entrenan, sino más bien presentarse como un complemento a la misma. Por ello, este dispositivo se diseña para ser un apoyo en los días previos y durante la carrera. De esta manera, durante el entrenamiento, el ciclista tiene la posibilidad de identificar tramos críticos y guardarlos para su posterior análisis. Durante la competencia, los audios de asistencia para cada tramo crítico se reproducen oportunamente con la finalidad que el deportista pueda apegarse de mejor manera a la estrategia planeada.

A partir de los requerimientos antes mencionados, se determina la incorporación de dos modos de funcionamiento para el copiloto virtual, mismos que se explican brevemente en la Fig.2, y a mayor profundidad a continuación.

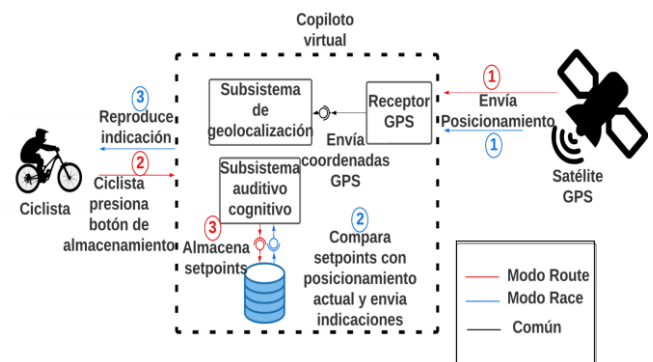


Fig. 2 Diagrama general de la arquitectura de HW y SW, según los modos de funcionamiento.

A. Modo "Route"

Este modo de funcionamiento tiene como objetivo adquirir los datos del día de entrenamiento del ciclista con la finalidad de generar la ruta óptima subjetiva. Esto se realiza mediante la adquisición de tramos críticos de donde el deportista requiere alguna indicación del copiloto virtual. El comportamiento de este modo se describe en la Fig.3.

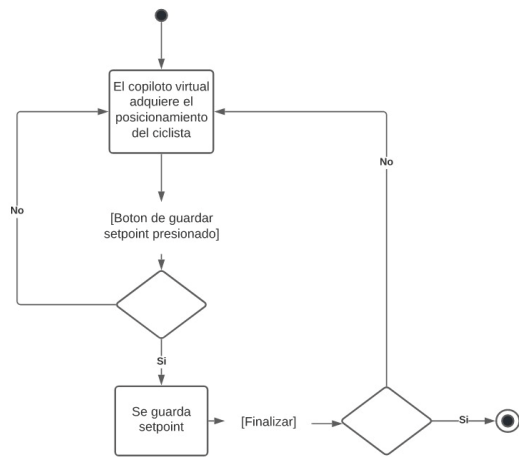


Fig. 3 Diagrama del modo "Route".

En la Fig.4 se detalla el SW implementado para la operación del modo "Route". Éste está diseñado para almacenar las coordenadas y el tiempo de descenso cada cierto intervalo, mismo que puede ser especificado por el usuario. Esto se realiza bajo la finalidad de generar una base de datos de la pista y así facilitar el posterior análisis del descenso realizado. Además, el modo genera una interrupción que se acciona cada vez que el ciclista solicita marcar un tramo crítico en específico. Esta información se almacena en una base de datos individual.

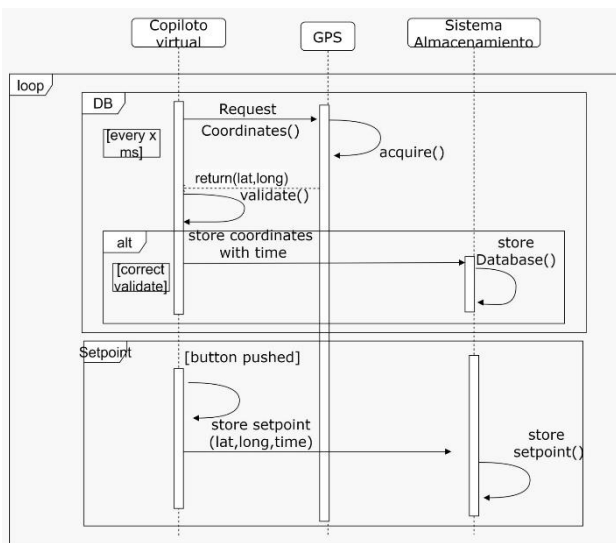


Fig. 4 Arquitectura de SW del modo "Route".

B. Modo "Race"

El segundo modo de funcionamiento o denominado modo "Race" facilitará al ciclista las indicaciones de cómo maniobrar en circunstancias o tramos críticos de la pista donde se registró un *setpoint* durante el entrenamiento con el modo "Route". Para que esto suceda, el copiloto virtual compara la posición actual del ciclista versus el *setpoint* y en base a ello, determina la indicación exacta para el tramo

crítico en cuestión. La Fig.5 muestra el comportamiento descrito para el modo "Race".

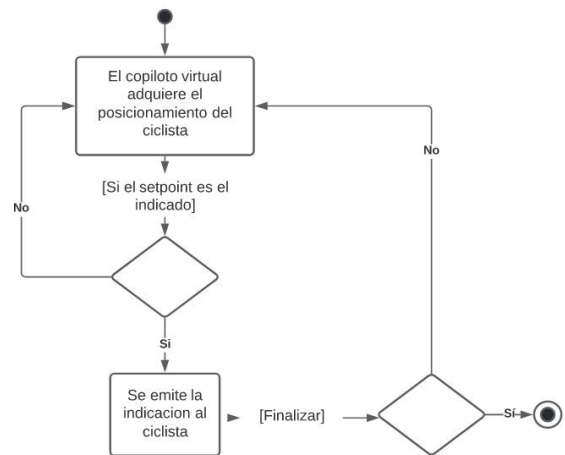


Fig. 5 Diagrama del modo "Race".

La Fig.6 describe la arquitectura de SW del modo "Race", donde el copiloto virtual lee los tramos críticos guardados por el ciclista en el modo "Route" y paralelamente adquiere las coordenadas en tiempo real mientras el ciclista realiza el descenso. Finalmente, el copiloto virtual compara la coordenada obtenida en el momento y el *setpoint* guardado durante el entrenamiento, si se encuentra dentro del rango de acción, el copiloto virtual brinda la asistencia cognitiva auditiva deseada al ciclista. Se considera como rango de acción al desfase de distancia entre el *setpoint* y el ciclista que determina la anterioridad con la cual deberá reproducirse una indicación. Éste se calcula en *runtime* en base a la velocidad de descenso capturada.

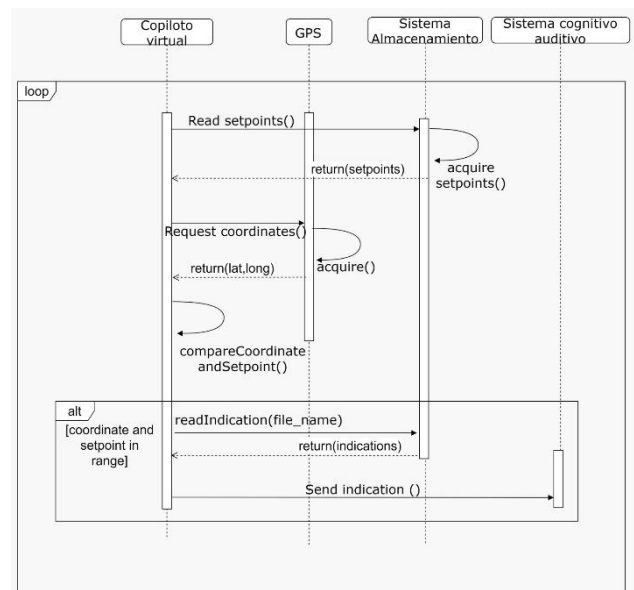


Fig. 6 Arquitectura de SW del modo "Race".

C. Construcción del prototipo y pruebas unitarias de funcionamiento

En este apartado se describe el proceso de implementación de un prototipo del copiloto virtual previamente modelado. Para ello, se implementan dos subsistemas dentro del copiloto virtual: el subsistema de geolocalización y el subsistema de asistencia cognitiva auditiva (Véase Fig.2).

Para la unidad de adquisición y procesamiento, se hace uso de un microcontrolador ESP32-WROOM-32 con Bluetooth V4.2 que se emplea para la comunicación con el audífono del ciclista por donde se reproduce la asistencia cognitiva auditiva. Para recibir la señal de posicionamiento satelital, se emplea el módulo NEO-6M con una precisión aproximada de 2 metros [11]. Finalmente, al módulo se le conecta una antena GPS externa que trabaja a una frecuencia de 1575.42 MHz, la cual provee de suficiente capacidad de recepción en entornos de montaña. Los *setpoints*, así como también los audios de asistencia, entre otros archivos de configuración del sistema, se almacenan en una memoria microSD, con el fin de brindar mayor capacidad de almacenamiento y flexibilidad al prototipo de copiloto virtual implementado. En el manillar, se incorporan los pulsantes de interacción con el usuario, así como indicadores de estado.

Para el diseño del circuito electrónico, se optimiza al máximo la ubicación de cada elemento disponible, asegurando un tamaño reducido y, evitando que interfiera con el ciclista y la bicicleta, en términos de movimiento, espacio y peso. El diseño cuenta con una placa de un solo lado, en donde se ubica el microcontrolador, módulo de recepción GPS y “headers” para la conexión hacia los pulsantes y leds indicadores ubicados en el mando del manillar. Lo anterior se puede observar en la Fig.7.

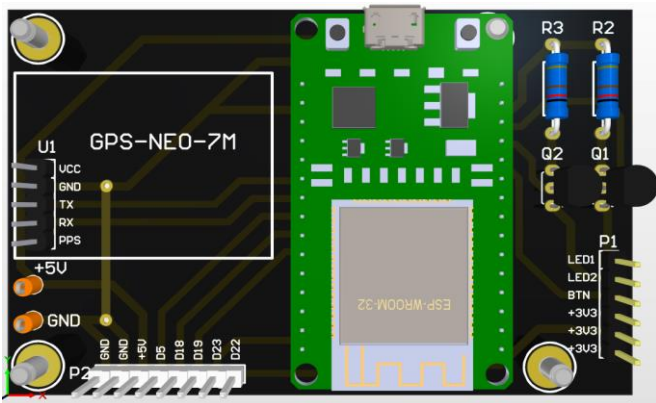


Fig. 7 Placa PCB.

D. Pruebas de funcionamiento

- Pruebas del módulo receptor GPS

Con el objetivo de obtener la variabilidad de las medidas del GPS implementado y determinar su idoneidad para su aplicación en el copiloto virtual, se realizaron múltiples

pruebas de funcionamiento. Inicialmente, se ubicó al módulo en una posición estática durante un intervalo de tiempo de 5 horas. Cada minuto se toman los datos de posicionamiento y con este “dataset” se calcula su variabilidad. Los resultados se muestran en la Tabla I.

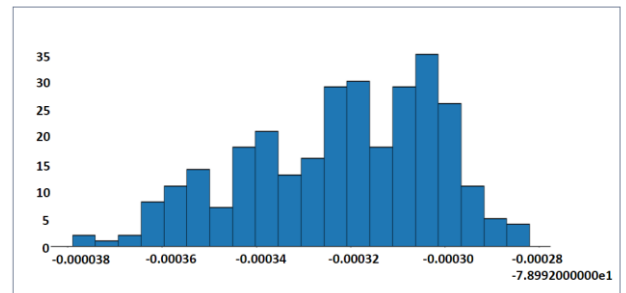


Fig. 8 Histograma de variabilidad de longitud.

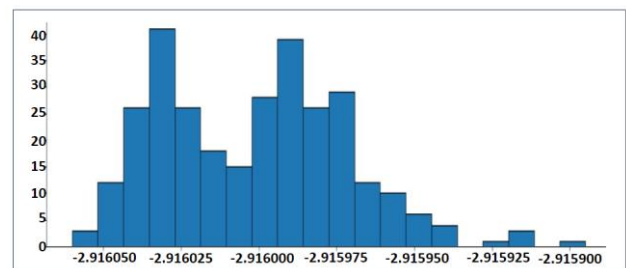


Fig. 9 Histograma de variabilidad de latitud.

TABLA. I VARIABILIDAD DE LONGITUD Y LATITUD.

Longitud	8.950334e-10
Latitud	4.136548e-10

Se puede comprobar en el histograma de la Fig.8 la cantidad de veces que se mide el mismo valor de longitud en el intervalo de tiempo propuesto. Por otra parte, en la Fig.9 se muestra el histograma de los valores de latitud. Ambas demuestran una alta fiabilidad de los valores capturados por el módulo receptor GPS, donde la variabilidad obtenida es prácticamente insignificante. Los resultados demuestran que el módulo GPS es capaz de reproducir las mismas mediciones de latitud y longitud para un determinado punto. Esto asegura la confiabilidad de los puntos de referencia adquiridos en cada *setpoint* en el modo “Route” y su correcta relación con la asistencia cognitiva auditiva en el modo “Race”.

- Pruebas de audio

Con el fin de proporcionar una asistencia cognitiva auditiva eficiente al ciclista sin comprometer su comodidad, se utiliza una conexión Bluetooth entre el microcontrolador ESP32-WROOM-32 y los audífonos inalámbricos del ciclista. Para las pruebas unitarias de este componente, se utilizan varios audios y *setpoints* almacenados con anterioridad en la tarjeta microSD del copiloto virtual. De

esta manera, se comprueba la precisión y velocidad de respuesta del copiloto virtual al comparar los *setpoints* y reproducción de las indicaciones. Los resultados de las pruebas demuestran una conexión Bluetooth estable y rápida, además las indicaciones se envían de manera clara y en el orden establecido.

E. Construcción del copiloto virtual

En base a los requerimientos anteriormente establecidos y el diseño de SW y HW debidamente contemplado, en la Fig.10 se presenta el prototipo construido. El cual cuenta con todos los componentes previamente mencionados. Para el diseño del armazón del copiloto virtual, se realizó un diseño ergonómico y robusto mediante impresión 3D de material PETG.



Fig. 10 Prototipo de copiloto virtual implementado

III. VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. Validación del prototipo en un ambiente controlado

Con la intención de validar el funcionamiento de prototipo de copiloto virtual, se realizaron inicialmente pruebas en un ambiente controlado. En la Fig.11, se observa la prueba realizada con un perímetro aproximado de 250 metros, en donde se hizo un primer recorrido tomando 4 *setpoints*. Posteriormente, se grabaron audios de prueba para que, en un segundo recorrido, el prototipo reproduzca el

respectivo audio. En esta prueba se comprueba exitosamente la precisión del módulo receptor GPS en movimiento conjuntamente con el correcto dictado de los audios por parte del subsistema auditivo cognitivo.



Fig. 11 Pruebas del prototipo en ambiente controlado.

B. Validación del prototipo en campo

Las pruebas de validación de campo se realizaron con un grupo de 3 pilotos de diferentes niveles de conducción, 1 novato, 1 amateur y 1 élite. Para el inicio de los descensos se sorteó el orden de salida de los pilotos. Cada prueba constó de 3 descensos por piloto. Se diseñaron dos pistas diferentes, que se refieren como la pista X y pista Z. Además, los pilotos no tenían conocimiento previo de la pista a recorrer para el descenso.

Durante dos descensos consecutivos en una nueva pista, es común que un piloto de ciclismo extremo reduzca los tiempos de carrera. Esto sucede debido a la memoria de visual comúnmente empleada como metodología tradicional de entrenamiento, mencionada a lo largo de este documento. Por ello, inicialmente se realiza una primera prueba a fin de determinar el grado de mejoría en los tiempos de carrera de los pilotos. El grupo de 3 ciclistas descendió la pista Z en tres ocasiones. La primera, siguiendo la forma habitual de reconocimiento visual y memorizando los trayectos. Posteriormente, realizaron el segundo y tercer descenso sin uso del prototipo. Es decir, en este experimento simplemente se realizó un cronometraje de los tiempos.

Para la segunda prueba, se escogió la pista X, y al igual que en el anterior experimento, constó de un primer descenso de reconocimiento de la forma habitual. Sin embargo, en esta ocasión, en el segundo descenso cada piloto usó el prototipo para marcar los tramos críticos en el modo "Route" y descendió de inicio a fin simulando una competencia cronometrada donde intentaron hacer el mejor tiempo posible. Cabe destacar que la acción de presionar el pulsante interfiere mínimamente en la técnica o control del ciclista sobre la bicicleta, por lo que la variabilidad en el tiempo de descenso provocado por esta tarea es despreciable. Al término del segundo descenso, se analizó la ruta óptima y las indicaciones con los 3 pilotos por

separado. Finalmente, en el tercer descenso, cada piloto usó el prototipo en modo "Race" para la asistencia cognitiva auditiva.

Los resultados obtenidos en ambas pistas se muestran en la Tabla II y Tabla III respectivamente. Se identifica una disminución significativa en los tiempos de descenso de aproximadamente 14 segundos para todos los ciclistas referente a la mejoría experimentada en la pista Z (descenso sin copiloto virtual). Este resultado representa una gran magnitud en el ciclismo extremo, puesto que diferencias de incluso milisegundos pueden determinar las posiciones finales de los ciclistas en la competencia.

TABLA. II TIEMPOS CRONOMETRADOS PISTA Z.

Pista Z			
Pilotos	Primer Descenso metodología estándar	Segundo Descenso metodología estándar	Desfase
Elite	5:26	5:14	12 s
Intermedio	5:38	5:31	7 s
Novato	6:23	6:18	5 s

TABLA. III TIEMPOS CRONOMETRADOS PISTA X.

Pista X			
Pilotos	Primer Descenso sin asistencia cognitiva	Segundo Descenso con asistencia cognitiva	Desfase
Elite	4:10	3:43	27 s
Intermedio	4:15	3:52	23 s
Novato	5:01	4:43	18 s

Finalmente se realizó una tercera prueba de validación del sistema. En este caso, con la finalidad de medir la calidad de experiencia de los ciclistas al utilizar el copiloto virtual durante sus sesiones de entrenamiento. Para ello, una vez realizadas las pruebas se les entregó una encuesta diseñada para este propósito. Las preguntas realizadas se muestran en la Tabla IV, y fueron realizadas en escala Likert, mismas que se representa como: 1= Totalmente en desacuerdo, 2= En desacuerdo, 3= Neutro, 4= De acuerdo, 5= Totalmente de acuerdo. Analizando la Fig.12, la cual es un gráfico de barras de las medias de las respuestas obtenidas en la encuesta, se puede observar según los resultados adquiridos que el

copiloto virtual implementado tiene una buena aceptación de parte de los ciclistas, quienes aseguran que la asistencia cognitiva auditiva brindada ayudó a apegarse a la ruta óptima individual, mejorando así sus tiempos de competencia significativamente.

TABLA. IV ENCUESTA DE CALIDAD DE EXPERIENCIA.

Pregunta 1	¿El uso del copiloto virtual me ayudó a apegarme a mi plan de carrera?
Pregunta 2	¿Las indicaciones del copiloto virtual se brindaron de manera oportuna?
Pregunta 3	¿He sido capaz de realizar el descenso con normalidad mientras uso el copiloto virtual?
Pregunta 4	¿El copiloto virtual no ha interferido con mi movimiento natural al momento de realizar el descenso, es decir no me ha incomodado en ningún momento durante el mismo?
Pregunta 5	¿El uso del copiloto virtual fue fácil?
Pregunta 6	¿Usaría el copiloto virtual para mis sesiones de entrenamiento?
Pregunta 7	¿Usaría el copiloto virtual para mis días de carrera?

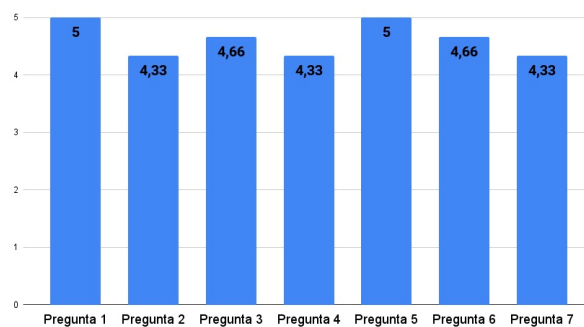


Fig. 12 Resultados encuesta calidad de experiencia a pilotos de prueba.

IV. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este trabajo se presentó la implementación de un copiloto virtual con asistencia cognitiva auditiva para ciclismo extremo, que brinda información personalizada para facilitar al ciclista su apego al plan de carrera durante jornadas de entrenamiento y competencia. Después de realizar las pruebas en campo con los pilotos en las pistas X y Z se concluye que existe una mejoría en ambos métodos, pero con la metodología del copiloto virtual se observa que existe una mayor reducción entre los tiempos de descenso

comparado con la metodología tradicional de hasta 14 segundos.

Además, con las respuestas proporcionadas por los ciclistas a la encuesta de calidad de experiencia con el copiloto virtual, se puede verificar el cumplimiento de los requerimientos presentados en la sección II. De igual manera, se concluye que existe una buena acogida al copiloto virtual por parte de los ciclistas ya que puede llegar a ser un complemento fiable al método tradicional de entrenamiento y competencia. Esto debido a que el copiloto virtual fue capaz de brindar indicaciones a los ciclistas de manera oportuna, facilitando así sus descensos. Además, con las nuevas modificaciones al reglamento de la UCI con respecto al uso de auriculares durante las competencias, el copiloto virtual puede ser usado en carreras a nivel mundial abaladas por el UCI.

Para trabajo futuro se plantea realizar las pruebas de las nuevas funciones del copiloto virtual con una población mayor de ciclistas. Además, con el fin de ofrecer mayor asistencia a los ciclistas, se plantea la adición de una función extra para el copiloto virtual, capaz de medir y mostrar los tiempos entre descensos y notificar al ciclista en caso de existir bajas de rendimiento.

V. REFERENCIAS

- [1] American Psychological Association, APA Diccionario conciso de Psicología, MEXICO D.F: EDITORIAL EL MANUAL MODERNO S.A de C.V, 2010.
- [2] J. L. Ordóñez, Dispositivos y tecnologías wearables, ACTA, 2016.
- [3] E. Ozyurt, B. Doring y F. Flemisch, «Simulation based development of a cognitive assistance system for NAVY ships,» de *IEEE International Multi-Disciplinary Conference on Cognitive Methods in Situation Awareness and Decision Support (CogSIMA)*, 2013.
- [4] Z. Chen, L. Jiang, W. Hu, K. Ha, B. Amos, P. Pillai, A. Hauptmann y M. Satyanarayanan, «Early Implementation Experience with Wearable Cognitive Assistance Applications,» de *Proceedings of the 2015 workshop on Wearable Systems and Applications*, Pittsburgh, 2015.
- [5] M. Bächlin, M. Plotnik, D. Roggen, I. Maidan, J. M. Hausdorff, N. Giladi y G. Tröster, «Wearable assistant for Parkinson's disease patients with the freezing of gait symptom,» de *IEEE transactions on information technology in biomedicine*, 2010.
- [6] X. Abril, Tecnología wearable en indumentaria deportiva Caso: Ciclismo BMX, Cuenca: Universidad del Azuay, 2019.
- [7] A. Vidal, D. Bertin, F. Drouot, R. Martinet-Kronland y C. Bourdin, «Improving the Pedal Force Effectiveness Using Real-Time Sonification,» *IEEE Access*, 2020, pp. 62912-62923.
- [8] T. Sandoval, Implementación de chaleco inteligente para la prevención de accidentes viales de ciclistas, Guayaquil: Universidad de Guayaquil, 2020.
- [9] A. A. Ángel, Sistema Electrónico Textil para Señalización Ciclista mediante Reconocimiento de Gestos, Sevilla: Universidad de Sevilla, 2016.
- [10] R. F. E. Ciclismo, «REGLAMENTO UCI DEL DEPORTE CICLISTA,» de *UCI*, 2023.
- [11] Ublox, NEO-6 u-blox 6 GPS Modules Data Sheet, U-Blox, 2011.