

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados
del Instituto Politécnico Nacional

Unidad Zacatenco
Departamento de Ingeniería Eléctrica
Sección de Bioelectrónica

Diseño y elaboración de un prototipo
electrónico para monitoreo y registro de
actividad física en ciclismo de ruta

Tesis que presenta:
Ing. Josué Isaí Sevilla García

Para obtener el grado de:
Maestro en Ciencias

En la especialidad de:
Ingeniería Eléctrica

Director de Tesis:
Dr. Arturo Minor Martínez

*Science, my lad, is made up of mistakes,
but they are mistakes which it is useful to make,
because they lead little by little to the truth.*

Jules Verne

*As a child I felt myself to be alone, and
I am still, because I know things and must
hint at things which others apparently
know nothing of, and for the most part
do not want to know.*
Carl Gustav Jung

*A mis padres, mi hermano
y
a Mariana.*

Agradecimientos

*Klug sein hat noch nie einen
Menschen an Dummheiten gehindert.*

Stefan Zweig

La presente tesis de grado elaborada en la sección de Bioelectrónica del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional que lleva impreso directamente mi criterio, pensamiento y conocimiento resultado no solo de mi mismo como autor intelectual, si no consecuencia indirecta de todos aquellos que resultaron un apoyo emocional durante el desarrollo de esta.

En primer lugar a mis padres, piedra angular de mi formación académica y moral, quienes han aportado recursos invaluable a mi desarrollo personal y sin quienes no me encontraría en una institución de tan alto nivel.

A mi hermano, óbice constante de mis distracciones, una persona de lo mas mordaz y lógica sin quien la constancia de este trabajo se hubiese visto en declive.

A mi director de Tesis el Dr. Arturo Minor Martínez quien deposito su confianza en mi para realizar un proyecto conjunto y que con su conocimiento, juicio y apoyo.

A mis compañeros que cada uno de ellos me ha dado un punto de vista distinto sobre un mismo entorno de conocimiento y con ello he perfeccionado mi criterio.

A la sección de Bioelectrónica, Laboratorio 5 y a sus miembros, quienes me acogieron y apoyaron sin distinción alguna.

Finalmente y no para menos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología que si bien no contribuye naturalmente en conocimiento, ha aportado los recursos necesarios para mi sustento y el desarrollo del proyecto.

Contenido

Agradecimientos	IX
Resumen	XIX
Abstract	XXI
Estado Actual	XXIII
Objetivos	XXVII
1. Antecedentes y Fundamentos	1
1.1. Ciclismo	1
1.1.1. Ciclismo de Ruta	3
1.1.2. Ciclismo de Ruta: Competencia de Alto Rendimiento	3
1.2. La Bicicleta	5
1.2.1. Evolución: Pasado y actualidad de la Bicicleta	8
1.2.2. Ergonomía: La bicicleta y el Ciclista	12
1.3. Preparación Física	13
1.3.1. Entrenamiento orientado a ciclismo	15
1.3.1.1. Capacidad aeróbica	18
1.3.1.2. Fuerza y potencia	19
1.3.2. Postura	20
1.4. Biomecánica en el Ciclismo	22
1.5. Rutas	24
1.5.1. Condiciones y características	24
1.5.2. Altimetría	25
1.6. Parámetros en Ciclismo	27
1.6.1. Potencia por kilogramo	27
1.6.2. Frecuencia cardíaca	29
1.6.3. Cadencia	32
1.6.4. Pendiente	33
1.6.5. Velocidad media	35
1.7. Electrónica en el Deporte	36
1.7.1. Sistemas de Monitoreo	37
1.7.2. Sistemas de análisis	38
1.8. Análisis de Datos	38

1.8.1.	Métodos estadísticos	39
1.8.2.	Modelado matemático	40
2.	Desarrollo y Diseño	41
2.1.	Sistema Electrónico de Monitoreo	41
2.2.	Fenómenos de Estudio	43
2.2.1.	Velocidad	44
2.2.2.	Cadencia	47
2.2.3.	Aceleración	49
2.2.3.1.	Altimetría	50
2.2.4.	Frecuencia Cardíaca	52
2.3.	Circuito Electrónico de Monitoreo	53
2.3.1.	Circuito Esquemático	53
2.3.2.	Placa Impresa	55
2.3.3.	Microcontrolador [ESP32-WROOM-32]	56
2.3.4.	Módulo de carga [TP4056] y batería [UFX902540]	57
2.3.5.	Pantalla OLED 164x32	58
2.4.	Firmware	59
2.4.1.	Operación General	59
2.5.	Procesamiento de Datos	64
3.	Resultados y Pruebas de Campo	65
3.1.	Resultados Preliminares	65
3.1.1.	Temperatura Ambiente	66
3.1.2.	Presión Barométrica	67
3.1.3.	Altimetría	68
3.1.4.	Velocidad	69
3.1.5.	Cadencia	70
3.1.6.	Temperatura Corporal	71
3.1.7.	Frecuencia Cardíaca	72
3.1.8.	Rutas de Prueba	73
3.2.	Análisis de Datos	74
3.2.1.	Velocidad Media	74
3.2.2.	Altimetría y Frecuencia Cardíaca	74
3.3.	Discusión de Resultados	76
3.3.1.	Variaciones del Sistema	76
3.3.1.1.	Presión Barométrica	76
3.3.1.2.	Velocidad & Cadencia	76
3.3.2.	Frecuencia Cardíaca	77
3.3.3.	Experiencia del Ciclista	78
3.3.3.1.	Paradas	79
3.3.3.2.	Inestabilidad	80
3.3.3.3.	Frenado	81
3.3.4.	Ruta	82

4. Discusión y Perspectivas	85
Conclusiones	87
Trabajo a futuro	89
Appendices	99
Registros y Versiones	101
.1. Registro para Circuitos	101
.2. Firmware	102
Consumo Eléctrico	103
.3. ESP32-WROOM-32	103
.4. Pantalla OLED 128x64	104
.5. Barómetro BMP280	105
.6. Acelerómetro MPU6050	106
.7. Reloj DS3231M	107
.8. Micro-SD	107
.9. Magnetómetro A11	108
Información adicional	109

Lista de Tablas

1.1.	Modalidades de Ciclismo	1
1.2.	Tallas de bicicletas de ruta y la estatura recomendada.	12
1.3.	Tabla de potencias por kilogramo obtenidas empleando la ecuación 1.1. . .	28
2.1.	Variables físicas e instrumentos de medición.	41
2.2.	Medidas estándar de llanta en ciclismo de Ruta.	45
2.3.	Resultados de la ecuación 2.4 propuesta para la determinación del numero de imanes.	46
2.4.	Características eléctricas y de operación del sensor barométrico.	51
2.5.	Módulos y protocolos de comunicación.	53
2.6.	Volumen de ocupación de los módulos electrónicos del circuito principal . .	55
2.7.	Direcciones y consumo medio de los módulos.	61
3.1.	Características principales de una ruta.	73
3.2.	Rutas de prueba propuestas.	74
3.3.	Caracterización de un ciclista por experiencia en llano.	78
3.4.	Caracterización de un ciclista por experiencia en montaña	79
3.5.	Caracterización de un ciclista por experiencia en llano	83
3.6.	Caracterización de un ciclista por experiencia en montaña.	83
1.	Registro de cambios del circuito de monitoreo.	102
2.	Registro de cambios en el firmware del monitor principal ESP32.	102
3.	Consumo eléctrico aislado del microcontrolador.	104
4.	Consumo eléctrico de la pantalla OLED	105
5.	Consumo eléctrico del barómetro BMP280.	106
6.	Consumo eléctrico del módulo MPU6050.	106
7.	Consumo eléctrico del módulo DS3231M.	107
8.	Corrientes de operación de memoria micro-SD Sandisk 2G	108
9.	Consumo eléctrico del módulo de detección magnética por efecto HALL. . .	108
10.	Modalidades de ciclismo reconocidas oficialmente por la UCI.	109

Lista de Figuras

1.	Orden de lectura recomendado.	XXVI
1.1.	Pruebas de ciclismo	2
1.2.	Automóvil Mavic de apoyo mecánico, Tour de Francia 2018.	4
1.3.	Gran Fondo y Norcom Straight, Fuji Bikes	4
1.4.	Marco de bicicleta de Ruta Orbea	5
1.5.	Manillar, horquilla y manetas de cambio en bicicleta de Ruta Orbea	6
1.6.	Llantas 700c Visión 40 SC	6
1.7.	Transmisión electrónica Shimano Dura-Ace	7
1.8.	Mecanismo piñón-cadena en una bicicleta moderna.	7
1.9.	Bosquejo de un medio de transporte, Giovanni di Fontana	8
1.10.	Estructura y diseño simplificado del velocípedo.	8
1.11.	Estructura y diseño del velocípedo modificado de Thomas McCall.	9
1.12.	Estructura y diseño del velocípedo modificado de Pierre Lallement.	9
1.13.	Bicicleta de rueda alta, diseño convencional.	10
1.14.	Maquina segura, predecesora de la bicicleta moderna.	11
1.15.	Evolución de cadenas en la transmisión mecánica.	11
1.16.	Planificación de entrenamientos previo a maratón.	14
1.17.	Curvas ideales de rendimiento durante un periodo de preparación física.	15
1.18.	Ciclista profesional Tadej Pogačar en el Tour de Francia con una postura aerodinámica.	20
1.19.	Ciclista profesional Alejandro Valverde en el Tour de Francia con una postura de escalador.	21
1.20.	Puntos de contacto del usuario en una bicicleta de ruta.	21
1.21.	Principales músculos empleados en la fase de empuje en una bicicleta de ruta convencional.	23
1.22.	Diferencias entre carreteras de asfalto.	25
1.23.	Altimetría de la etapa 8, Tour de Francia 2021.	26
1.24.	Pendiente promedio de la etapa 8, Tour de Francia 2021.	26
1.25.	Señal y zonas de frecuencia cardíaca.	31
1.26.	Definición geométrica de una pendiente en carretera.	33
1.27.	Geometría para el calculo de la pendiente.	34
2.1.	Esquema general del sistema principal de monitoreo y registro.	42
2.2.	Detección de campo magnético en el aro de la rueda.	44

2.3. Ubicación de imanes en el aro trasero y el sensor de efecto hall en el marco de la bicicleta.	47
2.4. Ubicación del imán y sensor de efecto hall en el marco de la bicicleta. . . .	48
2.5. Ciclo de medición del sensor de presión barométrica.	51
2.6. Diagrama funcional del sensor IR para frecuencia cardíaca.	52
2.7. Esquema electrónico del circuito de control unificado.	54
2.8. Diseño final de la placa impresa en 3 secciones.	56
2.9. Medidas aproximadas de la batería para el sistema de monitoreo.	57
2.10. Circuito integrado para carga de baterías tipo Li-ion de celda única.	58
2.11. Diagrama de flujo de la operación del circuito electrónico de control para monitoreo y registro.	59
3.1. Temperatura ambiente en una habitación cerrada detectada con el sensor BMP280.	66
3.2. Comparación de referencia de temperatura ambiente en exteriores sin exposición directa al sol.	66
3.3. Discrepancia entre tomar lectura en ambiente cerrado y en exterior durante una ruta.	67
3.4. Variación de presión en ambientes cerrados con sensor BMP280.	67
3.5. Variación de presión en exteriores con sensor BMP280.	68
3.6. Comparativa de altimetría por barómetro (calculo) y GPS comercial. . . .	69
3.7. Detección de variación en velocidad mediante el uso de magnetómetro. . .	70
3.8. Detección de cadencia en en exteriores en una ruta llana.	70
3.9. Detección de la temperatura corporal en sección posterior del antebrazo en interiores.	71
3.10. Detección de la temperatura corporal en sección posterior del antebrazo en exteriores.	71
3.11. Comparativa de frecuencia cardíaca en interiores de un estado de reposo a una actividad medianamente demandante.	72
3.12. Comparativa de frecuencia cardíaca en exteriores durante una actividad demandante.	73
3.13. Perfil de altimetría de la ruta designada C.	75
3.14. Perfil de pendiente promedio por kilómetro de la ruta C.	75
3.15. Recorrido de 20 kilómetros realizado por un ciclista novato y un ciclista amateur.	80
3.16. Lectura de aceleración en una ruta llana con asfalto dañado.	81

Resumen

Este trabajo presenta las propuestas, conjeturas, estudios y pensamientos evocados en torno al desarrollo de un prototipo electrónico de monitoreo y registro de la actividad física de un ciclista para el análisis de su desempeño y la caracterización de rutas.

Los elementos contextuales que incentivan el desarrollo de este trabajo tienen origen en la carente aplicación de la ciencia y tecnología en los deportes dentro de territorio mexicano, especialmente hablando de equipamiento deportivo para ciclismo de ruta.

Hoy día la mayoría de atletas en competencias internacionales cuentan con respaldo de especialistas deportivos que brindan soporte al atleta, ellos hacen uso de la ciencia y tecnología disponible a fin de llevar al atleta a su máximo rendimiento.

México carece tanto de equipo como personal especializado en el área; es deseable entonces que el resultado de este trabajo permita al ciclista amateur lograr ser profesional, mediante el acceso a equipo y tecnología orientada a su preparación deportiva.

Los trabajos de Luis García en 2017(MX) y el de Laura Cruz en 2020(COL) son similares a el presente proyecto, compartiendo el objetivo de monitorear la actividad física de un ciclista sobre la bicicleta con objeto de perfeccionar ya sea la postura o técnica del ciclista para conseguir mejores resultados en carrera[1, 2].

Mediante sensores digitales se obtienen las variaciones puntuales de cada fenómeno físico presente al montar en bicicleta, recurriendo al uso de la computación se almacenan datos constantemente de estos parámetros para estudiar su comportamiento *ex situ*.

La información obtenida de las pruebas de campo aporta conocimiento sobre el comportamiento de un ciclista, y al mismo tiempo un perfil de variaciones y relaciones entre los diversos fenómenos físicos presentes al practicar ciclismo de ruta.

El hecho de prepararse adecuadamente para una competencia puede alterar notoriamente el resultado, por ello es prudente contar con equipo que permita parametrizar la actividad física del ciclista a fin de tener información con la cual planificar entrenamientos.

Abstract

This work presents the proposals, conjectures, studies and thoughts evoked around the development of an electronic prototype for monitoring and recording the physical activity of a cyclist for the analysis of their performance and the characterization of routes.

The contextual elements that encourage the development of this work have their origin in the lack of application of science and technology in sports within Mexican territory, especially speaking of sports equipment for road cycling.

Nowadays the majority of athletes in international competitions have the support of sports specialists who provide support to the athlete, they make use of the science and technology available in order to take the athlete to their maximum performance.

Mexico lacks both equipment and specialized personnel in the area; For this reason, it is desirable that the result of this work allows the amateur cyclist to become a professional, through access to equipment and technology aimed at their sports preparation.

The work developed by Luis García in 2017(MX) and the project of Laura Cruz in 2020(COL) are similar to this project, sharing the objective of monitoring the physical activity of a cyclist on the bicycle in order to improve the cyclist's posture or technique to achieve better results in race[1, 2].

By means of digital sensors, the punctual variations of each physical phenomenon present when riding a bicycle are obtained, resorting to the use of computers, data on these parameters are constantly stored to study their behavior *ex situ*.

The information obtained from field tests provides knowledge about the behavior of a cyclist, and at the same time a profile of variations and relationships between the various physical phenomena present when practicing road cycling.

The fact of preparing properly for a competition can significantly alter the result, so it is prudent to have equipment that allows parameterizing the physical activity of the cyclist in order to have information with which to plan training.

Estado Actual

*Sólo un optimista podría
fracasar con tal grandeza.*

Juan Villoro

Con las primeras apariciones del ciclismo de ruta se ha demostrado lo que se puede lograr sobre una bicicleta, tanto recorridos de larga distancia como altas velocidades en cortas distancias, no siendo medito exclusivo del ciclista, más bien un producto conjunto entre el individuo y la aplicación de las ciencias y tecnologías en el deporte.

Hoy día en el ciclismo de alto rendimiento los ciclistas tienen el respaldo de un equipo integrado con personal especializado en ciencias del deporte y capacitados en el uso de maquinas, herramientas y dispositivos electrónicos orientados al ciclismo de ruta.

Así paulatinamente la tecnología creada para asistencia deportiva comenzó a formar parte indispensable del equipamiento para preparación física de alto nivel, complementando el trabajo del personal especialista en entrenamiento deportivo y preparación física.

Equipos internacionales de ciclismo que cuentan con una plantilla de excelentes ciclistas, también disponen del apoyo de personal especializado en diferentes áreas como mecánica, nutrición, acondicionamiento físico, psicología, cocina, medicina, fisioterapia que trabajan con el soporte de tecnología orientada al deporte[3].

En contraste México no ha logrado consolidar de forma efectiva la practica del ciclismo de ruta en forma profesional debido principalmente a escasos recursos económicos y humanos destinados al desarrollo del deporte competitivo al interior de la república.

Las condiciones de inseguridad, falta de cultura vial, costos de equipamiento deportivo y un calendario con escasas pruebas de ciclismo de ruta dentro del país aleja la mayoría de los ciclistas nacionales interesados en sobrepasar el nivel de amateur para llegar a ser profesionales[4][5].

Más aún el desinterés social contribuye en gran medida al declive del nivel competitivo de atletas mexicanos en disciplinas como el ciclismo; siendo muy usual que los mejores atletas mexicanos entrenen en el extranjero, como el caso del equipo para ciclismo de montaña A.R. Program Cycling Teams[6].

Los problemas mencionados en los párrafos anteriores destacan las carencias del entorno en la practica del ciclismo, sin embargo no son los únicos problemas que se encuentran, y no son a los que este trabajo se enfoque en resolver con el uso de la ciencia y tecnologías disponibles hoy día.

El rendimiento deportivo de atletas mexicanos en competencias internacionales se diferencia de los demás competidores sobre todo en los recursos materiales y humanos invertidos en la preparación de los atletas. Por lo que el desarrollo de la ciencia y tecnología orientada al rendimiento deportivo es determinante en el futuro del deporte en México.

Tecnología orientada al deporte de alto rendimiento se centra en dispositivos que proveen métricas, y datos en bruto como resultado de practicar un ejercicio físico y requieren de un especialista en el tema para interpretarlos, empleados principalmente por profesionales.

Análogamente existen dispositivos especializados en la portabilidad y accesibilidad de manejo, estos se prestan a un uso más extendido, relacionado con el costo y la simplicidad en su manejo, populares entre quienes practican este deporte de forma recreativa o amateur.

Ambos cubren la necesidad de conocer los fenómenos físicos presentes en la practica del ciclismo, asignando parámetros cuantificables y medibles a los modelos físicos dinámicos que representan la actividad realizada sobre la bicicleta.

México posee estos dispositivos de forma limitada, su disponibilidad y precio dependen de empresas dedicadas a la comercialización de productos por importación, aunado a ello la falta de especialistas en la materia contribuye a que estos no se empleen adecuadamente.

La finalidad de desarrollar tecnología deportiva en el país no busca resolver unicamente el problema económico, la pretensión a largo plazo es proveer de herramientas adecuadas al atleta amateur con la finalidad de que este pueda entrenar a un nivel profesional, aumentando en consecuencia el nivel competitivo del país.

La investigación orientada al ciclismo de ruta se encuentra acaparada principalmente por marcas de productos de ciclismo que desde hace años se encuentran constantemente en el desarrollo de productos que aporten algo nuevo a la industria del ciclismo, ejemplo de ellas son Shimano y Sram[7, 8].

Ahora bien existen más personas y científicos interesados en el desarrollo continuo del ciclismo como disciplina deportiva, que mediante el apoyo de instituciones dedicadas a investigación realizan sus propios estudios sobre el comportamiento del ciclista o acerca del equipamiento usado en ciclismo.

En México y Latinoamérica es prácticamente inexistente la investigación dentro del ámbito deportivo, no obstante se pueden hallar trabajos únicos desarrollados por quienes tienen un gran interés por desarrollar conocimientos y tecnológica en el área deportiva como es el ciclismo de ruta.

Tal es el caso de Luis García quien en 2017 dentro del CINVESTAV desarrollo un monitor de velocidad y presión de aire para ciclismo de pista, esta investigación comparte una gran similitud con los objetivos del presente proyecto, en ambos casos se realiza un monitoreo de la actividad del ciclista con la finalidad de mejorar algún aspecto de este[1].

Otros proyectos desarrollados en la república se orientan más al campo de la rehabilitación, como el de R. Franco que presento en 2016 un trabajo acerca de la rehabilitación de miembros inferiores mediante el uso de una bicicleta estática y videojuegos.[9]

Otro trabajo con gran similitud al presente es el de Laura Cruz en Colombia durante 2020 que presenta la importancia de una correcta postura en el ciclismo de ruta, ella junto a su equipo realizaron un monitoreo de la postura del ciclista sobre la bicicleta con objeto de corregir u optimizar la postura[2].

Tanto el proyecto de Luis G., Laura C. y el presente comparten un proceso común de observación, análisis y ejecución; todos obtienen métricas e información sobre el comportamiento del ciclista sobre la bicicleta, se registran los datos y se analizan detenidamente para buscar ya sea una solución a un problema o una mejor forma de ejecutar el ejercicio.

De forma particular este trabajo busca el mismo procedimiento que es la observación del fenómeno, el registro de datos mediante uso de electrónica digital y un posterior análisis profundo de los resultados empleando software con la finalidad de proporcionar una retroalimentación adecuada al ciclista sobre su rendimiento en ruta.

La totalidad de este trabajo se conforma por cuatro capítulos cuya estructura de lectura esta planificada para ser lineal, en consecuencia el primero de los capítulos se enfoca principalmente en las bases fundamentales del ciclismo de ruta desde que existe como deporte.

El segundo de los capítulos expone la forma en que se afronto el problema a resolver así como las metodologías implementadas para lograr el desarrollo integro del prototipo, así el

tercer capítulo es un compendio de los resultados obtenidos durante las pruebas de campo. Finalmente para el cuarto capítulo se reservan las aplicaciones prácticas, futuras investigaciones y las conclusiones finales, se recomienda vehementemente recurrir a los apéndices cuando sea necesario ya que son material complementario del trabajo, así como sugerir que se conserve el orden de lectura lineal que se propone en el diagrama de la figura 1.

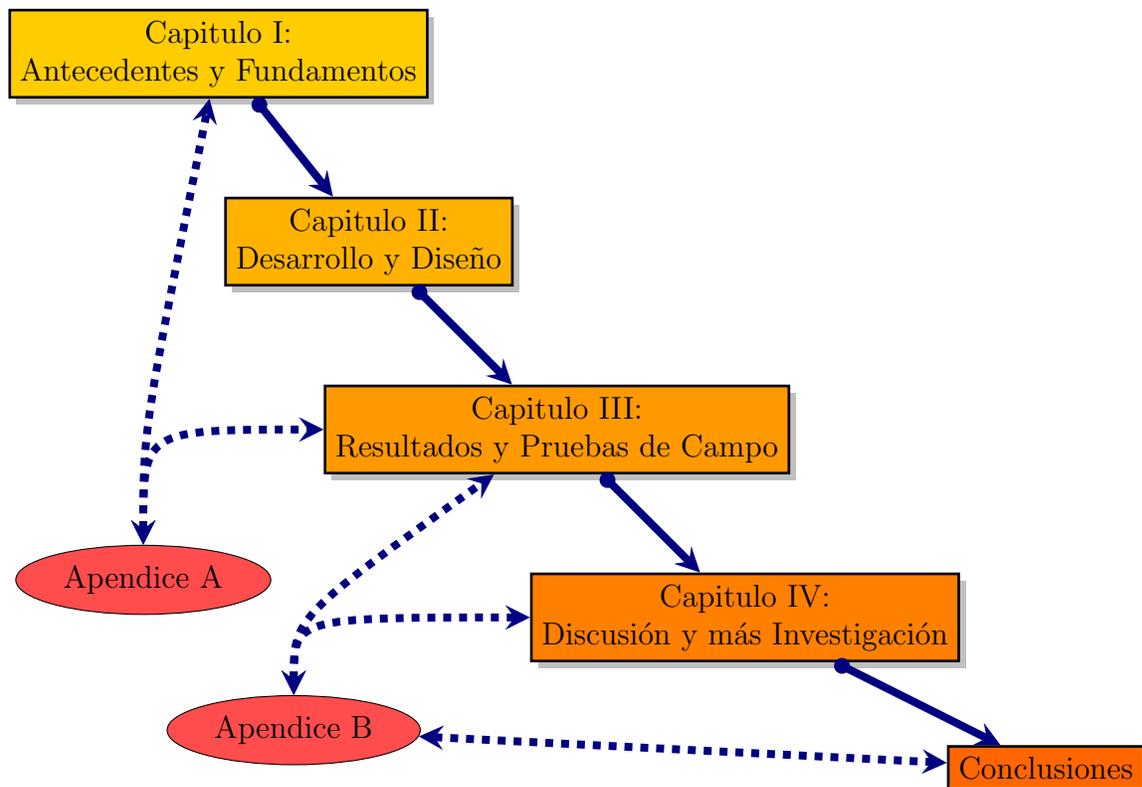


Fig. 1: Orden de lectura recomendado.

Objetivos

El objetivo principal es estudiar los parámetros físicos de mayor impacto al practicar ciclismo de ruta a fin de crear un sistema electrónico para monitorear y registrar la actividad física en conjunto con la trayectoria recorrida, almacenar los datos con objeto de un posterior análisis que aporte retroalimentación al usuario sobre su desempeño como ciclista, así como emplear estos datos para caracterizar las rutas recorridas por niveles de dificultad.

Mientras como objetivos específicos se prevé diseñar e implementar un sistema electrónico de monitoreo para entrenamientos en ciclismo de ruta, registrar rutas específicas con el monitor electrónico, caracterizar su nivel de dificultad y determinar un nivel de experiencia para el usuario ciclista basado en los datos recabados.

Capítulo 1

Antecedentes y Fundamentos

*Quien no sabe perderse
nunca se encontrará.*
Mariana Frenk-Westheim

1.1. Ciclismo

El ciclismo como actividad física radica en el uso de la bicicleta con fin recreativo, deportivo o de transporte, refiriéndose a esta actividad como un deporte, su practica abarca diversas disciplinas y modalidades que se organizan en 4 grupos principales: ciclismo de pista, ruta, montaña y BMX.

Estas 4 disciplinas siendo las más populares no son las únicas que se reconocen oficialmente, la UCI (Union Cycliste Internationale) reconoce en total 8 disciplinas de ciclismo que se muestran en la tabla 1.1[10].

Tabla 1.1: Modalidades de Ciclismo reconocidas oficialmente por la UCI[10].

Disciplina	Fecha de reconocimiento oficial
Ruta	1868
Pista	1893
Montaña	1990
BMX Racing	1960
BMX Freestyle	2016
Trials	1970
Cyclo-Cross	1950
Indoor	1956

Tabla completa de las modalidades y pruebas específicas en el apéndice .9.

Cada disciplina tiene origen en el entorno cultural, político, económico y social de una época en concreto, donde comenzaron a popularizarse hasta hoy día. A diferencia de la UCI, el comité olímpico internacional reconoce oficialmente 4 disciplinas[11].

A estas 4 modalidades corresponden pruebas específicas que se disputan entre hombres o mujeres en las olimpiadas, el diagrama de la figura 1.1 contiene las pruebas específicas de cada modalidad.

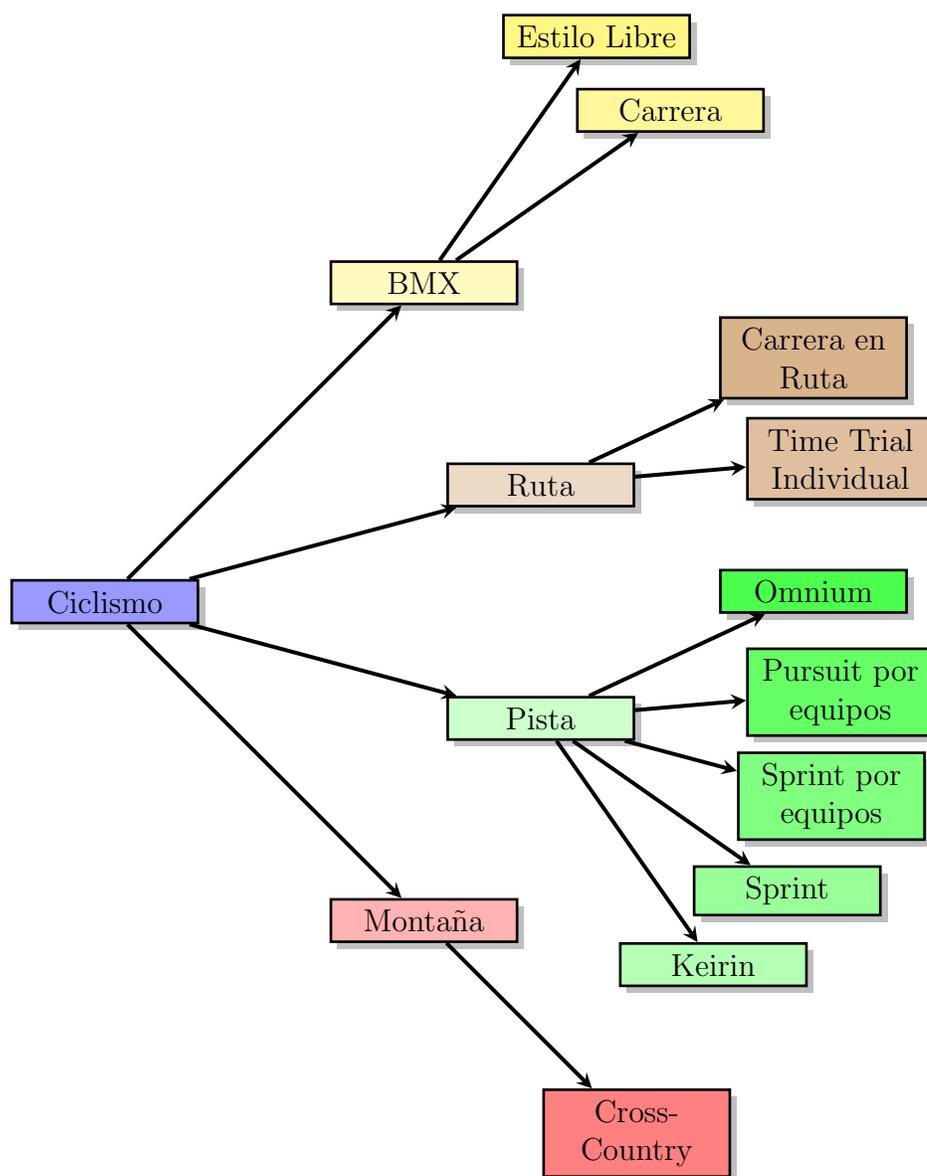


Fig. 1.1: Pruebas de ciclismo para las olimpiadas Tokyo 2020[12].

1.1.1. Ciclismo de Ruta

El ciclismo de ruta representa una modalidad que desafía física y mentalmente al deportista, ya sea que se practique de forma recreativa o a nivel competitivo, se comparten características en su práctica que lo vuelven único.

Consiste en recorrer rutas específicas de asfalto montado sobre una bicicleta, el objetivo es propuesto por el individuo que lo practica, ya sea una cantidad específica de kilómetros, un tiempo definido en el cual concluir una ruta o simplemente lograr llegar de un punto a otro de forma exitosa.

Notablemente esta modalidad es la más antigua de todas (tabla 1.1), popularizada originalmente por carreras realizadas en el siglo XIX cuyo objetivo fue demostrar el potencial de la bicicleta como medio de transporte para medias y largas distancias.

Hoy día la práctica de este deporte está ampliamente extendida al rededor del mundo ya que solo requiere como mínimo de una bicicleta y equipo de protección adecuado a fin de ejercitarse o practicarse como una actividad recreativa.

1.1.2. Ciclismo de Ruta: Competencia de Alto Rendimiento

A diferencia de la práctica convencional en ciclismo de ruta cuyos objetivos son transporte, diversión o salud, en competencias de alto rendimiento se tiene el objetivo de llevar al límite las capacidades humanas sobre la bicicleta.

Ergo, el ciclismo de ruta como disciplina de alto rendimiento supone completar segmentos definidos de asfalto sobre la bicicleta tomando en cuenta distancia, tiempo y desnivel acumulado en la ruta para determinar el rendimiento del ciclista en la trayectoria recorrida.

Las competencias en ciclismo de ruta comenzaron en el siglo XIX, con la primera carrera oficial que partía de la ciudad de “Paris” y concluyó en “Rouen”, un recorrido total de 123 km[13].

Estas carreras continuaron organizándose, lo que supuso un incremento en la popularidad de esta disciplina deportiva a nivel competitivo. Prueba de ello es la aún vigente Paris-Brest-Paris, con un recorrido de 1200 kilómetros y una duración limitada de 90 horas[14].

Las carreras actuales en ciclismo de ruta involucran más que la resistencia física y mental del atleta, se precisa de un equipo completo de especialistas en diversas materias referentes al ciclismo que atienden un mismo objetivo, impulsar uno o varios ciclistas a su máximo rendimiento.

Hoy día cada carrera de alto nivel se encuentra regulada por la UCI, dentro de estas regulaciones se incluye el tipo de bicicleta a emplear, métricas correspondientes a la trayectoria a recorrer y la asistencia de equipos mecánicos(figura 1.2) y de salud neutrales.



Fig. 1.2: Automóvil Mavic de apoyo mecánico en el Tour de Francia 2018.[15]

Cada modalidad exige un equipamiento específico, orientado a enfrentar distintos retos, el caso particular del ciclismo de ruta requiere emplear equipamiento con características aerodinámicas así como un peso prácticamente mínimo.

Estas diferencias no son únicas respecto a otras modalidades, dependiendo las condiciones de la carrera cambian las características de la bicicleta que se usa así como las llantas, en competencias de ruta se emplean bicicletas aerodinámicas en etapas contrarreloj y de gran fondo para etapas llanas de larga distancia(figura 1.3).



Fig. 1.3: Gran Fondo (izq.) comparado con Norcom Straight (der.), ambos modelos de Fuji Bikes[16].

1.2. La Bicicleta

La primera aproximación a la función básica de la bicicleta se le acredita al matemático francés Jaques Ozanam durante el transcurso del siglo XVII donde hace mención de un “artefacto capaz de desplazarse a donde se prefiera sin la necesidad de caballos” en el segundo volumen de sus escritos sobre matemáticas y física[17].

Durante 1866 el mecánico Pierre Lallement presento la patente de lo que se considera la primera ‘bicicleta’ a pedales, la cual logro tener una gran popularidad y alcance en su época, esta conserva un parecido aparentemente idéntico a la bicicleta moderna[18].

La bicicleta de ruta moderna se compone de cuatro elementos base: marco, ruedas, dirección y transmisión mecánica, en conjunto estas permiten el libre desplazamiento del vehículo mediante la aplicación de fuerza por parte del ser humano.

El primer elemento es el marco que es soporte fundamental para el resto de componentes, fabricado generalmente en una sola pieza ya de acero, aluminio, titanio o fibra de carbono cuyo diseño incluye triángulos (geometría teóricamente indeformable).

En este elemento recaen las fuerzas físicas estáticas y dinámicas que involucra el montar en bicicleta, un ejemplo de ello es el marco de la Orbea Orca M10 en la figura 1.4, cuya geometría de construcción se orienta a ciclistas escaladores.



Fig. 1.4: Marco en fibra de carbono: Orbea Orca carbon OMX Disc[19].

El siguiente componente en una bicicleta de ruta es la dirección, esta incluye una horquilla, manillar y manetas de cambio-frenado, la horquilla se conecta al marco mediante rodamientos que permiten su libre rotación y a esta se conecta el manillar y las manetas. Este conjunto permite cambios en la dirección de forma segura mientras se monta en bicicleta, además se coloca todo el control de la bicicleta en el manillar, frenos, cambios y dirección de la bicicleta se controlan con las manos sin soltar el manillar (figura 1.5).



Fig. 1.5: Manillar, horquilla y manetas de cambio: Orbea Orca carbon OMX Disc[19].

El conjunto entre el marco y la dirección permite montar las ruedas, que son el único punto de contacto entre el medio de desplazamiento y la bicicleta. Una bicicleta de ruta convencional hace uso de dos ruedas de medida estándar 700c(figura 1.6)[20].



Fig. 1.6: Aros en fibra de carbono: Vision 40 SC Disc Carbon TLR CL[21].

El libre desplazamiento de la bicicleta es posible mediante la transmisión mecánica cuya función es transmitir una fuerza aplicada por el usuario hasta la rueda trasera que impulsa el vehículo, esta es un conjunto de mecanismos basados en el ensamble piñón-cadena.

En una bicicleta de ruta moderna es posible localizar la transmisión mecánica entre el eje del pedalier y el eje de la rueda trasera, ejes de entrada y salida de potencia respectivamente, la figura 1.7 es una referencia de una transmisión mecánica.



Fig. 1.7: Transmisión completa Shimano Dura-Ace 9150 Di2[22].

Los elementos que componen este mecanismo en una bicicleta moderna son observables en la figura 1.8, donde se aprecian los elementos base de este mecanismo, siendo el conjunto de piñones ‘casette’ en turquesa, cadena en marfil y el ‘plato’ en lila.

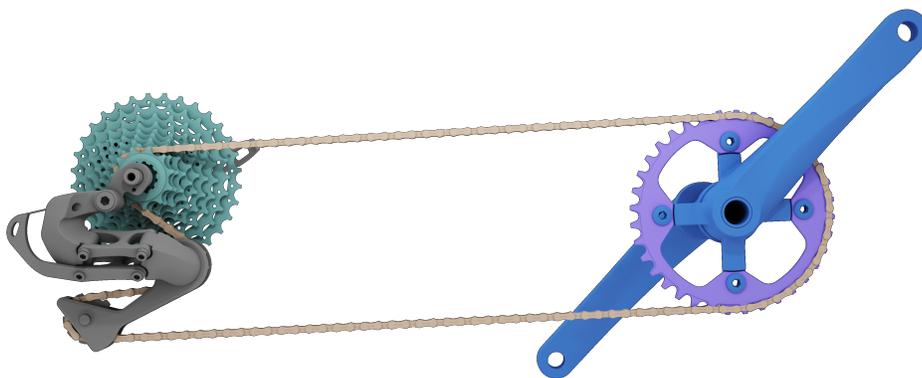


Fig. 1.8: Mecanismo piñón-cadena en una bicicleta moderna.

Este mecanismo puede presentar variaciones dependiendo el tipo de bicicleta al que se acople así como del mismo fabricante, en tal caso en ciclismo de ruta es usual encontrar transmisiones mecánicas con dos ‘platos’ y diez u once piñones en el ‘casette’.

1.2.1. Evolución: Pasado y actualidad de la Bicicleta

Los antepasados de la bicicleta tienen registros datados del siglo XV, artefactos que comparten algunas características de la bicicleta moderna o que cubrían una función de un medio de transporte impulsado por el hombre.

Giovanni di Fontana, físico e ingeniero quien en el siglo XV bosquejó un artefacto de transporte que empleaba ruedas, una estructura fija y un sistema de transmisión, quedando grabado en su tratado *“Bellicorum instrumentorum liber”*[23].



Fig. 1.9: Bosquejo del medio de transporte hecho por Giovanni di Fontana[24].

Para el siglo XVII Jaques Ozanam, matemático francés publico una recopilación de fenómenos físicos y matemáticos titulada *“Récréations mathématiques et physiques”*, mencionando un artefacto que pueda conducirse con libertad sin necesidad de caballos[25].

No fue hasta el siglo XIX que apareció el velocípedo, predecesor de la bicicleta moderna; inventado por barón alemán Karl von Drais en madera y metal, empleando dos ruedas sin sistema de frenado y requiriendo ser impulsado por el usuario (figura 1.10).

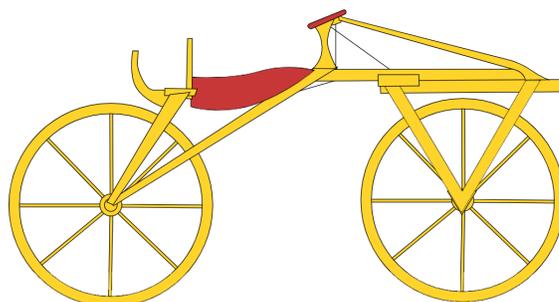


Fig. 1.10: Estructura y diseño simplificado del velocípedo.

Este artefacto despertó el interés de la población, lo que propicio un aumento en su popularidad, convirtiéndose en un diseño de referencia para otros inventores atraídos por la idea de un vehículo con las características de este modelo.

En el año 1869 el velocípedo fue dotado con un mecanismo de impulso/tracción por el mecánico escocés Thomas McCall empleando un conjunto de palancas, varillas y bielas como mecanismo de tracción como muestra la figura 1.11.[26]

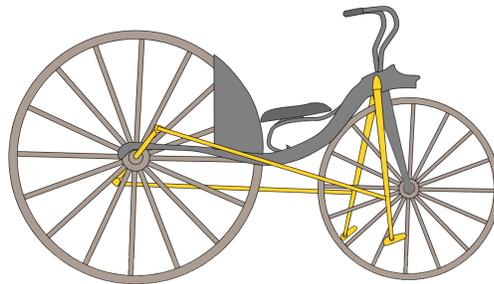


Fig. 1.11: Estructura y diseño simplificado del velocípedo modificado por Thomas McCall.

Pierre Lallement un herrero Francés creó su propia visión del velocípedo a principios de 1860, dejando la madera como material principal y empleando hierro forjado, además agregando un sistema de pedales a la rueda delantera, similares a los que se equipan en las bicicletas modernas(figura 1.12)[18, 27].

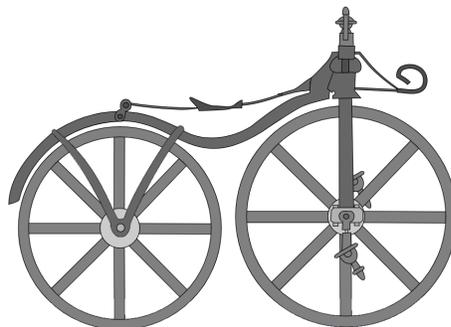


Fig. 1.12: Estructura y diseño simplificado del velocípedo de Pierre Lallement.

Resultado de su trabajo se obtuvo una estructura más rígida y resistente, como desventaja sumaba una gran cantidad de peso al diseño, acercándose aproximadamente a los 45 kg. Con el paso del tiempo y el incremento en la popularidad del velocípedo en Francia surgió un nuevo diseño que conserva las características del velocípedo y fue el primer medio de transporte llamado ‘bicicleta’, en esa época conocida como bicicleta de rueda alta.

Uno de los principales problemas del velocípedo era la cantidad de vibraciones producidas y transmitidas al usuario estando en movimiento, por lo que era apodado ‘agita huesos’; montar un velocípedo en las vías de transporte comunes resultaba ser incómodo.

En Francia del 1870 apareció la famosa bicicleta de rueda alta que se caracteriza por la rueda delantera notoriamente más grande que la rueda trasera, las razones de este diseño atienden al peso, comodidad y velocidad del vehículo (figura 1.13).

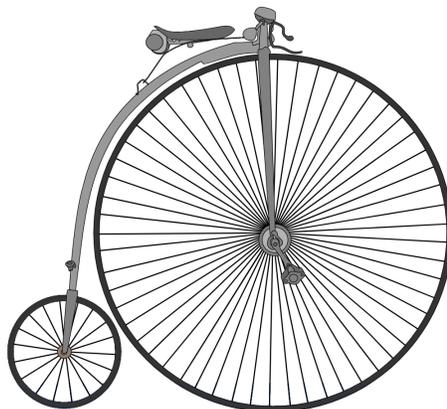


Fig. 1.13: Bicicleta de rueda alta, diseño convencional.

Su creador, Eugène Meyer ideó una rueda que empleaba radios como medio de tensión entre el eje y el aro exterior de la rueda, propuso el uso de una rueda más grande que produzca una cantidad menor de vibraciones al contacto con el medio de desplazamiento[28].

Volver más cómodo el uso de la ‘bicicleta’ no fue el único beneficio de una rueda más grande, además permitía lograr velocidades más altas conservando el mecanismo de pedales anclado al eje de rotación de la rueda delantera, lo cual volvió más inestable su uso.

Con el tiempo fue notorio la presencia del problema de inseguridad en este vehículo, siendo usual que los jóvenes emplearan la bicicleta más como un mecanismo de diversión arriesgada que como un medio de transporte.

Así surgió la ‘maquina segura’, notándose como el cambio más importante en la bicicleta, a partir de ese momento fue la percepción de este vehículo, paso de ser un invento para los curiosos y se volvió una verdadera herramienta para el transporte de individuos.

La creación de este vehículo se atribuye a Jhon Kemp Starley en 1885 quien decidió no patentarla, y con ello indirectamente logró que el alcance de este diseño fuera mayor a cualquiera de sus predecesoras, así para 1890 poseía una compañía dedicada a la fabricación de este medio de transporte[29, 30].

La figura 1.14 muestra el diseño de una ‘maquina segura’, donde se puede apreciar de forma inmediata que las ruedas poseen el mismo diámetro, los pedales se hallan en el centro y se enlazan a la rueda trasera mediante una cadena.

además de los cambios más notorios del párrafo anterior, este modelo incluyo frenos, llantas de goma solida y un sistema de resortes en el asiento, siendo el más rápido, cómodo y seguro de los diseños hasta ese momento vistos.

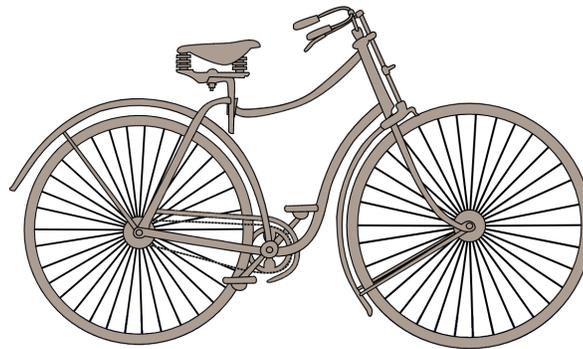


Fig. 1.14: Maquina segura, predecesora de la bicicleta moderna.

Uno de las modificaciones con mayor impacto fue la implementación de una transmisión mecánica empleando el piñón y la cadena, estableciendo un eje específico para los pedales relacionado con el centro de masa del vehículo, que en consecuencia modificó el esquema de tracción, migrando desde la rueda de dirección a la rueda fija (trasera).

La cadena, un invento con bastante antigüedad de la cual no se discutió su uso como medio de transmisión mecánica en un vehículo de esta índole hasta la aparición de la ‘maquina segura’.

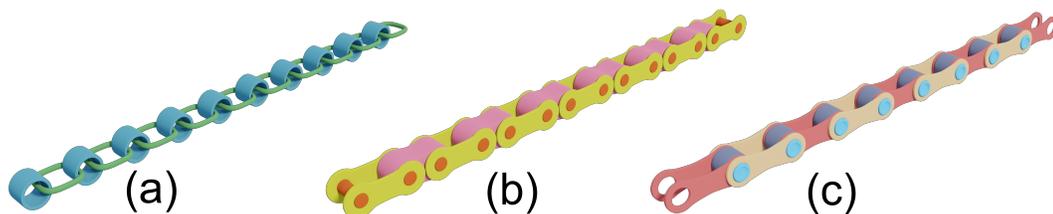


Fig. 1.15: Evolución de la cadena como medio de transmisión mecánica.

Partiendo de un diseño simple como lo muestra la figura 1.15 (a), empleando únicamente dos piezas, una de contacto para los dientes del piñón y un eslabón de enlace para transmitir la potencia mecánica entre los piñones de mecanismo completo.

En 1884 Thomas Humber presenta dentro de su propia patente de velocípedo un nuevo esquema de transmisión empleando ‘bloques’ (figura 1.15 (b)) , esta cadena solventa los esfuerzos mecánicos aplicados a ella, por contraparte su peso era exagerado[31, 32].

Finalmente para la aparición de la maquina segura se incorporo una cadena creada desde 1864 por Hans Renold llamada “*Renold Roller*”(figura 1.15 (c)), cuyo diseño incorpora 4 piezas y se destaco por operar con una fricción mínima, conservando una a la resistencia mecánica y un peso razonable[33, 34, 35].

1.2.2. Ergonomía: La bicicleta y el Ciclista

El ser humano como especie tiende a ser diferente de un individuo a otro, en consecuencia las prendas y accesorios que hoy empleamos en nuestra vida diaria poseen una talla y medidas distintas para adaptarse a las formas y tamaños del ser humano(antropometría).

La ciencia que estudia la conexión entre el medio del ser humano, los dispositivos que usa y donde los usa es llamada ergonomía, esta se enfoca entonces en optimizar las relaciones que existen entre el humano y el entorno en el que se desenvuelve.

Las bicicletas actuales no son todas iguales, hay para niños y adultos, así como versiones por géneros. Las bicicletas de ruta se catalogan en tallas que dependiendo el fabricante pueden llegar a diferir, la tabla 1.2 es una recopilación de medidas estándar recomendadas por altura.

Tabla 1.2: Tallas de bicicletas de ruta y la estatura recomendada[36, 37, 38].

[cm]	[in]	Estándar	Estatura recomendada[cm]
47 - 48		XS	<155
49 - 50	14		155 - 160
51 - 52	16	S	160 - 165
53 - 54	17		165 - 170
55	18	M	170 - 175
56	19		175 - 180
57 - 58	20	L	180 - 185
59			185 - 190
60			190 - 195
62	21	XL	>195

Este sistema de tallas se ha convertido en el estándar de medida en la industria del ciclismo para cualquier disciplina, particularmente en las bicicletas de ruta es más común encontrar la talla en ‘cm’ o una medida estándar.

Además de la talla, hoy día las bicicletas proporcionan al usuario múltiples variables a modificar con la finalidad de que la bicicleta se adapte lo mejor posible al usuario, así los parámetros modificables son la altura del sillín, longitud de biela y posición del manillar.

En conjunto, los elementos del párrafo anterior ofrecen al usuario un control total sobre la adaptación de la bicicleta a si mismo, de otra forma dicho la ergonomía de la bicicleta tiene la capacidad de ser modificada a un nivel único para el ciclista.

La importancia de la ergonomía en el ciclismo de ruta ha quedado demostrada principalmente en competencias de alto rendimiento, donde se pasan aproximadamente 6 horas sobre la bicicleta, la postura y eficiencia del pedaleo representan segundos o en todo caso un gasto de energía posiblemente innecesario si están mal adaptados.

Al montar en bicicleta el ciclista se encuentra en un sistema dinámico donde se ven implicadas las variables de peso y potencia, ergo el peso del ciclista y la fuerza que este puede aplicar en los pedales son las variables que alteran la movilidad de la bicicleta.

Una postura adecuada al pedalear permite al usuario presionar con toda la potencia muscular repartida en las piernas con perdidas mínimas en el proceso, empleando la extensión total de la pierna[39, 40].

Si la distribución de peso no es adecuada sobre la bicicleta en el mejor de los casos existe un esfuerzo innecesario sobre grupos musculares no habituados, generando fatiga temprana al ciclista. El peor de los casos, una mala postura puede desencadenar problemas musculares o articulares temporales que de no corregirse pueden volverse permanentes.

1.3. Preparación Física

Cualquier disciplina deportiva de competencia demanda al atleta una condición física y mental de excelencia para lograr obtener resultados destacable, para ello no basta con tener una capacidad innata para practicar el deporte, o sobre poseer medidas antropométricas a su favor.

El éxito deportivo de un atleta es producto se una progresión constante, una planeación específica y una disciplina firme, entonces para obtener las capacidades motrices, cognitivas, y espaciales adecuadas para un deporte en particular se requiere de una planificación.

La preparación física en cualquier deporte se encarga de promover el tono muscular y el estado anaeróbico del atleta a su máximo potencial, cumpliendo además una función de prevención en lesiones.

Las planificaciones de entrenamientos se elaboran por especialistas deportivos quienes estudian la condición actual del atleta (edad, estado físico, peso, aguante) y monitorean la progresión del mismo hasta cumplir un objetivo específico.

Estos ciclos de entrenamiento atraviesan por diversas fases generales que se enfocan al estado físico del atleta, una planificación para maratón se puede observar en la figura 1.16, donde el atleta atraviesa un ciclo de descanso, descanso activo, tonificación muscular y ‘*tapering*’.

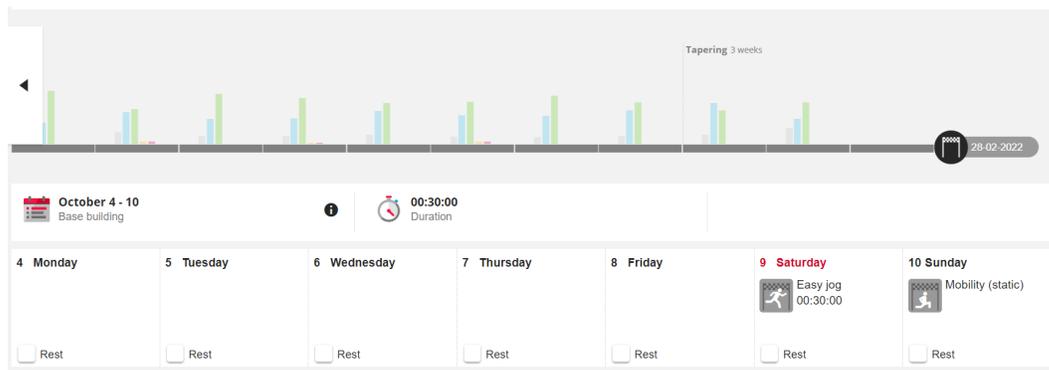


Fig. 1.16: Planificación de entrenamientos previo a maratón.[41]

La figura 1.16 se toma desde un asistente electrónico de entrenamientos del sistema Polar Flow, donde la preparación para un maratón requiere de mínimo 20 semanas para alguien no muy relacionado con practicar deporte de forma diaria.

Estas 20 semanas contemplan un periodo de 7 semanas iniciales dedicadas a formación base de elasticidad y condición física para afrontar 12 semanas de entrenamientos con alta demanda física, finalmente 3 semanas previas a competencia se realiza el ‘*tapering*’.

Para interpretar de mejor forma estas fases de entrenamiento se emplea las curvas de la figura 1.17 que permite observar los objetivos particulares de cada fase. Partiendo de las primeras semanas enfocadas en formar una base física para afrontar el nivel de esfuerzo de la fase media, mientras que la ultima fase reduce progresivamente la carga física a fin de reducir el estrés físico y mental.

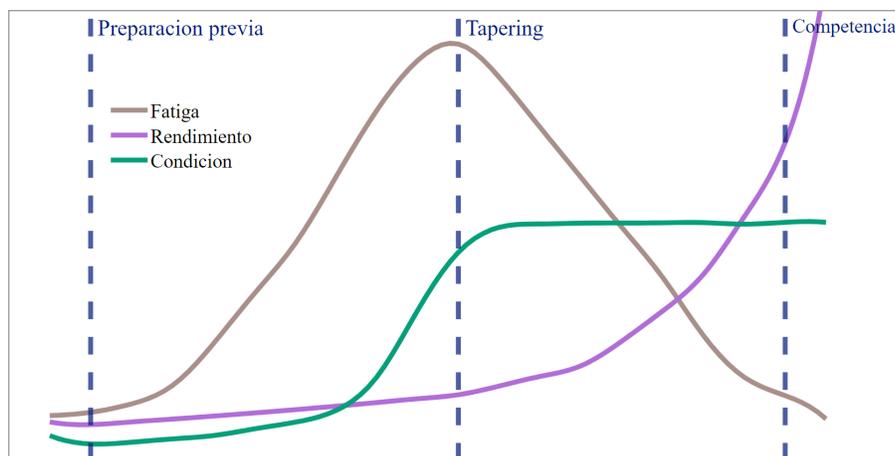


Fig. 1.17: Curvas ideales de rendimiento durante un periodo de preparación física.

Esta ultima fase como método de entrenamiento requiere de dos condiciones, exponer a una menor carga física al atleta reduciendo los daños a las fibras musculares y permitir que el cuerpo regenere tejidos, además se debe conservar una practica constante pero menos demandante para no perder condición.

En este punto se experimenta el mejor momento deportivo del atleta en la temporada, como se observa en la figura 1.17, el rendimiento esta en el mejor valor posible, mientras la condición física no se ha degradado y la fatiga muscular es mínima.

Para lograr llegar a este punto se ajustan principalmente 3 factores de entrenamiento, la frecuencia (sesiones por semana), la duración de los entrenamientos y la intensidad de los mismos, en esta fase final es importante no disminuir la intensidad, pero si la frecuencia y duración para disminuir la fatiga[42].

1.3.1. Entrenamiento orientado a ciclismo

Las competencias en ciclismo de ruta presentes en tours de fama internacional tienen una duración promedio de 4 horas, con ello se puede deducir que este deporte se trata de resistencia al desgaste y cantidad de potencia constante que un atleta puede proporcionar, no obstante esporádicamente en plena ruta se requiere un estallido de esfuerzo muscular para mantener el ritmo de la marcha.[43].

Personal especialista dedicado a entrenamiento de ciclistas profesionales se enfoca en trabajar la resistencia contra el desgaste físico al que se someten algunas partes del cuerpo dado el origen repetitivo del movimiento de pedaleo y la duración de este ejercicio puesto que un ciclista amateur puede sostener una cadencia de 90 pedaladas por minuto, dos horas equivalen a ejecutar un total de 10,800 repeticiones del mismo ejercicio.

La preparación física para cualquier deporte requiere de una gran cantidad de horas destinadas a entrenamiento, en el caso del ciclismo de ruta estos entrenamientos se enfocan principalmente en resistencia a la fatiga, el objeto de estos es el fortalecimiento del tejido muscular y conectivo (ligamentos), además de los tendones.

No obstante los entrenamientos y su planificación dentro de un programa atienden más de un objetivo; además de incrementar la resistencia muscular a la fatiga elevan la calidad de los grupos musculares del tren inferior con el fin de estar preparados para presentar esporádicamente esfuerzos explosivos en carrera sin arriesgar la integridad del ciclista.

Los entrenamientos orientados a resistencia física requieren de pedalear durante largos periodos a baja intensidad para mejorar la eficiencia aeróbica, a través de estimulación en la biogénesis mitocondrial, se consideran a estas mejoras como adaptaciones centrales.

En cambio las mejoras que se realizan en la resistencia muscular donde el propio musculo sufre cambios debido a la demanda de esfuerzo especifica se conocen como adaptaciones periféricas[44].

Entonces el objetivo intrínseco en la planificación de programas estructurados de entrenamiento en ciclismo de ruta es aumentar el rendimiento del ciclista al montar en bicicleta, lo que se traduce en obtener una mayor velocidad con un coste energético menor.

Satisfacer entonces los aspectos principales de demanda física para competencias en ciclismo de ruta involucra como mínimo los puntos listados a continuación:

- Refuerzo de músculos progresivamente.
- Aumento de musculatura bajo demanda[44].
- Refinamiento de estructura en tejido muscular del tren inferior.
- Mejora de resistencia a la fatiga muscular por esfuerzos constantes.
- Refinar técnica de pedaleo[45].

Dentro de los objetivos planteados dentro de la planificación de entrenamientos orientados a ciclismo de ruta es considerar la posibilidad de origen muscular, ya sea por sobreesfuerzo o exceso de fatiga.

Lesiones durante el periodo de preparación previo a competencia son resultado de bien un exceso de carga física, faltas de menor o mayor grado en la ejecución de los ejercicios o bien la falta de preparación del individuo.

Un programa de entrenamiento idóneo contempla el estado inicial del ciclista, debe ser dinámico, adaptable y estricto en su periodicidad.

Integrar un programa de entrenamiento amateur/profesional se apoya en los métodos de intervalos, series de fuerza, escaladas, peso muerto y técnica, la combinación adecuada de estos o su inserción selectiva tiene diversos objetivos en el fortalecimiento del ciclista.

Intervalos: son entrenamientos capaces de impulsar las adaptaciones centrales y periféricas al mismo tiempo, esto se logra realizando un recorrido largo con intensidad baja, e integrar de 3 a 5 secciones del recorrido de 1 a 3 minutos aumentando la intensidad al máximo empleando cadencias relativamente bajas (65 a 85 rpm).

Existiendo dos posibilidades para su ubicación dentro de la ruta, al comienzo del recorrido cuando se encuentran descansados los músculos o casi al finalizar cuando ya se tiene una cantidad considerable de fatiga acumulada.

Adicionalmente existen intervalos de ‘sprint’ que aumentan en duración respecto a los anteriores, no obstante los niveles de lactato en sangre aumentan y la utilización de fibras musculares menos eficientes se acrecienta, resultado de esto son las deficiencias listadas.

- Habilidad para mantener un ritmo de entrenamiento diario.
- Dificultades para sostener la consistencia en ruta de entrenamiento.
- Aumento considerable de agotamiento mental y físico.

Emplear intervalos del tipo ‘sprint’ debe ser considerado un recurso adicional y no la base del plan de entrenamiento.

Series ascendentes: estas son intervalos realizados en terreno de media montaña, con pendientes constantes y prolongadas, se ajustan a diferentes propósitos de entrenamiento modificando la intensidad, número de repeticiones, la pendiente y la duración de los intervalos principalmente.

Adicionalmente las salidas cortas en montaña (menores a 30 minutos) que mejoran las capacidades anaeróbicas y neuromusculares, mientras las salidas largas (más de 30 minutos) aportan una gran mejora en la construcción de fibras musculares de contracción lenta (Tipo I), y en menor grado de contracción rápida (Tipo II)[46].

Adicionalmente se recomienda realizar alternar los intervalos entre pedaleo sentado y de pie, así como emplear diferentes cadencias acorde a la pendiente en la que se realice el recorrido para involucrar al mayor número de fibras musculares posible por sesión.

Fuerza: el caso de la fuerza se entiende con mayor facilidad en todos los deportes de resistencia, en ciclismo de ruta tiene un impacto muy directo sobre el rendimiento del ciclista, de ahí la importancia de parámetros como la potencia por kilogramo.

Los entrenamientos de fuerza con elevada carga física desarrollan fibras musculares tipo I más fuertes, por ende resistentes a la fatiga, por lo que en ruta el grupo muscular del tren inferior suele recurrir menos a las fibras musculares tipo II (menos eficientes).

Descanso activo: además de los tipos de carga en entrenamientos de ciclismo mencionados anteriormente existe un mecanismo adicional de gran importancia que integra los planes de entrenamiento más completos, el descanso activo, consiste en tomar periodos de descanso sin dejar de practicar el deporte.

Se practica entonces ciclismo de ruta a baja intensidad, lo que permite al cuerpo no acumular fatiga, contribuir al desarrollo de una mejor técnica de pedaleo y mejora sustancialmente el estado anímico del ciclista, adicionalmente incrementa la cantidad de horas sobre la bicicleta, ergo volumen de entrenamiento y experiencia.

1.3.1.1. Capacidad aeróbica

Dentro del ciclismo de ruta la capacidad aeróbica se conoce mejor como ‘VO₂ Max’, en otras palabras el volumen de oxígeno empleado para producir energía durante un esfuerzo aeróbico de alta demanda, en estos términos entre más oxígeno sea capaz de emplear un ciclista, más energía puede producir, resultando en una mayor potencia aplicada.

Los entrenamientos aeróbicos regulares incrementan la resistencia del cuerpo a la fatiga preparando al ciclista para recorridos de muy larga distancia (se recorren un total de 3479,9 km en 21 etapas durante un tour internacional) [47].

Existen así factores que alteran la capacidad aeróbica de un ciclista, y esta a su vez impacta directamente en su rendimiento durante un recorrido de ruta, como en las posibilidades de mejorar y destacar en este deporte, estos se listan a continuación.

- Irrigación sanguínea al musculo.
- Volumen sistólico del corazón.
- Flujo sanguíneo.
- Medida de la luz en los vasos sanguíneos.
- Capacidad de dilatación de los vasos sanguíneos.
- Cantidad de capilares intramusculares.

Con la mención anterior se vuelve notorio el como influye la capacidad cardiovascular de un individuo en sus posibilidades de destacar en competencias de ciclismo de ruta, no obstante estos factores no dependen totalmente de la genética del individuo y por lo tanto pueden ser desarrollados.

Uno de los métodos más empleados para desarrollar una mejor capacidad cardiovascular en la practica de ciclismo de ruta son los entrenamientos de intervalos con alta intensidad, desarrollan de a poco la fuerza de bombeo del corazón, en este caso se recomienda específicamente los intervalos en cuestas[48].

1.3.1.2. Fuerza y potencia

La fuerza es un parámetro físico definido por una masa determinada con una aceleración asignada a esta, dentro del ciclismo de ruta específicamente el fenómeno es representado por la masa de la pierna acelerándose de forma angular mientras se pedalea, la fuerza del ciclista es un parámetro que puede cambiar mucho de un individuo a otro.

Por otra parte la potencia es una cantidad de trabajo efectuado en por unidad de tiempo, en ciclismo de ruta la potencia se mide en watts, que es en si la fuerza de torsión aplicada sobre los pedales multiplicada por la cadencia, y como se menciono secciones anteriores la potencia por kilogramo se obtiene dividiendo la potencia por el peso del ciclista[49].

La potencia ha resultado el parámetro más fiable para cuantificar el rendimiento de los músculos del tren inferior del ciclista, la velocidad resultante de este dependerá entonces de este parámetro como impulso, contra lo que se considera lastre (resistencias ante el libre desplazamiento del ciclista).

El desarrollo equilibrado entre fuerza y tono muscular es parte de los programas de entrenamiento y es un factor de impacto en el rendimiento del ciclista, un musculo voluminoso no se traduce en un mejor rendimiento directamente ya que uno de los principales obstáculos para obtener altas velocidades es el viento.

Con el fin de preparar de forma equilibrada la fuerza y el tono muscular adecuado en el tren inferior del ciclista se recomiendan ejercicios de musculación en las piernas, principalmente buscando alcanzar fuerza y potencia no volumen muscular.

No obstante se recomienda vehemente no especializarse con ejercicios de musculación de forma única, si no integrar salidas en bicicleta en rutas con pendientes prolongadas inferiores al 3% que demandan un constante uso de la fuerza para mantener una velocidad considerable.

1.3.2. Postura

La postura en si misma no es más que la colocación del cuerpo humano sobre la bicicleta, teniendo en cuenta sus medidas y ángulos geométricos producidos al montarla, esta se ve afectada por la talla de la bicicleta y las medidas antropométricas del usuario ciclista.

Entre más kilómetros se recorran en bicicleta, la postura comienza a tomar un papel destacado en la fatiga que el usuario presente durante el recorrido, en tal caso puede ser positivo o negativo el impacto dependiendo esta postura y el tipo de ruta.

Cuando se recorre una ruta de alta velocidad en terrenos llanos es oportuno adoptar una postura compacta que permita seguir imprimiendo la misma fuerza sobre los pedales y tener un buen perfil aerodinámico a coste de la comodidad del ciclista.



Fig. 1.18: Ciclista profesional Tadej Pogačar en el Tour de Francia con una postura aerodinámica[50].

En cambio cuando la ruta atraviesa zonas montañosas donde el perfil de altimetría es cambiante continuamente, los ciclistas tienden a adoptar una postura más erguida pero adelantada hacia el manillar, modificando su centro de masa dependiendo la pendiente del recorrido.



Fig. 1.19: Ciclista profesional Alejandro Valverde en el Tour de Francia con una postura de escalador[51].

Ciclistas que participan en recorridos ciclo-turistas prefieren una postura semi-erguida y centrada, priorizando su comodidad dada la índole de la carrera, siendo estas de larga duración y kilometraje, por lo que retardar la fatiga es lo más importante.

Conservar una postura adecuada en ciclismo de ruta tiene por objeto encontrar un punto medio entre la eficiencia muscular, aerodinámica del ciclista y el peso del mismo distribuido entre los puntos de contacto con la bicicleta (figura 1.20).



Fig. 1.20: Puntos de contacto del usuario en una bicicleta de ruta.

Los puntos de contacto entre el ciclista y la bicicleta se marcan en color rojo sobre la figura 1.20, siendo estos el asiento, manillar y pedales, que es donde se asienta el peso del ciclista de forma distribuida, las distancias posiciones y ángulos de estos cambian la postura del ciclista.

En tal caso una postura equilibrada reparte el peso del ciclista entre estos puntos de contacto con la finalidad de evitar la fatiga muscular temprana en alguno de estos puntos que provoque incomodidad durante rutas de larga duración.

Los principales signos o resultados de una mala postura durante la practica de ciclismo de ruta son los que se enlistan a continuación:

- Fatiga en brazos/ante-brazos.
- Cansancio excesivo en la espalda baja.
- Molestia en las muñecas.
- Adormecimiento de manos.
- Adormecimiento de entrepierna.
- Perdida de potencia en retorno de pedal.
- Fatiga temprana en rodillas.

Como en cualquier deporte estas no son reglas concretas si no síntomas posibles de una mala postura.

1.4. Biomecánica en el Ciclismo

La biomecánica es una ciencia rama de la biofísica, enfocada en las estructuras mecánicas orgánicas que permiten a los seres vivos sostenerse y desplazarse, empleando el conocimiento de la mecánica convencional con la finalidad de conocer los esfuerzos físicos implicados en el movimiento de los seres vivos.

El sistema locomotor humano ha demostrado capacidades evolutivas como cualquier otro ser vivo, así también ciertas deficiencias en su construcción, no obstante el desplazamiento bipedal desarrollado en el ser humano es completamente funcional para desplazarse.

Con la aparición de medios de transporte como la bicicleta, patineta y patines, el sistema locomotor ha demostrado gran adaptabilidad a los esfuerzos mecánicos demandados en estos medios que requieren una técnica específica para poder acoplar el sistema locomotor a un procedimiento de desplazamiento completamente distinto.

En el ciclismo de ruta esta adaptación se ve al aprender a montar en bicicleta manteniendo el equilibrio, el siguiente paso es adaptarse a la postura y el control de la dirección, ello con la finalidad de no detenerse en ruta.

Llegando entonces al paso final del desarrollo de un ciclista amateur, la técnica de pedaleo, existiendo ya técnicas específicas de pedaleo dependiendo la fuerza y habilidad del ciclista, donde la tendencia es la eficiencia.

Haciendo gran énfasis en el pedaleo y su técnica, este comienza al aplicar fuerza sobre el pedal de arriba hacia abajo, al emplear el grupo muscular más grande esta se le conoce como fase de potencia, cuando la pierna empuja el pedal hacia abajo desde la posición de las 12 en punto.



Fig. 1.21: Principales músculos empleados en la fase de empuje en una bicicleta de ruta convencional.

En esta fase los músculos flexores (figura 1.21(amarillo))de la cadera se contraen para flexionar la cadera los extensores de la rodilla (figura 1.21(azul)) se contraen a la par que el ciclista empuja hacia abajo el pedal, con los extensores de cadera contraídos, coordinan y enderezan la cadera.

Adicionalmente los flexores plantares (figura 1.21(coral)) se contraen para favorecer con el empuje en los pedales,y al seguir el movimiento, el grupo muscular antagonista a los mencionados en el párrafo anterior se contraen para permitir el encogimiento de la pierna y librar la rotación de la biela hacia arriba.

Así finaliza la fase de empuje en esta pierna, y comienza en la contraria, cuando una pierna termina la fase de empuje se prepara para la que se conoce como fase de descarga, en la cual la pierna se prepara encogiéndose para la siguiente fase de empuje.

Generalmente los ciclistas profesionales equipan pedales automáticos que permiten adherir un zapato especial al pedal, con lo que se logran ejecutar movimientos donde se activan los músculos de forma concéntrica, es decir generar fuerza mediante un acortamiento muscular.

Es por ello tanto ciclistas como entrenadores recomiendan practicar constantemente la técnica de pedaleo empleando la activación muscular concéntrica en una menos potencia que el empuje, con la finalidad de contribuir activamente a la potencia de la bicicleta con grupos musculares alternados.

1.5. Rutas

Uno de los problemas que enfrenta el ciclista promedio es la selección de las rutas a recorrer, ya sea de forma recreativa o sujeto a un programa de entrenamiento; al ser complicado conocer el estado de la ruta, es común hacer un recorrido de reconocimiento con la finalidad de corroborar si es posible entrenar en dicha ruta.

Muchos estados permiten recorrer la mayoría de las vialidades existentes para vehículos con excepciones en vías de alta velocidad. No obstante, las rutas que brindan la posibilidad al ciclista de realizar sus recorridos no siempre se encuentran en buen estado.

Las características adversas que pueden llegar a caracterizar una ruta generalmente son de índole, climática, de construcción (asfalto y reparaciones), tránsito, geométrico (cartografía de la misma) y de reglamento.

Las características anteriores pueden impactar negativamente en el rendimiento del ciclista en el mejor de los casos, el peligro constante en el caso de vías con alto flujo vehicular o el mal estado del asfalto pueden llegar a ser mortales en casos muy puntuales[52, 53, 54].

1.5.1. Condiciones y características

El asfalto y concreto por el cual circulan los ciclistas es por donde además circulan vehículos de mediano y gran peso, por lo que su estado puede verse afectado en mayor o menor medida dependiendo las condiciones climáticas de la región.

Los tipos de daño más presentes en vialidades son fracturas, grietas, baches y desniveles, que dependiendo el grado y la velocidad del ciclista llegan a ser imperceptibles o bien pueden llegar a tirar al ciclista.

Usualmente un usuario de bicicleta que recién comienza suele no darse por enterado de los riesgos que supone atravesar grietas paralelas a su rueda o baches en su trayectoria a

altas velocidades.



Fig. 1.22: Diferencia entre una carretera de asfalto en buenas condiciones y una en mal estado(fracturada)[55, 56].

Un ciclista experimentado suele retener en su memoria la localización de zonas peligrosas con el propósito de evitar la mayoría de estas, y en caso de encontrarse de inadvertido alguna, tiene una mejor velocidad de reacción y recursos de maniobra adicionales que un ciclista promedio.

No obstante para una competencia de alto nivel se revisan las características de la ruta propuesta contando de primeras con el estado del asfalto, la altimetría de la ruta y el flujo vehicular, ya que usualmente se detiene el tráfico temporalmente para la carrera.

Adicionalmente es importante conocer la temporalidad de estaciones, el estado climatológico en la región ya que esto define el estado del asfalto determinando el tipo de equipamiento que el ciclista debe montar en su bicicleta, además de la existencia de curvas peligrosas o descensos prolongados.

1.5.2. Altimetría

La altimetría como una rama de conocimiento en topografía se orienta al estudio de la metodología y procedimientos empleados en la determinación y obtención de parámetros en elevaciones geográficas.

Tiene un uso extendido en determinación de altitud en vuelos de aeronaves comerciales, privadas y militares, adicionalmente se emplea en construcción de carreteras y caminos, sirve además como parámetro de asistencia en la predicción de anomalías climatológicas y meteorológicas vía satélite[57, 58].

En el ámbito ciclista un perfil de altimetría se indica el tipo de ruta y su categoría, que en conjunto determinan la dificultad que representa esta ruta o sección para ser recorrida en bicicleta.

Durante las carreras por etapas se hace del conocimiento de todos los equipos e integrantes de esta competencia sobre el perfil de altimetría (figura 1.23) de todas las etapas, con el propósito de preparar el las bicicletas y el equipo para el día de carrera.



Fig. 1.23: Altimetría de la etapa 8 en el Tour de Francia[59].

Adicionalmente se provee de la información referente a la pendiente promedio de lo que se conoce como puerto de montaña (figura 1.24) que representa la categoría de una escalada o subida, ya que entre más complicado sea el ascenso se obtienen puntos de bonificación al escalarlo en primeros lugares.



Fig. 1.24: Pendiente promedio de los puertos en montaña Romme y Colombière de la etapa 8 en el Tour de Francia[59].

Se observa en el perfil de la figura 1.24 un cambio en altitud de inicio a fin para una cantidad determinada de kilómetros, lo que dificulta su escalada, además incluye la pendiente promedio marcada por kilómetro como referencia para el ciclista.

Al existir pruebas de gran dificultad como las etapas en montaña, también existen etapas consideradas media montaña y llanas, las cuales tienen perfiles de altimetría menos agresivos y sin cambios abruptos como el perfil visto en la figura 1.23.

1.6. Parámetros en la Práctica de Ciclismo

El ciclismo de ruta es una actividad física popular de la cual no muchas personas se detienen a pensar el cómo es posible su ejecución, de forma abstracta es un sistema físico dinámico que intercambia energía con el medio que le rodea.

Ahora que si se desea estudiar este sistema empleando métricas conocidas se debe partir por conocer la índole de los fenómenos físicos presentes al momento de montar en bicicleta, con objeto de interpretar la ejecución de la actividad paso a paso.

No todos los parámetros que se pueden identificar al montar en bicicleta son de alta relevancia o tienen impacto directo en el desplazamiento de la bicicleta, hay algunos parámetros que aportan más conocimiento a la descripción de el comportamiento que otros.

Los parámetros más sencillos de identificar y que aportan más al sistema físico son: velocidad, distancia, aceleración, altitud, cadencia y potencia en un sistema resultado de la sinergia entre un ente mecánico y uno biológico.

El ser humano es el ente biológico que controla el ente mecánico, en tal caso más de un parámetro a la hora de la práctica del ciclismo es de origen biológico y aporta de manera importante al sistema dinámico completo, en este caso uno de los parámetros fundamentales indirectos es la frecuencia cardíaca y el consumo de oxígeno.

1.6.1. Potencia por kilogramo

Todo ser vivo realiza un esfuerzo físico u activación de grupos musculares específicos para desplazarse, el caso del ser humano no es distinto, y todos consumen una cantidad específica de recursos energéticos almacenados en su organismo.

El caso particular del ser humano, hace uso de el sistema locomotor y los músculos para desplazarse de forma bipedal de manera convencional, además ha hecho uso de la ciencia y tecnología para desplazarse sobre ruedas que es el caso del ciclismo de ruta.

En ciclismo a diferencia del desplazamiento natural en un ser humano, se requiere de grupos musculares distintos que apliquen una potencia vertical en los pedales para impulsarse (aplicable a la bicicleta convencional), el impulso resultante se ve reflejado en la velocidad.

Esta misma depende de la potencia aplicada al pedal, la aerodinámica del conjunto ciclista-bicicleta y su peso, en tal caso un ciclista pesado es capaz de imprimir más potencia en los pedales, pero este tendrá que desplazar una mayor cantidad de masa por lo que la velocidad resultante no sera sorprendentemente mayor a la de un ciclista con peso medio.

El contra-ejemplo son los ciclistas profesionales “*Sprinters*” quienes se enfocan en la velocidad y explosividad, con este razonamiento se esperaría que sean delgados y livianos, en cambio son ciclistas con una gran cantidad de masa muscular y no los más aerodinámicos.

En competencias de alto nivel existe entonces un parámetro que define de mejor forma el estado del ciclista promedio, que permite hacer una comparación directa entre ciclistas de todos tamaños y edades, a este parámetro se le conoce como potencia/kilogramo.

Para obtener este valor en un ciclista se tiene que conocer el peso ($w_{ciclista}$) del mismo y la potencia que es capaz de imprimir constantemente en un pedal (W_{pedal}), esta relación se encuentra en la ecuación 1.1.

$$Potencia\ por\ Kilogramo = \frac{W_{pedal}}{w_{ciclista}} \quad (1.1)$$

Como se observa, este índice de relación no es algo que una persona sin conocimiento en el medio no pueda directamente interpretar, así este parámetro permite a ciclistas determinar el estado actual de su rendimiento y registrarlo con el propósito de llevar un buen programa de entrenamiento.

Tabla 1.3: Tabla de potencias por kilogramo obtenidas empleando la ecuación 1.1.

Peso [kg]	Potencia [W]								
	120	150	180	210	240	270	300	330	360
45	2.67	3.33	4.00	4.67	5.33	6.00	6.67	7.33	8.00
50	2.40	3.00	3.60	4.20	4.80	5.40	6.00	6.60	7.20
55	2.18	2.73	3.27	3.82	4.36	4.91	5.45	6.00	6.55
60	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
65	1.85	2.31	2.77	3.23	3.69	4.15	4.62	5.08	5.54
70	1.71	2.14	2.57	3.00	3.43	3.86	4.29	4.71	5.14
75	1.60	2.00	2.40	2.80	3.20	3.60	4.00	4.40	4.80
80	1.50	1.88	2.25	2.63	3.00	3.38	3.75	4.13	4.50
85	1.41	1.76	2.12	2.47	2.82	3.18	3.53	3.88	4.24
90	1.33	1.67	2.00	2.33	2.67	3.00	3.33	3.67	4.00
95	1.26	1.58	1.89	2.21	2.53	2.84	3.16	3.47	3.79

En un contexto competitivo si se tienen dos ciclistas(A y B) donde la potencia kilogramos del ciclista A llega a los 270 W y el del B 300 W, es sencillo predecir que el ciclista B sera más rápido en carrera por la potencia es capaz de aplicar.

Si ambos ciclistas pesaran lo mismo(80 kg), dada la tabla 1.3 el ciclista B seria el más rápido, en cambio si el ciclista A pesase 74 kg, el resultado de la relación potencia kilogramo favorecería al ciclista A, teniendo una ventaja aparente.

En términos de fisiología, un valor alto en la relación potencia kilogramo representa a un ciclista con menor cantidad de grasa corporal y tejido muscular más eficiente, por ello que se ha vuelto un parámetro tan relevante y popular los últimos años.

además hoy día existen dispositivos orientados a calcular potencia aplicada en plena ruta, lo que permite obtener registros detallados donde calcular la potencia promedio o pico, permitiendo tener más control sobre los entrenamientos de fuerza, y que es una referencia fiable de la mejoría del individuo como ciclista[49].

1.6.2. Frecuencia cardíaca

La frecuencia cardíaca es la cantidad de veces que el corazón late (ciclo cardíaco) en un periodo de 60 segundos, es cuantificado en pulsaciones por minuto ‘ppm’, cada latido representa el impulso de sangre a través del sistema circulatorio.

En este parámetro es posible identificar el esfuerzo físico realizado, ya que si al cuerpo se le demanda una gran cantidad de esfuerzo requerirá una mayor oxigenación muscular, el resultado es un aumento del flujo de sangre en el sistema circulatorio, por consiguiente una elevación en frecuencia cardíaca.

En ciclismo de ruta existen dos parámetros básicos para determinar el estado físico y de rendimiento del ciclista, el primero es la frecuencia cardíaca en reposo, representando las pulsaciones por minuto en un estado de reposo. El segundo es la frecuencia cardíaca máxima, naturalmente esta se presenta unicamente en condiciones de alta demanda física.

Para determinar la frecuencia cardíaca en reposo se toma lectura de este parámetro por la mañana al despertar todos los días durante una semana durante la cual no se experimenten anomalías en la salud (enfermedad o mucho estrés).

La lectura se puede tomar con un monitor de frecuencia cardíaca comercial durante 2 minutos en un estado de relajación, tomar registro de la lectura más baja durante esos dos minutos y repetir el proceso los días posteriores para cumplir una semana de registro.

Al finalizar la semana (7 días) se hace un promedio de estos valores, resultado de ello es la frecuencia cardíaca en reposo. Un adulto saludable puede sostener una frecuencia cardíaca en reposo desde 60 hasta 100 ppm, en cambio un atleta oscila desde las 40 hasta 60 ppm.

Esto en otras palabras se traduce en un sistema circulatorio más eficiente y que requiere un menor esfuerzo para mantenerse funcionando sin demanda alguna de esfuerzo[60].

Para determinar la frecuencia cardíaca máxima se requiere seguir una metodología específica, no siempre es la misma ya que depende de el entrenador la forma en la que la obtenga, no obstante el siguiente método es completamente valido para determinar este valor.

Las condiciones requeridas para emplear este método son: una bicicleta en buen estado, no tener ningún malestar previo, contar con un monitor electrónico de frecuencia cardíaca y tener posibilidad de acceder a una ruta con pendiente constante y prolongada.

Después de un ligero estiramiento y calentamiento de 15 minutos, se debe seguir el siguiente proceso:

1. Comenzar el recorrido con una elevada cadencia, incrementando la velocidad cada minuto que transcurre.
2. Permanecer sentado los primeros 5 minutos de la prueba.
3. Cuando ya no se pueda ir más rápido sentado, levantarse sobre los pedales y pedalear a máxima potencia durante 15 segundos.
4. Pasado ese tiempo detenerse y registrar el valor obtenido en el monitor de frecuencia cardíaca, que sera el valor máximo de esta.

Cada disciplina deportiva tiene una frecuencia cardíaca máxima distinta teniendo en cuenta que emplean diferentes grupos musculares durante su practica, como ejemplo, atletismo siempre tendrá una frecuencia cardíaca máxima mayor al ciclismo dada la índole de los grupos musculares que se activan en el proceso.

Hoy día la frecuencia cardíaca es un parámetro de referencia en ciclismo de ruta, siendo una herramienta de gran impacto en la preparación física del ciclista, que con un adecuado registro se puede evaluar el progreso del mismo y evitar lesiones por fatiga muscular.

Para emplear este parámetro en la planeación de entrenamientos y prevención de lesiones se hace uso de las zonas de frecuencia cardíaca, estas fomentan el control de intensidad y duración que el ciclista gestiona en ruta, aumentando de a poco la dificultad.

El termino zonas de frecuencia cardíaca hace alusión al uso de regiones limitadas de pulsaciones por minuto obtenidas con base en la frecuencia máxima y de reposo, existiendo 5 zonas diferentes y escalonadas linealmente cuyo propósito difiere de unas a otras.

La figura 1.25 es el resultado de un registro continuo durante una hora de la frecuencia cardíaca en una salida casual(sin objetivo de entrenamiento) de 20 km, en ella se aprecian las zonas de frecuencia cardíaca, los limites y el tiempo que se sostienen estas zonas.



Fig. 1.25: Señal y zonas de frecuencia cardíaca durante un recorrido de 20 km, registro de un monitor comercial Polar M430.

La primera zona es un rango entre 50 y 60 % de la frecuencia cardíaca máxima, el objetivo de entrenar en esta zona es acelerar el proceso de recuperación de los músculos, drenando en ácido láctico acumulado en ellos, siempre y cuando se mantenga un ritmo medio en ruta.

La segunda zona parte del 60 y llega hasta el 70 % de la frecuencia cardíaca máxima, esta se enfoca principalmente en la preparación para largas jornadas sobre la bicicleta, preparando los músculos a esfuerzos medianos pero por tiempos prolongados.

Los resultados son una mejor condición física, mayor resistencia contra la fatiga muscular, quema de grasas excedentes y mejora de la calidad del musculo, manteniendo en la zona adecuada, el tiempo necesario y con un esfuerzo medio que no resulte incomodo.

Como tercera zona se encuentra el ‘tempo’, donde el objetivo es mejorar la capacidad aeróbica del ciclista, se encuentra entre el 70 y 80 % de la frecuencia cardíaca máxima, se hace aplicando un esfuerzo considerable en los pedales sin salir de una zona de confort.

Los resultados del uso de esta zona durante los entrenamientos planificados son una mejoría en la fuerza, la potencia aplicada, capacidad aeróbica y la circulación sanguínea, generalmente se practica a combinada con la zona 2.

En la cuarta zona se encuentra el umbral de lactato, el nivel de intensidad en frecuencia cardíaca para esta zona va desde el 80 al 90 % de la frecuencia cardíaca máxima, con ello se busca mejorar la capacidad pulmonar y el rendimiento a altas velocidades.

Se recomienda que el tiempo en esta zona no sea demasiado, ya que no se pueden sostener estos niveles de esfuerzo por mucho tiempo sin rebasar la misma zona, por ende se practica generalmente con intervalos con la zona 1.

La quinta zona es la más demandante de todas, ocupando el rango desde el 90 al 100 % de la frecuencia cardíaca máxima, generalmente un deportista incluso de gran nivel solo puede sostenerse de 4 a 8 minutos en esta zona, debido a el gran esfuerzo que representa.

El objetivo principal en esta es mejorar el musculo cardíaco, a responder tan rápido como sea posible a una alta demanda de oxigeno en el organismo, así mismo el cuerpo se acopla a ser más eficiente en el transporte y consumo del mismo, lo que hace al ciclista más eficiente poco a poco[61].

1.6.3. Cadencia

Este parámetro usualmente pasa desapercibido para ciclistas inexpertos, este no se relaciona directamente con la velocidad del ciclista en ruta, esto se debe a la transmisión mecánica, que es el mediador entre la velocidad y potencia aplicada.

La cadencia se define como la cantidad de pedaladas que se realizan en una unidad de tiempo, en este caso en un minuto, usualmente la lectura de este parámetro se realiza mediante un sensor de cadencia, ajeno a la bicicleta, y que forma parte de monitores electrónicos avanzados.

Es posible establecer una relación entre la cadencia y la potencia aplicada por los músculos de las piernas, la condición para esto es conocer la potencia de salida y el estado actual de la transmisión mecánica de la bicicleta.

Generalmente la información que se puede interpretar de la cadencia son estimaciones basadas en la relación de este parámetro con la velocidad o la potencia mecánica, ya que el parámetro en si mismo solo puede ser indicador de la experiencia del ciclista en ruta.

Además otro de los recursos que es posible evaluar con este parámetro es el nivel de fatiga que el ciclista experimenta, esto por la relación que existe entre la estabilidad que proporciona ser capaz de sostener una cadencia constante en una ruta específica.

Esta tiene un rango de usual entre 85 y 95 pedaladas por minuto, el hecho que un ciclista maneje una cantidad inferior a 85 puede ser indicador de fatiga, mientras que una cadencia por arriba de 95 puede ser signo de una mala practica o un sprint en carrera.

Cabe mencionar que este valor así como la frecuencia cardíaca o la potencia por kilogramo que no están sujetos a un estándar y cambia de individuo a individuo, no obstante existen valores recomendados o bien en los cuales se obtienen los mejores resultados.

Este parámetro depende de factores internos y externos, los factores internos son los que se le atribuyen al ciclista como: peso, morfología, experiencia, condición física y atributos genéticos. Mientras que los factores externos están relacionados con el entorno, como la altimetría y el estado del asfalto, junto con las condiciones mecánicas de la bicicleta.

1.6.4. Pendiente

La pendiente es una característica inherente la infraestructura de las carreteras, esta depende de las condiciones orográficas del entorno y la geometría de construcción de la carretera, que si bien no esta orientada directamente a los ciclistas, es un parámetro informativo y conveniente sobre las características de la ruta.

Determinar este parámetro en ruta, depende de un dispositivo de medición capaz de detectar cambios en la altura a la que se encuentre el ciclista, con ello el paso seguido es realizar el calculo adecuado entre dos puntos con las reglas básicas de la geometría euclidiana.

Con la finalidad de ilustrar adecuadamente lo que significa una pendiente en carretera se agrega la figura 1.26, que muestra una pendiente del 10 % y como se relaciona con la distancia recorrida y la elevación ganada.

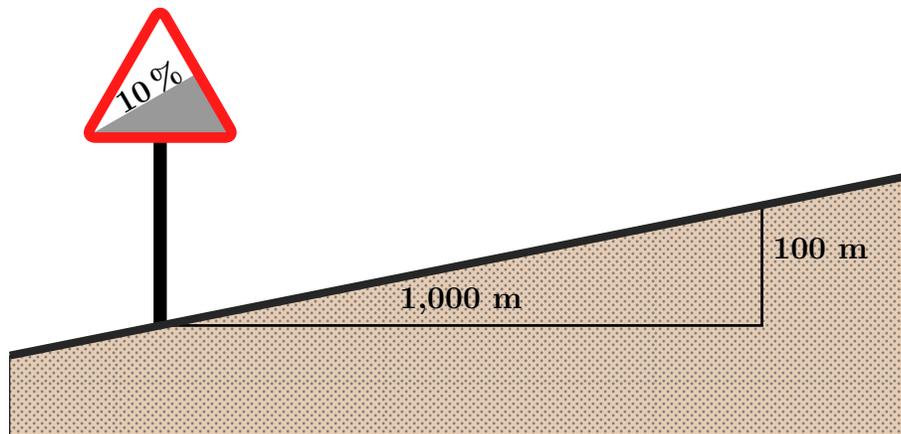


Fig. 1.26: Definición geométrica de una pendiente en carretera.

Para poder obtener la pendiente de cualquier ascenso o descenso hay que describir la propia pendiente como un modelo matemático que atiende a la geometría de la figura 1.27.

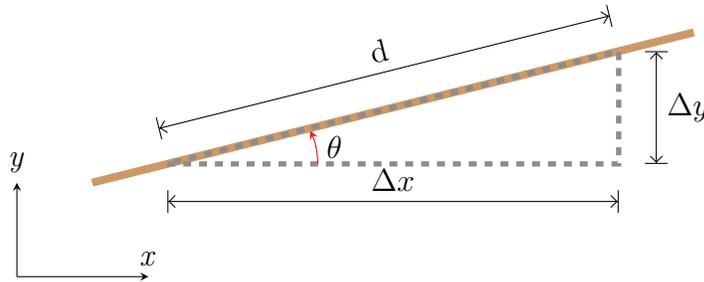


Fig. 1.27: Geometría descriptiva del calculo de la pendiente.

Para realizar el calculo de la pendiente la ecuación 1.2 captura los parámetros conocidos del entorno (distancia, desplazamiento y ascenso) y la variable de la pendiente.

$$Pendiente = \tan(\theta) * 100 = \left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right) * 100[\%] \quad (1.2)$$

Todas las vialidades actuales tienen una pendiente ya sea que esta sea del 0% o mayor, la geometría actual de la ruta depende de las personas que diseñan carreteras y caminos, no obstante existen métricas para la toma de decisiones en este parámetro al momento de diseñar y construir una nueva vialidad.

En el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras del 2018 de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, este hace énfasis en la importancia de la pendiente en construcción de nuevas vialidades, diferenciando 3 características del mismo parámetro[62].

Pendiente mínima: Menor pendiente que permite un drenaje adecuado de la precipitación pluvial, tomando un valor usual del 0.5% y pudiendo ser cero en planicies extensas.

Pendiente máxima: La máxima pendiente que permita la geometría y jerarquía de la carretera, priorizando evitar su uso.

Pendiente gobernadora: Es la pendiente uniforme con la que se pueden unir dos “puntos obligados”.

Es notorio que carreteras con pendiente máxima y gobernadora bajas permiten una mejor circulación vehicular que una carretera con pendientes mayores (una orografía accidentada), resultado de ello, las carreteras tipo ET, A, B, C y D no permiten una pendiente máxima mayor al 9% y una pendiente gobernadora del 8% dentro de la república.

Estas restricciones se orientan a las pérdidas de velocidad apreciables en automóviles y camiones, válido de igual forma en una bicicleta, cualquier pendiente positiva (ascenso) repercute directamente en la velocidad de un ciclista.

Por el contrario una pendiente negativa (descenso) favorece cualquier medio de transporte terrestre y repercute en el sistema de frenado del mismo, en este caso de la bicicleta.

Entonces si este parámetro inherente de las carreteras impacta en la velocidad del ciclista al comenzar una pendiente positiva, impacta de igual forma el comportamiento fisiológico del usuario, dicho de otra forma somete el cuerpo a un mayor esfuerzo físico.

Como es notorio el sistema de carreteras de México no se planificó ni se desarrolló priorizando la circulación de vehículos impulsados por la fuerza humana, en este caso la bicicleta, sin embargo estas son ampliamente utilizadas con fines deportivos y de transporte.

1.6.5. Velocidad media

La velocidad media es el resultado de dividir la cantidad de total de kilómetros recorridos en el tiempo total del recorrido, este parámetro permite tener una referencia cuantificable del rendimiento de un ciclista históricamente.

Si bien es cierto que en ciclismo de ruta así como el resto de deportes cronometrados la velocidad es determinante en el resultado final, la velocidad media se ve influenciada por circunstancias que decrementan su valor considerablemente, estos se listan a continuación.

- Condiciones orográficas del terreno.
- Malas condiciones del asfalto.
- Condiciones climáticas adversas.
- Viento a favor o en contra.
- Percances mecánicos.
- Fatiga acumulada.

En tal caso es notable como la velocidad media se encuentra sujeta a más de un factor ajeno al control del ciclista cuando se encuentra en ruta y su interpretación requiere de objetividad además de apoyarse en otros parámetros como los mencionados anteriormente.

Así bien este parámetro no es determinante en el estado físico del ciclista ni en el rendimiento del mismo, como se menciona es más un parámetro que permite conservar un registro histórico de la mejora de un ciclista.

Es imperativo en el crecimiento de un ciclista que este parámetro no sea comparado con otros ciclistas, ya que depende en gran medida de las condiciones orográficas del terreno y de la distancia recorrida, otra forma de demostrarlo es que no es lo mismo obtener una velocidad media de 25 km h^{-1} en llano que con desnivel.

El caso del desnivel requerirá de una gran exigencia física mientras que en llano los parámetros que más afectaran son el estado del asfalto y el viento en contra.

La fatiga tanto mental como física influyen considerablemente en este parámetro, por ello es imperativo respetar la estrategia del programa de entrenamiento que incluye descansos y descansos activos constantemente.

Finalmente otro de los factores que afectan la velocidad media son las salidas en grupo, normalmente se pueden obtener velocidades medias más altas cuando se entrena en grupo, el origen de este resultado positivo tiene que ver con el estado anímico del ciclista y la aerodinámica aplicada a un grupo.

1.7. Electrónica en el Deporte

Hoy día el ser humano emplea una gran cantidad de recursos materiales y humanos en investigación y desarrollo de tecnología orientada a diversos campos de la industria, muchos de los resultados dados por investigación ya forman parte de nuestra vida diaria.

Actualmente en el ciclismo de ruta y otras modalidades se ha incrementado el uso de tecnología, especialmente de monitoreo ya que el análisis deportivo se ha convertido en una practica habitual y necesaria en el ámbito profesional del ciclismo.

Además no solo existen sistemas de monitoreo en campo si no que hay equipos completos orientados a múltiples deportes que realizan estudios detallados de los movimientos y las ejecuciones del ejercicio en laboratorios especializados, obteniendo información en tiempo real de posición, velocidad, ángulos y demás parámetros.

En tal caso existen 2 campos principales a los que se destina la investigación y desarrollo de tecnología deportiva, por un lado el tipo de tecnología que permite la monitorización de el individuo practicando un deporte; por el otro el procesamiento de estos datos de manera útil y empleando la menor cantidad de recursos posibles.

Así la primera vertiente se orienta más a estudios en laboratorios, o bien en campo con una gran cantidad de instrumentos no móviles focalizados en el atleta, en cambio la segunda vertiente se orienta en la portabilidad, de otra forma dicho, deportes de gran movilidad.

En ciclismo de ruta se ha ido implementando el uso de dispositivos/herramientas que den soporte al ciclista en ruta o post-ruta para mejorar, además de equipos orientados totalmente al entrenamiento en interiores como el ‘*NEO Smart*’ de Tacx[63].

1.7.1. Sistemas de Monitoreo

Ciclistas amateurs y profesionales que emplean bicicleta de ruta suelen auxiliarse de tecnología orientada a monitoreo para tener una apreciación en tiempo real de los parámetros que están desarrollando en ruta tanto en entrenamientos como en competencias.

La importancia de la potencia aplicada en el pedal en conjunto con el peso del ciclista permite evaluar el rendimiento del mismo, con esto en mente Pioneer Electronics desarrollo una línea deportiva de dispositivos electrónicos para medir la potencia[64].

Conocer de manera inmediata la potencia aplicada y poder evaluar posteriormente esta potencia durante una ruta cambia el modo en el que los ciclistas entrenan, permite que mejoren aun más rápido y que puedan evaluar su condición actual con la del pasado.

Con las mediciones que brinda este sistema, de acuerdo con Pioneer, los deportistas pueden tomar decisiones para mejorar su técnica de pedaleo y ajustar su estrategia de entrenamiento. Además podrán analizar múltiples variables y encontrar la manera de explotar al máximo su potencial y optimizar su tiempo.

Ejemplo de estos dispositivos es el monitor de pedaleo SGY-PM910V de Pioneer, es un dispositivo integrado al plato de la transmisión y la biela derecha, se emplea para medir el movimiento de los pies sobre los pedales y la eficiencia con la que el ciclista pedalea, además de brindar parámetros como la cadencia[65].

La eficiencia se refiere principalmente a la cantidad de potencia imprimida sobre el pedal durante una rotación completa de la biela, eficiencias abajo del 30 % se traducen en el uso exclusivo de la fase inicial de empuje como se describe en la sección 1.4.

En tal caso se debe distribuir la potencia aplicada durante toda la fase de empuje en cada pedaleo así como de manera equilibrada entre la pierna derecha e izquierda, por esa razón el sistema de monitoreo de potencia proporciona este valor de eficiencia en el pedaleo.

Existe más de un fabricante de estos dispositivos, pudiendo funcionar de forma única o dependiendo de lo que se conoce como ciclo-computador, que permite equipar una variedad de sensores adicionales y registrar sus valores de forma centralizada a fin de proporcionar resultados en tiempo real y registrarlos.

Estos emplean tecnologías inalámbricas para minimizar la probabilidad de obstruir de alguna forma al ciclista, el Wahoo Element es un ciclo-computador al cual se pueden enlazar sensores de: cadencia, frecuencia cardíaca, velocidad y potencia compatibles [66].

1.7.2. Sistemas de análisis

No solo tiene valor el adquirir una gran cantidad de datos a lo largo de una ruta si no se hace un uso adecuado de estos, así bien para poder obtener información de los datos recabados se debe realizar un proceso de análisis con perspectiva, esto quiere decir que se tiene que tener en cuenta la índole del deporte en si mismo.

La mayoría de monitores del mercado realiza un análisis *'in situ'* rápido con el cual se deshacen de lecturas anómalas y presentan solo valores relevantes al usuario ya sea amateur o profesional.

Existen equipos más sofisticados para realizar pruebas deportivas a atletas profesionales que arrojan una cantidad aun mayor de datos, los procesan de forma rápida pero además permiten que especialistas en materia deportiva y de preparación física realicen sus propios análisis desde el punto de vista del cual son especialistas[67].

Los sistemas que se orientan al análisis deportivo a profundidad generalmente requieren de personal y tecnología capaz de interpretar los resultados obtenidos por el sistema de forma adecuada, con la finalidad de realizar los ajustes y las prevenciones necesarias en los programas de entrenamientos de los atletas.

Una empresa dedicada a la aplicación y distribución de tecnología deportiva es Sonda Sports, cuya motivación surge de la necesidad de verificar el estado de salud y la forma física de futbolistas mediante el uso de GPS y el análisis deportivo post-partido [68].

El uso de sistemas de análisis ya sea en tiempo real o posterior al ejercicio supone un soporte adicional a la hora de la toma de decisiones sobre la carga de trabajo adecuada para el correcto desarrollo de las habilidades de un atleta, en el caso de un ciclista se trata especialmente de la eficiencia muscular del tren inferior[69].

1.8. Análisis de Datos

El análisis de datos mencionado anteriormente se basa en examinar un conjunto de datos con el propósito de obtener patrones, o resultados sobre la información recabada para la toma de decisiones, o en su defecto conocer por completo el comportamiento del fenómeno monitoreado.

Este proceso se apoya con la realización de operaciones puntuales a las que se someten los conjuntos de datos inicialmente para resultar en información ya tratada, realizando este paso en una o múltiples fases dependiendo el objetivo del análisis, por ello es importante conocer la índole del deporte al cual se aplica el análisis.

Como mención adicional pero no menos importante, es prudente tener definida una técnica y proceso específico a emplear antes de implementar el análisis de los datos.

Así bien en estos procesos pueden introducirse dos tipos de datos, los datos cualitativos y los cuantitativos, en el primer caso se trata de datos provenientes de las sensaciones del ciclista en ruta, sobre la bicicleta, su opinión y relato verbal sobre las sensaciones que ha tenido al montar en bicicleta.

El caso de los datos cuantitativos se trata de todos los parámetros medibles a los cuales se les puede asignar un valor y una unidad de medida siendo estos datos más objetivos que los cualitativos.

Algunos de las ventajas más destacadas de el análisis de datos en ciclismo de ruta son:

- Una toma de decisiones más rápida e informada sobre la condición del ciclista.
- Apoya en la identificación de problemas de rendimiento.
- Comprensión más profunda de las necesidades del ciclista así como su comportamiento sobre la bicicleta.
- Mayor acercamiento y consciencia sobre posibles riesgos de salud del ciclista.
- Permite una visualización más rápida y eficiente al tener resultados gráficos.
- Mejora la interpretación del desempeño del ciclista.

1.8.1. Métodos estadísticos

Los métodos estadísticos abarcan el estudio de la recopilación, presentación, análisis y uso de datos para la toma de decisiones y resolución de problemas en diversos campos de la ciencia, es una de las herramientas de análisis de más amplio uso[70].

Estos también tienen utilidad dentro del modelado matemático, con estos es posible confirmar hipótesis realizadas sobre el comportamiento de algún fenómeno es específico en cualquier rama de la ciencia(con índole cuantitativa).

Finalmente la aplicación de mayor interés en sistemas dinámicos con múltiples entradas y salidas es la predicción en el tiempo, además con la introducción del aprendizaje de maquinas manejar una gran cantidad de datos entrada/salida se ha vuelto una herramienta con gran impacto en múltiples áreas de la ciencia.

1.8.2. Modelado matemático

Los modelos matemáticos son representaciones abstraídas de un fenómeno o la relación entre varios parámetros (usualmente llamados variables) y plasmadas mediante ecuaciones y funciones. La “teoría de los modelos” es una rama de la matemática orientada al estudio de las cualidades y estructura de estas representaciones abstractas (modelos matemáticos).

La aplicación de estos modelos yace en el análisis de la relación entre múltiples variables que representan un fenómeno físico generalmente. Se emplean comúnmente en la interpretación del comportamiento de fenómenos naturales, físicos y sociales.

El diseño de uno parte su propio objetivo, el cual generalmente es del tipo predictivo o de replica, un modelo matemático predictivo se encarga de predecir el valor de las variables en el futuro inmediato. En cambio un modelo de replica evalúa históricamente el fenómeno para crear una función que represente fielmente su comportamiento.

Los modelos matemáticos aplican con un mínimo de 2 parámetros, un valor determinado y su variable asignada, así la cantidad de variables dentro de estos aumenta su complejidad, no obstante todos poseen características similares en su raíz, siendo estas las siguientes.

Variables: Son abstracciones de un elemento que se desea analizar, especialmente las relaciones entabladas con otras variables.

Parámetros: Valores de los cuales se tiene control y además se conoce su estado pasado, actual y futuro dentro del modelo.

Restricciones: Denominados límites, indican cuan aceptable es el análisis de que realiza el modelo, de otra forma dicho, las limitantes lógicas atadas a la variable.

Relaciones entre variables: Es posible precisar previamente relaciones entre variables del modelo basadas en hipótesis y teorías previamente desarrolladas, facilitando el proceso de análisis.

Representaciones simplificadas: Como cualidad propia de un modelo matemático es la representación abstracta de las relaciones entre las variables de interés, ergo la posibilidad de representar un fenómeno en funciones, ecuaciones y conjuntos de datos.

Capítulo 2

Desarrollo y Diseño

*No estudio por saber más,
sino por ignorar menos.*
Sor Juana Inés de la Cruz

2.1. Sistema Electrónico de Monitoreo

El monitoreo de los parámetros físicos durante un recorrido en bicicleta requiere una cantidad de sensores adecuada operando a distintas frecuencias de muestreo con la finalidad de determinar un parámetro numérico a un fenómeno físico a través del tiempo.

Para diseñar y fabricar el equipo electrónico requerido para tareas de detección y registro de los parámetros involucrados en ciclismo de ruta se precisa de conocer la índole de cada fenómeno requerido y la forma en la que estos pueden ser detectados, con tal finalidad se plantea inicialmente la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Variables físicas e instrumentos de medición.

Parámetro	Tipo de Medición	Instrumento	Unidades
Velocidad	Indirecta	Magnetómetro	$\frac{km}{h}$
Pendiente	Indirecta	Barómetro	%
Cadencia	Indirecta	Magnetómetro	rpm*
Aceleración	Directa	Acelerómetro	g**
Frecuencia Cardíaca	Indirecta	Sensor Infrarrojo	ppm***

*Revoluciones por minuto.

**Se toma 'g' como la aceleración debida a la gravedad en la tierra y su valor es de $9,80665 \frac{m}{s^2}$.

***Pulsos por minuto.

Con el conocimiento de los elementos involucrados (parámetro, unidad e instrumento de medida) al determinar los parámetros físicos de una bicicleta en movimiento, permiten la formulación de un esquema centralizado (figura 2.1), donde se aprecia una primera propuesta del sistema de monitoreo.

En este esquema se puede apreciar un conjunto de sensores que atienden la detección de fenómenos distintos y reportan la información al microcontrolador que la muestra en pantalla cuyo objetivo es de depuración, y al mismo tiempo los registra en una memoria no volátil para un procesamiento subsecuente más elaborado.

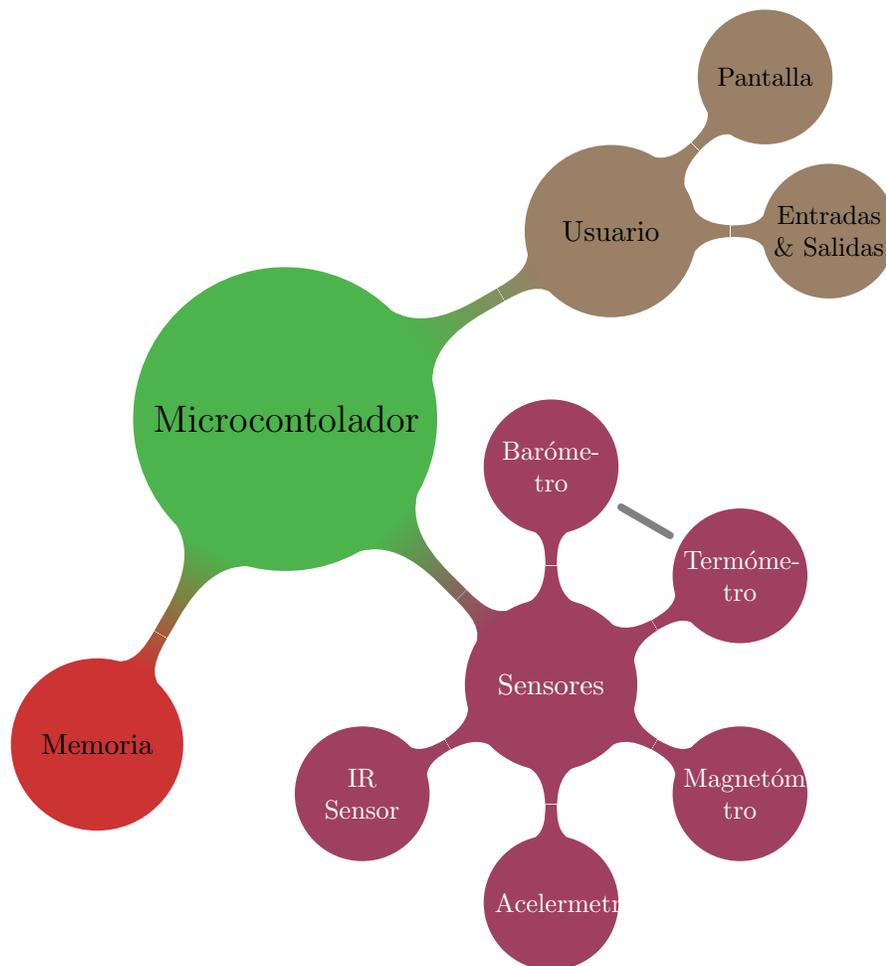


Fig. 2.1: Esquema general del sistema principal de monitoreo y registro.

La figura 2.1 es una simplificación esquemática del planteamiento de la operación del sistema electrónico de monitoreo central que cubre 3 frentes principales de trabajo, siendo estos sub-sistemas orientados a la interfaz usuario-dispositivo, memoria de registro y los sensores como elementos de entrada.

El sistema de sensores se muestra en color **purpura** dentro del esquema, en este se encuentran los sensores que se plantea emplear en el dispositivo de monitoreo, estos atienden con información de forma directa al microcontrolador así como los demás sub-sistemas.

El segundo de ellos es la memoria, que es un sub-sistema de almacenamiento de datos para su posterior análisis, dentro de la figura se puede distinguir por el color **rojo**, aquí se hace el registro constante de los parámetros de interés

Por ultimo el tercer frente de trabajo, la interfaz usuario-dispositivo marcado en color **ocre**, este frente se plantea como un medio para mostrar información al usuario en tiempo real y al mismo tiempo permitirle iniciar o detener el registro de la actividad, principalmente con fines de depuración.

Acerca del sub-sistema de sensores, cada uno de ellos tiene límites de operación, así como características, resoluciones y especificaciones distintas, las cuales es importante conocer para adecuar al sistema de monitoreo principal, asegurando una correcta operación.

Finalmente el diseño electrónico del dispositivo de basa en el esquema de la figura 2.1, no obstante hay 2 condiciones imprescindibles a considerar para su diseño, primero y más relevante, la autonomía, en segundo lugar la modularidad en su construcción.

2.2. Fenómenos de Estudio

Conocer el tipo de fenómeno físico su unidad y comportamiento no es suficiente para implementar un monitor a este fenómeno a través del tiempo, es importante realizar estudios previos acerca como cada uno de estos fenómenos se presentan en el sistema de interés.

En este caso el sistema de interés es una bicicleta de ruta en movimiento, por lo que cada fenómeno presente en este sistema dinámico debe ser estudiado acorde a los límites actuales alcanzados en este deporte.

Si el sistema no esta correctamente orientado al ciclismo de ruta, es muy probable que los resultados que se obtengan en el registro sean correctos, más no adecuados al sistema de interés de una bicicleta en movimiento, al mismo tiempo esto ayuda a descartar datos.

Por ende a continuación se hace una breve descripción de las propuestas de trabajo para cada parámetro de interés que el circuito de monitoreo tiene como objetivo obtener.

2.2.1. Velocidad

Para determinar la velocidad de un individuo sobre una bicicleta de ruta se recurre a emplear un método indirecto, cuya operación se basa en la detección de campos magnéticos, descartando el método convencional de un tacómetro moderno (infrarrojo).

La razón de no emplear el método usado en un tacómetro convencional (infrarrojos) son las condiciones climáticas que afectan el terreno que por consiguiente pueden afectar la reflexión de luz en el aro y proporcionar información incorrecta.

Para detectar un campo magnético hace falta una fuente (emisor) y un instrumento de medición orientado a detectar su presencia (receptor) a una distancia determinada, en este caso se hace uso de imanes de neodimio tipo botón y un sensor de efecto hall (A3141E)[71].

Este sensor se porta en un módulo que posibilita su recambio así como su extensión del circuito electrónico de control central, permitiendo que sea colocado en donde los imanes pasaran de forma constante para ser detectados.

El módulo sensor de presencia magnética incorpora 2 salidas, una digital y otra analógica, en este caso es más conveniente emplear la señal digital, donde la presencia de un campo magnético se representa por un '1' y la ausencia del mismo por un '0'.

Para entender de que forma el fenómeno físico de la velocidad se puede determinar mediante la presencia y ausencia del campo magnético se presenta la figura 2.2, que representa una lectura analógica de la presencia de campo magnético.

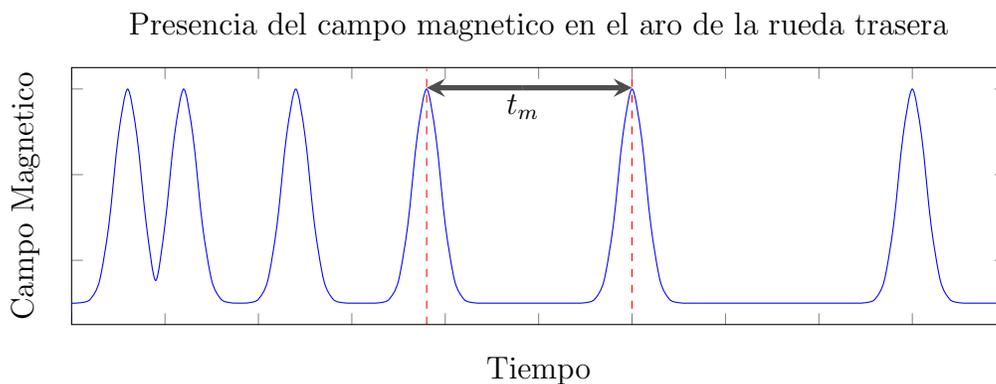


Fig. 2.2: Detección de campo magnético en el aro de la rueda (respuesta analógica).

El fenómeno que se observa a través del tiempo en la figura 2.2 representa una señal periódica que modifica su frecuencia respecto a la velocidad del usuario sobre la bicicleta, en la figura 2.3 se muestra una configuración de 4 imanes para la detección de velocidad.

Siendo la velocidad un parámetro físico que representa la distancia recorrida en una unidad de tiempo, este caso en particular presenta la distancia como el perímetro de la llanta equipada en la bicicleta y el tiempo transcurrido en la que esta completa una vuelta.

Para tener una mejor aproximación en el calculo de la velocidad es imprescindible conocer las medidas estándar de llantas en ciclismo de ruta y emplearla en el modelo propuesto para el calculo de la velocidad, para ello se adjunta la tabla 2.2 que muestra las medidas estándar más populares para la fabricación de llantas orientadas a ciclismo de ruta.

Tabla 2.2: Medidas de llanta estandarizadas para ciclismo de ruta.[20]

Medida convencional	ETRTO	Perímetro exterior [mm]
700x23c	23-622	2,096
700x25c	25-622	2,105
700x28c	28-622	2,136

Para continuar se propone un modelo para su calculo, comenzando por determinar la cantidad de imanes en el aro y la frecuencia mínima y máxima de detección del fenómeno, empleando una medida de llanta 700x28c.

Así, se presenta la ecuación 2.1 que representa la posible existencia de múltiples imanes (n_{iman}) en el aro trasero de la bicicleta.

$$d_i = \frac{P_{28}}{n_{iman}} \quad (2.1)$$

Siendo P_{28} el perímetro de la llanta en milímetros obtenida de la tabla 2.2 y d_i la distancia trazada en el arco perimetral de la llanta entre cada imán.

Adicionalmente se menciona que los aproximados 1 mm a 4 mm menos de diámetro en la rueda con el peso del ciclista se pueden despreciar por ser un parámetro prácticamente constante durante el recorrido.

Entonces para determinar la velocidad a la que el ciclista se desplaza sobre la bicicleta se dispone de la ecuación 2.2, donde simplemente se hace el calculo de la velocidad con el tiempo t_m de la figura 2.2, cuyo resultado esta dado en mm ms^{-1} .

$$spd = \frac{d_i}{t_m} \quad (2.2)$$

Dado que el estándar de velocidad en ciclismo de ruta es en km h^{-1} se realiza una conversión de unidades en la ecuación 2.2, dejando un calculo menos para el microprocesador en la ecuación 2.3, cuyo resultado sera directamente en km h^{-1} .

$$spd = \frac{18}{5} \left(\frac{d_i}{t_m} \right) \quad (2.3)$$

Para determinar una frecuencia mínima y máxima de detección del fenómeno de velocidad se proponen 5 km h^{-1} y 95 km h^{-1} como limites mínimo y máximo respectivamente, teniendo en cuenta que aun no se define una cantidad de imanes, se realizan los cálculos de estos limites con la ecuación 2.4 y se colocan los resultados en la tabla 2.3.

$$f = \frac{1}{t_m} = \frac{18}{5} \left(\frac{\frac{P_{28}}{n_{iman}}}{spd} \right) \quad (2.4)$$

Tabla 2.3: Resultados de la ecuación 2.4 propuesta para la determinación del numero de imanes.

Perímetro (P_{28})[mm]	n_{iman}	d_i [mm]	Velocidad[km h^{-1}]	Frecuencia[Hz]
2,136	1	2,136	5	0.65023
			95	12.35435
	2	1068	5	1.30046
			95	24.7087
	4	534	5	2.60092
			95	49.41739
	8	267	5	5.20183
			95	98.83479

Con la tabla anterior como referencia, se colocan así 4 imanes en el aro trasero de una bicicleta de ruta, los cuales tienen asignados un periodo mínimo entre cada imán de 0,38 s, mientras a la máxima velocidad el periodo más corto es de solo 0,02 s.

Estos periodos se aumentan o decrementan de forma lineal respecto a la cantidad de imanes presentes en el aro de la bicicleta, y se considera que un numero mayor a 4 es innecesario por la índole digital de la señal, ya que esta sera cuantificada con la detección de flancos de subida.

La ubicación de los imanes en el aro y el módulo sensor de campo magnético en el marco de la bicicleta se muestra en la figura 2.3 como referencia.

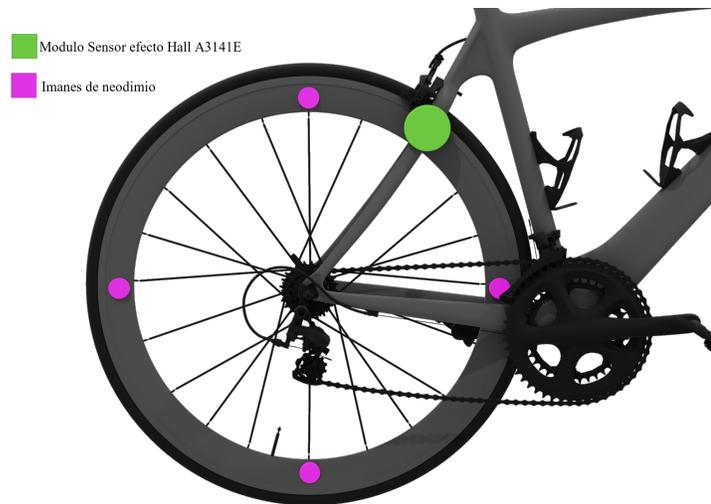


Fig. 2.3: Ubicación de imanes en el aro trasero y el sensor de efecto hall en el marco de la bicicleta.

Finalmente con la frecuencia máxima a la que sucede el fenómeno (tabla 2.3) se puede proponer una frecuencia de muestreo adecuada para su medición constante, esta se propone de acuerdo al criterio de Nyquist empleando la frecuencia máxima se obtiene entonces una frecuencia de muestreo de 100 Hz[72, 73].

2.2.2. Cadencia

Otro parámetro de interés planteado al principio de este trabajo como prioridad en la determinación del comportamiento de un ciclista sobre la bicicleta es la cadencia, este parámetro físico comparte en gran medida características de origen con la velocidad, por lo que de igual forma tiene gran similitud al momento de ser obtenida.

La cadencia en ruta es un fenómeno físico cíclico presente en el eje de los pedales, como se menciona en el capítulo uno, es la cantidad de revoluciones o pedaladas que un usuario ejecuta durante un minuto, este parámetro se relaciona directamente con la velocidad y la pendiente.

Este caso en particular permite valerse de un sistema idéntico al empleado en la velocidad para ser detectado, utilizando el mismo módulo sensor de campo magnético ubicado en una de las vainas inferiores del cuadro de la bicicleta y el imán anclado a una de las bielas.

La figura 2.4 muestra la ubicación del sensor y el imán que permite identificar la cadencia en ruta.



Fig. 2.4: Ubicación del imán y sensor de efecto hall en el marco de la bicicleta.

La localización mostrada en la figura 2.4 favorece en eludir lecturas adicionales por proximidad con los imanes que se encuentran en el aro trasero de la bicicleta, ahora para realizar el calculo adecuado de la cadencia en ruta se emplea el siguiente razonamiento.

Como consideraciones previas en la medición de este parámetro, si se tiene una lectura inferior a 20 pedadas por minuto se considera cero, y dependiendo el parámetro de la velocidad puede ser determinado un estado de descenso (caso de detectar alta velocidad) o de parada (caso de detectar una nula velocidad).

Además la frecuencia máxima detectable se propone de 130 pedadas por minuto, con esto se cubre el limite superior e inferior de este parámetro, y con ello los tiempos máximos y mínimos que se pueden detectar entre cada pulso (figura 2.2) para descartar medidas anómalas.

En tal caso el tiempo para el limite inferior de 20 pedadas por minuto se define con la ecuación 2.5.

$$t_{max} = \frac{60}{rpm_{min}} [s] \quad (2.5)$$

Esto da un resultado de 3s, en cambio para la determinación del tiempo mínimo de detección para la máxima cadencia detectable atiende la ecuación 2.6.

$$t_{min} = \frac{60}{rpm_{max}} [s] \quad (2.6)$$

Siendo el tiempo mínimo de detección 462 ms, entonces la frecuencia máxima a la que sucede este fenómeno es 2,1 Hz, la cual es útil identificar para proponer una frecuencia de muestreo adecuada; tomando la frecuencia máxima del fenómeno y basándose en el criterio de Nyquist la frecuencia de muestreo recomendada deberá ser al menos 5 Hz [72, 73].

2.2.3. Aceleración

En el sistema físico dinámico que representa al ciclista y la bicicleta se puede identificar el parámetro de la aceleración, que no solo se encuentra sujeta a los cambios de velocidad del ciclista, si no que es capaz de obtener lecturas de los movimientos oscilatorios que se producen al pedalear parado.

Adicionalmente a esta señal en el tiempo se le introduce ruido provocado por vibraciones que tienen origen entre el contacto llanta-asfalto, que si bien pueden ser eliminados por ser fenómenos de alta frecuencia, es prudente conservarlos dentro de la señal.

Los tres comportamientos que se pueden obtener de esta lectura son:

- Aceleración positiva y negativa (arranque y frenado).
- Ciclos de balanceo (pedaleo parado).
- Estado del asfalto.
- Nivel de confianza del ciclista.

Con tal objetivo se emplea un sensor de aceleración con capacidad de comunicación I2C. Definir una frecuencia de muestro máxima se relaciona con las capacidades de la memoria donde se almacenan los datos, teniendo en cuenta que la información recabada se almacena en 'cadenas' se establece una velocidad en el puerto SPI de 115200 baudios.

Con ello se espera poder tener una frecuencia de muestreo de al menos 1 kHz, no obstante, el uso de múltiples cadenas concatenadas dentro del firmware limita esta frecuencia de muestreo a 720 Hz teóricos.

$$stack = m_{string} * n_{string} = 16bytes * 10bits = 160bitsperstack \quad (2.7)$$

$$f_{max} = \frac{speed_{SPI}}{stack} = \frac{115200}{160} = 720Hz \quad (2.8)$$

Finalmente para la puesta en práctica de la lectura constante de la aceleración del ciclista sobre la bicicleta y para facilitar el diseño del firmware se emplea una frecuencia de muestreo idéntica a la de la velocidad (100 Hz).

2.2.3.1. Altimetría

La altimetría es conocida más comúnmente como desnivel en competencias de ciclismo de ruta, este parámetro puede obtenerse mediante lecturas de GPS o mediante un barómetro, en este caso se ha optado por hacer uso de una herramienta local que atiende a los cambios regionales para determinar la presión barométrica y así la altitud.

La presión barométrica es un valor más fiable que el otorgado por la geolocalización y que además dependiendo el tipo de sensor y circuito emplea una menor cantidad de energía para operar, por lo que las frecuencias de muestreo pueden ser más altas[74].

La presión barométrica también conocida como presión atmosférica es resultado de la presión hidrostática ejercida por la columna de aire que se encuentra por encima del punto de medición, así como la altitud incrementa, esta columna se vuelve menor y la presión que ejerce el aire en ese punto disminuye.

El módulo que integra el sistema de monitoreo es un barómetro BMP280 que se selecciona para determinar la temperatura ambiente y la altitud actual, este emplea en principio la presión barométrica para determinar la altitud.

EL procedimiento que sigue este sensor es determinar la temperatura actual establecer comunicación mediante el protocolo I2C y comenzar la lectura de presión, inmediatamente después realiza una corrección por temperatura de la presión y una conversión de unidades adecuada para enviar el resultado[75].

Este sensor se alimenta dentro de su módulo mediante un regulador 662K que tiene una capacidad de entrada de hasta 6.5V y una tensión de salida regulada a 3.3 V, adecuada para la operación del sensor, por lo que estará alimentado directamente a la tensión eléctrica de la batería.

El sensor ha de atender una variable que se considera de baja velocidad, no requiere de una tasa de muestreo elevada para monitorear este parámetro(al menos 5 Hz).

Al ser un parámetro de transición (medición indirecta de la altitud y pendiente promedio) se debe considerar la índole del fenómeno, en cuyo caso se refiere a ascensos y descensos en bicicleta, y de los cuales el descenso es la pauta principal que determina la frecuencia de muestreo del mismo.

Las configuraciones del sensor deben responder a la necesidad principal del prototipo, la autosuficiencia, por ello de los tres modos que es posible emplearlo de inicio se escoge el “*Forced Mode*”.

La característica principal en este modo es realizar una medición y pasar inmediatamente a modo reposo, en intervalos específicos de tiempo, minimizando el consumo eléctrico del mismo en operación.

El diagrama del ciclo de medición del sensor resulta importante para conocer el comportamiento del mismo cuando realiza una medición, por ello la figura 2.5 muestra el diagrama de flujo que se encuentra en la hoja de datos el sensor BMP280.

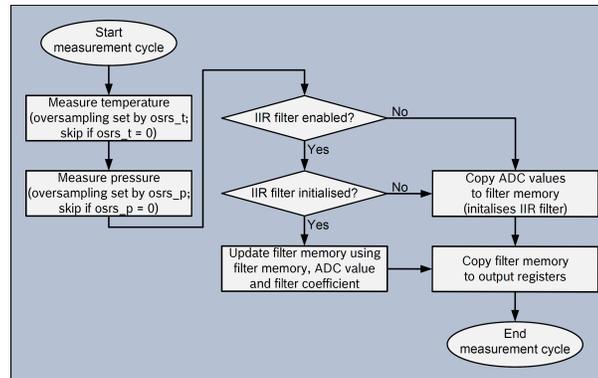


Fig. 2.5: Ciclo de medición del sensor de presión barométrica BMP280.[75]

Además de ello, esta la configuración de la frecuencia de muestreo y la resolución del sensor de forma operativa, para ello se agrega la tabla 2.4, que muestra las resoluciones de los 4 modos operativos del sensor así como su consumo de corriente.

Tabla 2.4: Características eléctricas y de operación del sensor BMP280.[75]

Modo	Sobre muestreo	Resolución	Consumo Eléctrico _[μA]	
			Promedio	Máximo
Ultra bajo consumo	x1	16 bit/2.62 Pa	2.74	4.16
Bajo consumo	x2	17 bit/1.31 Pa	4.17	6.27
Resolución estándar	x4	18 bit/0.66 Pa	7.02	10.50
Alta resolución	x8	19 bit/0.33 Pa	12.70	18.95
Ultra alta resolución	x16	20 bit/0.16 Pa	24.80	36.85

De estas posibles opciones se emplea el bajo consumo basado en la posible velocidad a la que el fenómeno puede cambiar en un intervalo definido de tiempo.

Suponiendo una velocidad máxima en descenso de $95 \frac{km}{h}$ con una pendiente máxima del 18% se obtiene que el ciclista estaría descendiendo una cantidad de $3,72 \frac{m}{s}$, en tal caso esta diferencia en desplazamiento equivale a un descenso de $0,66 \frac{m}{s}$.

La resolución del sensor se obtiene de la presión barométrica a diferentes alturas, en este caso se realizan pruebas de campo entre 2000 y 3000 m.s.n.m lo que equivale dada la ecuación 2.9 a una variación de entre $8,81Pa$ y $9,73Pa$ por metro ascendido u descendido.

$$P_h = P_0 e^{-\frac{mgh}{kT}} \quad (2.9)$$

Que de acuerdo con la tabla 5 es posible emplear el modo de ultra bajo consumo, sin recurrir al sobremuestreo y conservando la misma frecuencia de muestreo propuesta en párrafos anteriores(5 Hz).

2.2.4. Frecuencia Cardíaca

La evaluación de frecuencia cardíaca durante periodos cortos o largos de esfuerzo físico intenso es una herramienta de amplio potencial en el deporte de competencia, este parámetro porta patrones que representan la fatiga y otras condiciones físicas de interés.

Siendo la frecuencia cardíaca el único parámetro fisiológico al que se recurre con una medida indirecta en el monitoreo del comportamiento del ciclista en ruta, este debe ser considerado el parámetro principal de referencia sobre el estado del ciclista.

Determinar este valor requiere del método de pletismografía para tomar lectura indirecta de la frecuencia cardíaca empleando un sensor infrarrojo MAX30102 que detecta cambios de volumen en la sangre de la zona en la que se encuentre el sensor[76, 77].

Este fenómeno de baja frecuencia se le asigna una tasa de muestreo a 1 Hz, su operación se observa en el esquema de la figura 2.6.

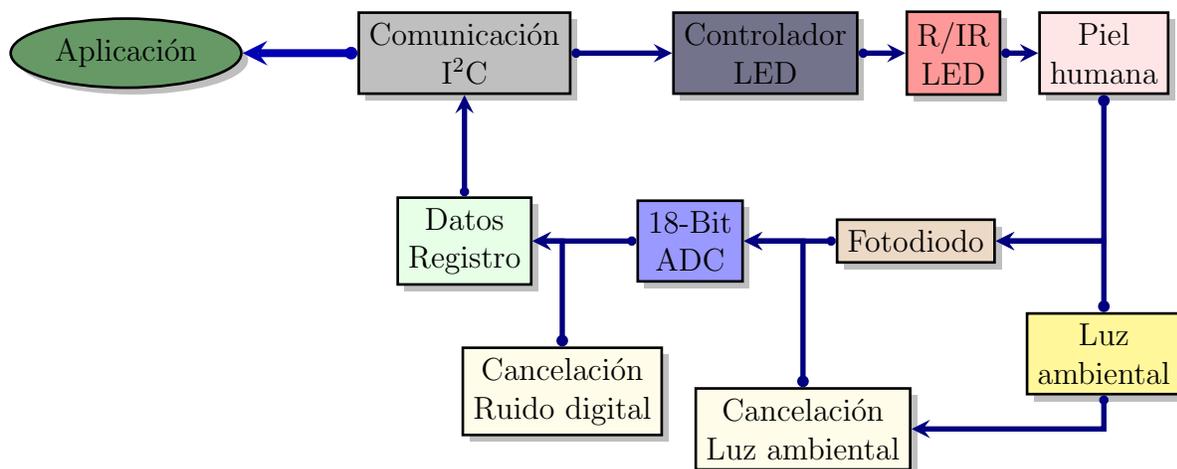


Fig. 2.6: Diagrama funcional del sensor MAX30102[78].

2.3. Circuito Electrónico de Monitoreo

Con el propósito de elaborar un dispositivo electrónico de monitoreo portátil todas las conexiones y terminales de conexión deben ser estables, la finalidad es no alterar lecturas en los sensores, por ello es prudente la fabricación de una placa impresa con el circuito.

Adicionalmente esto permite que el dispositivo en si sea compacto y no requiera de una gran cantidad de cableado adicional, en tal caso para este diseño se debe comenzar por las consideraciones básicas, ergo diseñando un esquema electrónico de conexiones que tome en cuenta todos los medios de conexión y des-conexión.

2.3.1. Circuito Esquemático

El dispositivo electrónico propuesto en este trabajo para el monitoreo y registro continuo de la actividad física de un ciclista es en si mismo un sistema electrónico que cuenta con entradas y salidas como el diagrama 2.1 ilustra.

La proposición inicial tiene en cuenta los factores de espacio, energía y modularidad, así como la ya definida cantidad y estructura de los sensores de entrada del sistema.

La tabla 2.5 recopila los módulos que tendrán uso dentro de este dispositivo incluyendo el microcontrolador central, con la finalidad diseñar el esquema electrónico de interconexión y colocar los elementos electrónicos que permitan una operación conveniente.

Tabla 2.5: Módulos y sus protocolos de comunicación.

Módulo	Protocolo	No. de Pines	Posición
ESP32	UART/SPI/I2C I2S/GPIO	30	Integrada
OLED-Disp.	I2C	4	Externa
BMP280	I2C	4	Externa
MPU-6050	I2C	5	Externa
DS3231M	I2C	6	Externa
Micro-SD	SPI	6	Externa
A3144	D0/A0	4	Externa
Módulo-RF	Digital	4	Integrada
Indicadores	Digital	3	Integrada
TP4056	-	4	Integrada
Batería	-	2	Integrada

Además en esta también se incluye los medios por los cuales se puede establecer comunicación con cada uno de los módulos, con el propósito de asegurar la compatibilidad con el microcontrolador principal.

Finalmente se añade la posición en la que se sugiere este se integre (tabla 2.5, columna 4), refiriéndose a 'Integrada' al interconectar directamente al microcontrolador sin la posibilidad de ser retirado de la placa, 'Externa' hace referencia a los módulos que pueden ser reemplazados fácilmente.

Resultado de las consideraciones en los módulos para su interconexión es el circuito propuesto en la figura 2.7, en este se recurre al uso de 3 buses de comunicación, esto por las limitantes que presenta una placa impresa de una sola cara y fabricación no profesional.

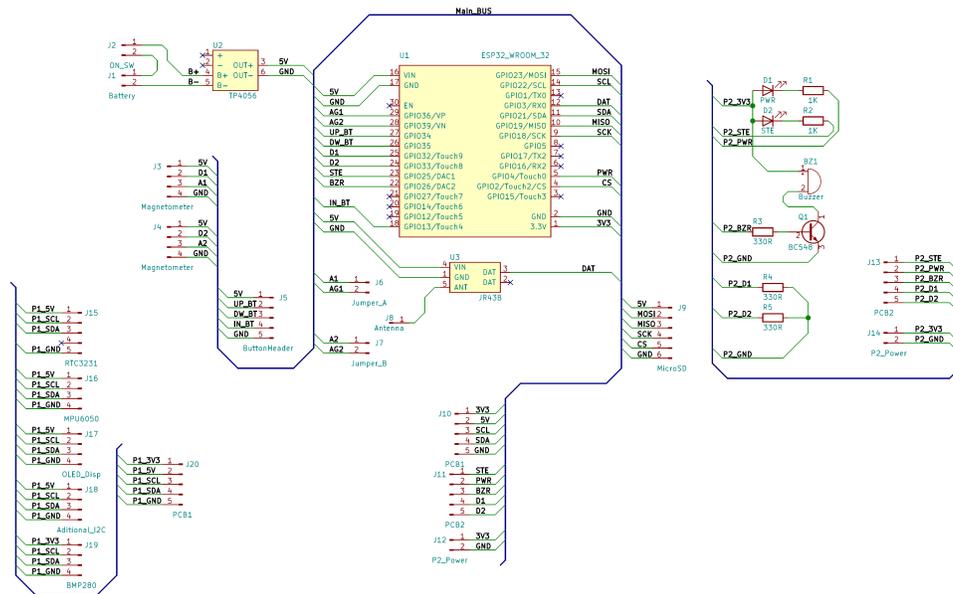


Fig. 2.7: Esquema electrónico del circuito de control unificado.

Tanto en la tabla 2.5 (marcado en rojo) como en la figura 2.7 (IC 'U3') se encuentra un elemento de comunicación inalámbrica por radiofrecuencia del cual se hace omisión de su uso en las versiones finales del circuito (apéndice 4).

Para corroborar el correcto funcionamiento del circuito propuesto como diseño para el monitor principal se realizaran los ensayos siguientes al sistema.

1. Circuito corto: Cada una de las vías a emplear debe cumplir con un número específico de conexiones entre sí, para evitar que estas se aterricen se debe comprobar la conexión entre vías, empleando un multímetro se verifica la continuidad entre ellas.

2. Comunicación: Empleando un script sencillo se verifica la operación del protocolo I2C en los módulos conectados al microcontrolador principal. Adicionalmente se obtienen las direcciones de cada dispositivo para ser configuradas posteriormente.
3. Consumo eléctrico: Únicamente se puede determinar el consumo completo del sistema en modo reposo ya que aun no existe una forma de probarlo de manera integral. Para ello se carga un firmware con un ciclo vacío a fin de activar los núcleos del microcontrolador sin emplearse y se mide el consumo de corriente mientras todos los dispositivos están conectados.
4. Operación: Cada módulo tiene una operación única que puede ser sujeta a pruebas de forma individual.

2.3.2. Placa Impresa

Con la moción de un sistema de monitoreo apoyado en un dispositivo electrónico portable y seguro de emplear, es conveniente que este se desarrolle en una placa impresa, teniendo en cuenta la cantidad de vibración a la que se somete la bicicleta entera en el medio de desplazamiento.

Con el diseño esquemático y teórico del sistema de monitoreo principal (figura 2.7), se realizan varias pruebas en el diseño del circuito impreso (de las que se tiene registro en el apéndice 4, tabla 1) resultando finalmente en 3 placas impresas de una sola cara.

El último cometido se relaciona con la ocupación de espacio, cada módulo emplea un área en el circuito impreso cuyos datos de medida se encuentran en la tabla 2.6.

Tabla 2.6: Volumen de ocupación de los módulos electrónicos del circuito principal.

Módulo	Largo[mm]	Ancho[mm]	Alto[mm]	Localización
ESP32-WROOM-32	56	28	13	PCB
BMP280	10.6	12.9	2.7	Exterior
MPU6050	15.5	21.2	3.3	Exterior
TP4056	24.2	45.3	7.4	PCB
DS3131M	14.5	13.5	4.6	PCB
A3144	14.0	31.2	2.0	Exterior
A3144	14.0	31.2	2.0	Exterior
Micro-SD	24.2	45.3	7.4	Exterior
Sensor-IR	16.0	19.8	2.2	Exterior

Respetando las limitantes mencionadas sobre el tipo de conexión, los elementos del circuito y el espacio que ocupan, el resultado del diseño de la placa impresa se presenta en la figura 2.8, que encontrándose seccionada en 3 circuitos impresos aislados.

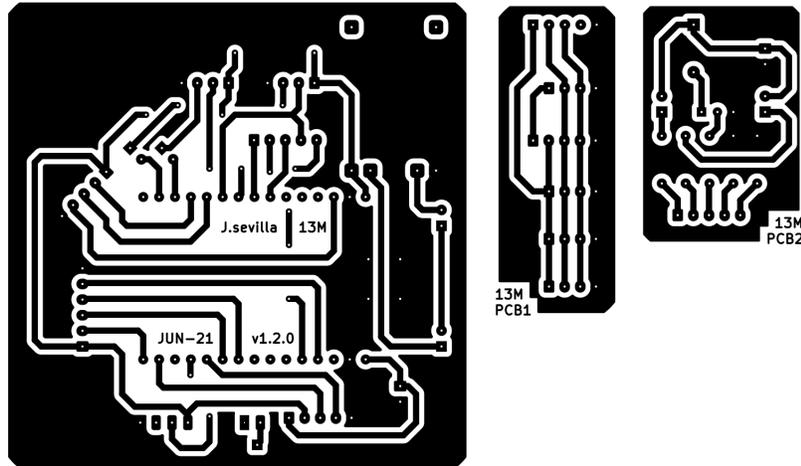


Fig. 2.8: Diseño final de la placa impresa en 3 secciones.

El circuito principal contiene el microcontrolador, alimentación de energía y estación de carga así como el módulo de radiofrecuencia (actualmente en desuso) y las conexiones a otras dos placas impresas, que sirven como una extensión de las conexiones que fue complicado mantener en una sola placa sin colorar puentes cableados.

La primera de estas placas (PCB1) contiene una extensión de la comunicación por el protocolo I2C con el microcontrolador, permitiendo la conexión de 6 dispositivos totales que empleen este protocolo para atender al microcontrolador como módulos esclavos.

La segunda placa (PCB2) contiene los elementos de salida o indicadores del dispositivo, esto incluye los led de encendido y estado, así como el zumbador relacionado con el estado de registro del dispositivo.

2.3.3. Microcontrolador [ESP32-WROOM-32]

En el caso del sistema en la figura 2.1 existe un centro de control único, que lo hace un sistema con múltiples salidas/entradas de datos, aunado a ello, uno de los frentes que atenderá el microcontrolador esta orientado a comunicaciones inalámbricas.

El momento se recurre a uno de los más accesibles microcontroladores del mercado, el ESP32 de Espressif Inc.® que además de cubrir las necesidades de conexión del prototipo, integra un sistema de comunicación inalámbrica de bajo consumo.

Las características principales de este microcontrolador se encuentran listadas a continuación, y durante el desarrollo del prototipo se irán mencionando puntos específicos de su operación [79].

- Procesador: Xtensa® dual-core 32-bit LX6 (80 hasta 240Mhz).
- Memoria:
 - ROM 448 KB
 - RTCSRAM 16 KB
 - SRAM 520 KB
 - Flash 4MB
- Voltaje de operación: 3 V hasta 3.6 V
- Entradas/Salidas: 32 GPIOs
- ADC: 2x12 bit
- Comunicación:
 - I2C
 - SPI
 - I2S
 - UART
- Temperatura de operación: -40 hasta 85 °C

2.3.4. Módulo de carga [TP4056] y batería [UFX902540]

Al ser un sistema que por diseño pretende ser autónomo, se equipa con una batería de 800mA que opera a una tensión de 3,7V, esta tiene una ocupación volumétrica de aproximadamente 10cm^3 con las medidas observables en la figura 2.9.



Fig. 2.9: Medidas aproximadas de la batería para el sistema de monitoreo.

Conservando el ideal de emplear módulos para el dispositivo y a fin de facilitar su uso se integra un circuito de carga, que evita hacer extracción y carga de la batería cuando esta se agote, que incluye métodos electrónicos adicionales de protección.

El circuito de carga se basa en el circuito integrado TP4056, que es un cargador de corriente constante para baterías de celda única que añade protecciones por sobre-corriente y temperatura así como indicador de carga y auto desconexión.

Su comportamiento, límites y funcionamiento se extraen de su hoja de datos, se muestran listados y se agrega el diagrama de conexiones recomendado para su uso como cargador en sistemas electrónicos portables.

- Sistema de carga ajustable desde 0,13A hasta 1A.
- Sistema de carga a corriente constante/tensión constante.
- Desconexión automática.
- Indicadores de estado.
- Tensión de operación: -0.3 8 V
- Temperatura de operación: -40 85 °C.

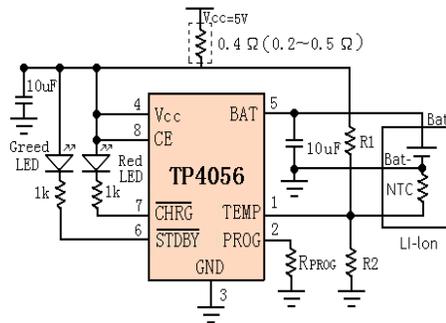


Fig. 2.10: Circuito recomendado para carga de baterías tipo Li-ion de celda única, empleando el CI TP4056.[80]

2.3.5. Pantalla OLED 164x32

Al ser un dispositivo autónomo es prudente que tenga la capacidad de ser configurado “*in situ*”, lo que vuelve necesaria la interacción dispositivo-usuario, en tal caso la salida del dispositivo tendría que ser visual.

Con tal propósito y conservando un consumo eléctrico mínimo se emplea una pantalla con tecnología OLED de 0.96” bicromática de la que se tiene un estudio completo de consumo eléctrico en el apéndice 4.

Con una resolución de 128x64 pixeles y empleando el modo estándar de contraste se pueden presentar los parámetros más relevantes de la ruta así como iniciar y detener el registro de la actividad.

2.4. Firmware

Para que el dispositivo opere de forma adecuada y acorde al planteamiento inicial del prototipo es importante una programación apta para la cantidad de sensores y demás electrónica relacionada en el circuito electrónico (indicadores y registros), esto involucra entonces el desarrollo de un firmware específico.

Ya que las operaciones de obtención de parámetros tienen frecuencias de muestreo múltiples entre si, uno de los núcleos del microprocesador se ha propuesto como el monitor, mientras que el segundo núcleo se trabajara como el registro de la actividad.

2.4.1. Operación General

Una vez ensamblado el circuito electrónico completo (todas las placas impresas) se procede con la integración de todos los comandos de control a un solo programa que atiende la estructura funcional de trabajo mostrada en la figura 2.11.

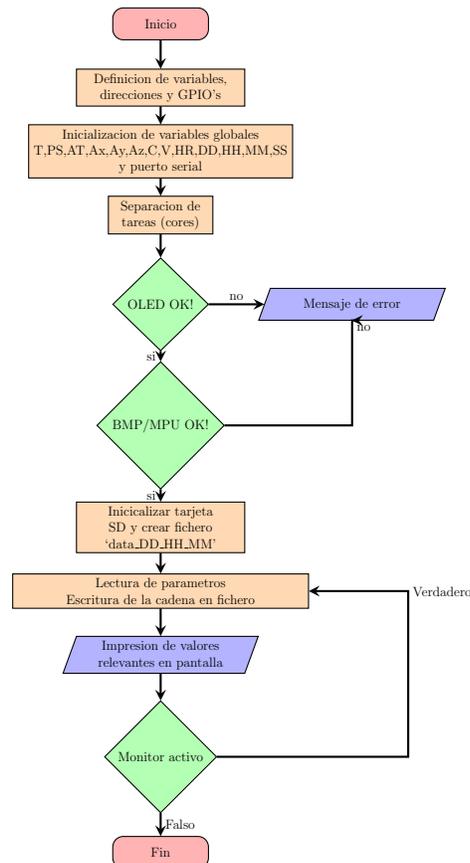


Fig. 2.11: Diagrama de flujo de la operación del circuito electrónico de control para monitoreo y registro.

Para comenzar con la estructura del programa de forma detallada se comienza por detectar las direcciones de los módulos sensores dentro del protocolo I2C.

Para este caso se emplea un pseudo código, ajeno al programa principal el cual emplea el monitor serial del ESP32 para notificar vía ordenador la ubicación de los sensores encontrados, escaneando cada una de las 124 direcciones del protocolo I2C.

El programa se describe en 3 segmentos, empezando por la librería “Wire.h” e inicializando la comunicación serial mediante USB. Paso seguido un ciclo de trabajo realiza un conteo de los dispositivos detectados en conjunto con su dirección (código 2.1).

Pseudocódigo 2.1: Escaneo de dispositivos en protocolo I2C.

```

6 void loop() {
7   int No_Dev = 0;
8   byte Error, Address;
9   for(Address = 1; Address < 127; Address++ ) {
10    Wire.beginTransmission(Address);
11    Error = Wire.endTransmission();
12    if (Error == 0) {
13      Serial.print("Dispositivo_encontrado_en:_0x");
14      if (Address<16) {
15        Serial.print("0");
16      }
17      Serial.println(Address,HEX);
18      No_Dev++;
19    }

```

Con la posibilidad de encontrar fallas o lecturas erróneas, la línea 20 (2.2) incorpora un método para detección de errores dentro del ciclo ‘for’ de la línea 9, que al terminar de ejecutarse revisa los 128 dispositivos posibles del protocolo.

Pseudocódigo 2.2: Prevención de errores en el protocolo I2C.

```

20 else if (Error==4) {
21   Serial.print("Error_de_dispositivo:_0x");
22   if (Address<16) {
23     Serial.print("0");
24   }
25   Serial.println(Address,HEX);
26 }
27 }
28 if (No_Dev == 0) {
29   Serial.println("No_hay_dispositivos_conectados");
30 }
31 else {
32   Serial.println("_");
33 }
34 delay(7000);
35 }

```

Para conocer la dirección de cada sensor se procede a realizar el escaneo individual de cada módulo, así los resultados se depositan en la tabla 2.7 y sirve de referencia para la programación del firmware de monitoreo.

Adicionalmente se agrega la resolución media del módulo así como el consumo energético estimado a fin de aproximar un uso promedio y determinar la posible duración de la batería en plena operación.

Tabla 2.7: Direcciones y consumo de los módulos.

módulo	Protocolo	Dirección	Resolución	Consumo [mA]
BMP280	I2C	0x77	ULP	0.3
MPU-6050	I2C	0x68	ULP	0.5
MAX30102	I2C	0x69	STD	1.2
OLED	I2C	0x3C	STD	18
DS3231M	I2C	0x68	ULP	0.1

Después de identificar cada una de las direcciones, se ha de comenzar el programa con las definiciones marcadas en el esquema de la figura 2.11.

Pseudocódigo 2.3: Definición de la dirección asociada a cada sensor dentro del programa.

```

1 #define SCREEN_ADDRESS 0x3C
2 #define SCREEN_WIDTH 128
3 #define SCREEN_HEIGHT 64
4 #define OLED_RESET -1
5 /*=====*/
6 #define BMP_I2C_ADDRESS 0x76
7 #define MPU_I2C_ADDRESS 0x69
8 /*=====*/
9 #define SD_CS

```

Para continuar dentro de el esquema lineal de trabajo el paso seguido es la definición de las variables de uso global (empleadas dentro y fuera de las funciones en las que operan), así como la definición de los GPIO's de los cuales hará uso el microcontrolador (2.4).

Pseudocódigo 2.4: Declaración de las IO's, entradas y salidas en uso del microcontrolador.

```

1 const int State = 25;
2 const int Power = 4;
3 const int Buzzer = 26;
4 const int Mag_V = 33;
5 const int Mag_C = 32;

```

En este punto continua la activación del puerto SPI y la separación de tareas para cada uno de los núcleos del microcontrolador (código 2.5).

Pseudocódigo 2.5: Separación de tareas por núcleo.

```

1 Serial.begin(115200);
2 delay(100);
3 /*=====*/
4 xTaskCreatePinnedToCore(
5 LowMonitor,          // Nombre de la funcion    /--/
6 "Monitor_lento",    // Nombramiento del proceso /--/
7 1000,               // Stack size (bytes)      /--/
8 NULL,              // Parameter to pass       /--/
9 1,                  // Prioridad                /--/
10 NULL,              // Task handle              /--/
11 0);                 // Nucleo de ejecucion     /--/
12 xTaskCreatePinnedToCore(
13 FstMonitor, "Monitor_rapido", 1000, NULL, 1, NULL, 1);

```

El paso siguiente es corroborar la conexión tanto de la pantalla OLED como del sensor BMP280 y el MPU6050.

Pseudocódigo 2.6: Secuencia de inicialización de sensores y pantalla OLED.

```

1 display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, SCREEN_ADDRESS);
2 display.clearDisplay();
3 if( bmp.begin(BMP_I2C_ADDRESS) == 0 ){
4 display.setTextSize(1);
5 display.setCursor(35, 37);
6 display.print("BMP_X");
7 display.display();
8 while(1);}
9 if ( mpu.begin(MPU_I2C_ADDRESS) == 0){
10 display.setTextSize(1);
11 display.setCursor(35, 37);
12 display.print("MPU_X");
13 display.display();
14 while (1)
15 yield();}

```

Ahora para preparar el almacenamiento se inicializa la tarjeta microSD, se revisa la existencia de cualquier archivo dentro y se crea uno a la fecha y hora del momento en el cual se encienda el dispositivo.

Pseudocódigo 2.7: Verificar existencia de unidad de almacenamiento y creación de fichero.

```

1 SD.begin(SD_CS);
2 if( SD.begin(SD_CS) == 0) {
3 display.setTextSize(1);
4 display.setCursor(29, 11);

```

```

5  display.print("SD_X");
6  display.display();}
7  return;
8  uint8_t cardType = SD.cardType();
9  /*=====*/
10 if(cardType == CARD_NONE) {
11   Serial.println("Sin_tarjeta_SD");
12   return;}
13 Serial.println("Iniciando_memoria...");
14 if (!SD.begin(SD_CS)) { Serial.println("ERROR_-_Tarjeta_SD");
15   return;}
16 /*=====*/
17 datalog = String(rtc.day()) + String(rtc.hour()) + String(rtc.minute());
18 File file = SD.open("/data.txt");
19 if(!file) {
20   Serial.println("Archivo_no_encontrado");
21   Serial.println("Creando_archivo...");
22   writeFile(SD, "/data.txt", datalog.c_str());}
23 else { Serial.println("Renombrar!"); }
24 file.close();

```

Ahora para los procesos de monitoreo y de registro donde se emplean 2 núcleos se recurre a llamar las funciones que se encuentran apuntadas a cada uno de ellos como se muestra en el código 2.8.

Estas funciones son llamadas dentro del ciclo del monitor activo.

Pseudocódigo 2.8: Detección continua de parámetros.

```

1  void FastMonitor(void * parameter) {
2    for(;;){ temp = bmp.readTemperature();
3    pressure = bmp.readPressure();
4    if(temp < 0)
5      sprintf(_buffer, "-%02u.%02u_C", (int)abs(temp),
6        (int)(abs(temp) * 100) % 100 );
7    else
8      sprintf(_buffer, "%02u.%02u_C", (int)temp,
9        (int)(temp * 100) % 100 );
10   Cadence = analogRead(Mag_C);
11   Velocity = analogRead(Mag_V);
12   sensors_event_t A, G, T;
13   mpu.getEvent(&A, &G, &T);
14   Ax = A.acceleration.x;
15   Ay = A.acceleration.y;
16   Az = A.acceleration.z;
17   vTaskDelay(500 / portTICK_PERIOD_MS);
18   digitalWrite(Buzzer, HIGH);
19   digitalWrite(State, HIGH);
20   vTaskDelay(10 / portTICK_PERIOD_MS);
21   digitalWrite(Buzzer, LOW);
22   digitalWrite(State, LOW);
23   vTaskDelay(500 / portTICK_PERIOD_MS);}}
24 void Register(void * parameter){ logSDCard(); }

```

Las funciones adicionales que permiten operar la tarjeta microSD así como el almacenamiento de datos pertenecen a la librería "SD.h" la cual no se tratara a fondo.

2.5. Procesamiento de Datos

Al momento que el sistema comienza a operar con normalidad, recopilando información cada 0.01 segundos y almacenando los parámetros en una cadena cada 0.1 segundo estos quedan en una memoria no volátil con la siguiente estructura.

Pseudocódigo 2.9: Modelo de guardado de los parámetros en el fichero creado.

```
1 YYYY_MM_DD_HH_MM_SS_Temperatura_Presion_Velocidad_Cadencia  
2 _Acceleracionxyz_HR_NoLectura
```

Con estos parámetros se puede importar una matriz completa del formato del archivo 'txt' que genera el microcontrolador, esto permite un posterior análisis sobre todas las lecturas tomadas a lo largo de un recorrido.

Estos datos primeramente se han de inspeccionar en busca de posibles fallas de lectura para descartar entonces información no representativa e identificar el posible origen de la falla.

Así dentro de la plataforma de MATLAB se hace una inspección mayor de cada uno de estos para distintas condiciones del terreno y diferentes ciclistas y estilos de manejo.

Los parámetros resultantes que se buscan de esta información se en-listan a continuación.

- Velocidad (actual, media y punta).
- Cadencia (actual y media).
- Altitud.
- Pendiente (actual y promedio por km).
- Temperatura (ambiente y del usuario).
- Aceleraciones (sprints y arranques).
- Desaceleraciones (paradas o interrupciones en ruta).
- Estabilidad.

Capítulo 3

Resultados y Pruebas de Campo

Sólo merece llamarse hombre el que sabe, puede y quiere ayudar al hombre.

Jaime Torres Bodet

3.1. Resultados Preliminares

La finalidad de este capítulo es exhibir los resultados obtenidos en el desarrollo y conclusión de este proyecto con el propósito de ser base para futuras investigaciones del tema además proveer la capacidad de replicar las pruebas en el realizadas.

Para presentar de forma ordenada estos resultados se ha de emplear un método estructural lineal, comenzando por los resultados preliminares del monitor electrónico agregando sensores y complejidad al sistema paulatinamente.

Paso seguido es la propuesta de las rutas a recorrer durante las pruebas de campo para permitir la trazabilidad de los fenómenos físicos presentes al montar en bicicleta y tener la capacidad de compararlos sin incluir variantes del entorno geográfico.

Posteriormente a estos datos recabados se les realiza un análisis buscando la relación entre los fenómenos físicos que se han estudiado y monitoreado, con la finalidad de plasmar este análisis en una correcta interpretación del impacto que tienen unos con otros y como se define la experiencia del ciclista.

Para concluir este capítulo los datos en el se analizan con objeto de interpretar como se comporta un ciclista novato, experimentado y amateur en ruta, basado en los resultados se dispondrá si el prototipo es útil como apoyo adicional para escalar estos niveles. Adicionalmente se estudian las inconsistencias presentes en el prototipo durante su operación como dispositivo electrónico autónomo.

3.1.1. Temperatura Ambiente

El grafico de la figura 3.1 muestra la temperatura ambiente obtenida mediante el sensor BMP280 en modo de sub-muestreo en un ambiente cerrado durante 20 minutos, en modo stand-alone (único sensor).

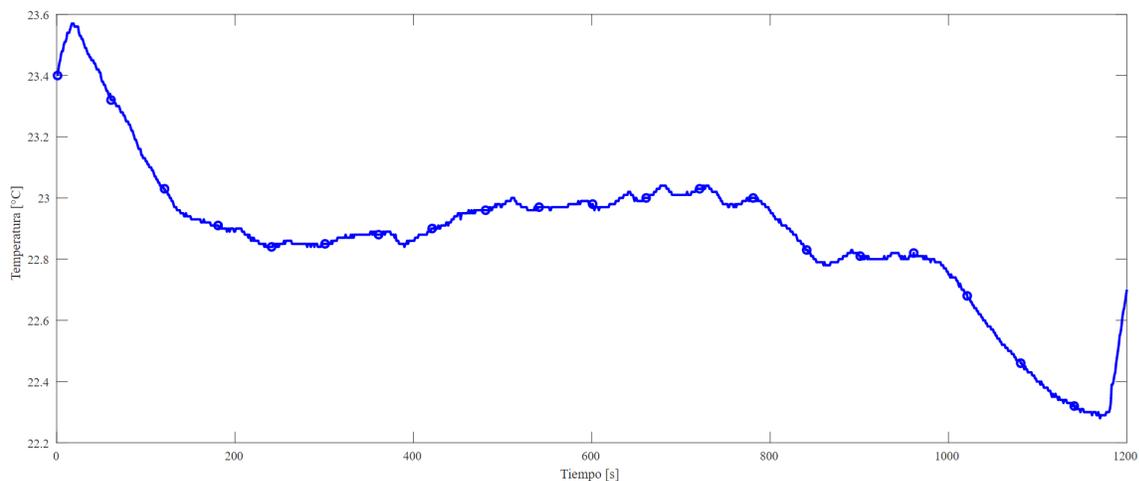


Fig. 3.1: Temperatura ambiente en un ambiente cerrado detectada con el sensor BMP280.

Habiendo corroborado la funcionalidad del sensor, se hace una prueba adicional en un ambiente abierto sin exposición directa al sol durante una hora comparando la lectura con un multímetro digital UNI-T UT39C (figura 3.2).

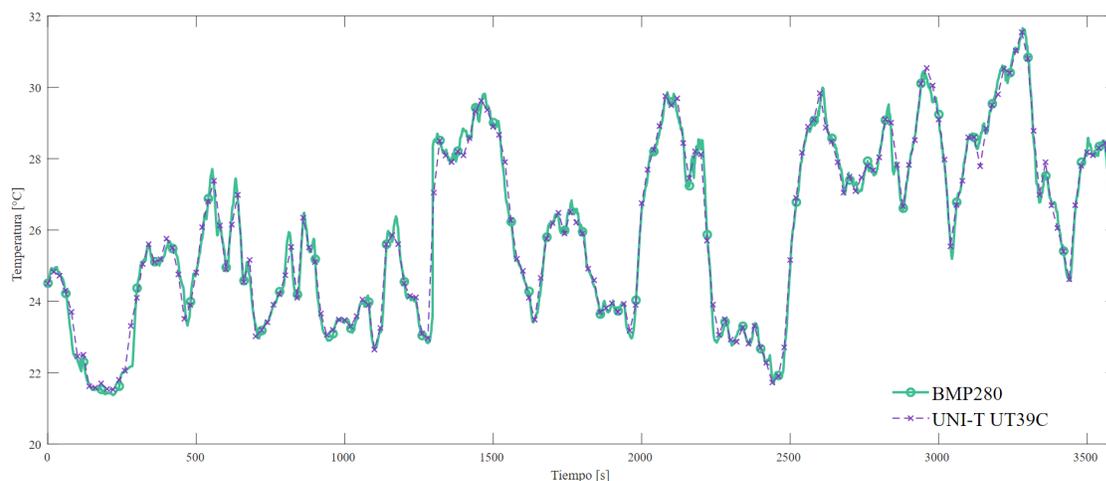


Fig. 3.2: Comparación de referencia de temperatura ambiente en exteriores con exposición indirecta al sol.

Como prueba de campo y buscando la mejor colocación sobre la bicicleta se emplean 2 sensores idénticos, uno en contacto directo con el medio mientras otro se aloja en un contenedor sin contacto directo con el medio. Esta comparación se muestra en el gráfico de la figura 3.3.

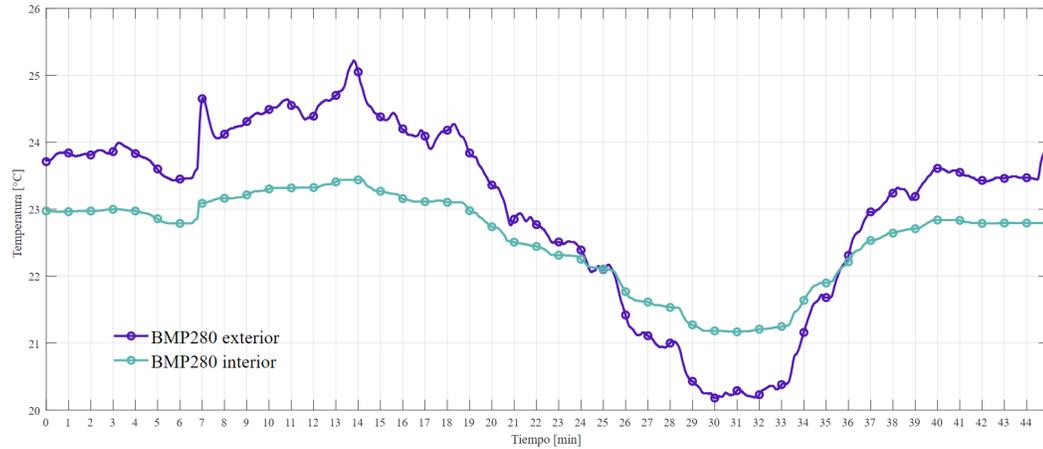


Fig. 3.3: Discrepancia entre tomar lectura en ambiente cerrado y en exterior durante una ruta.

3.1.2. Presión Barométrica

La presión barométrica se obtiene con el sensor empleado para la temperatura, en este caso orientado a la presión, como primera prueba se introducen las mismas condiciones que la sección de temperatura, un ambiente cerrado, stand-alone, y se varia la altura en 4 metros ascenso y descenso, el resultado de este comportamiento es la figura 3.4.

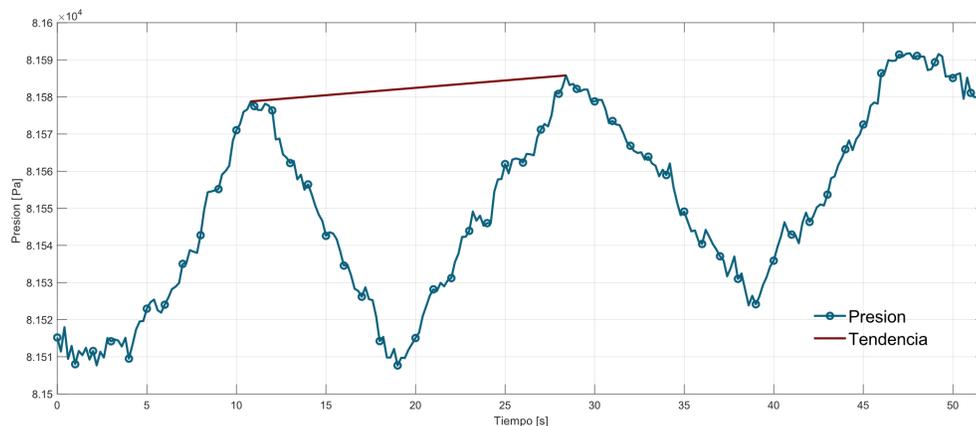


Fig. 3.4: Variación de presión en ambientes cerrados con sensor BMP280.

En el grafico anterior se observa el comportamiento del sensor ante los cambios de presión sometidos en interiores en intervalos constantes, obteniendo los valores en Pa[75].

Ademas se incluye una linea de tendencia, la cual indica un aumento de presión en el ambiente incrementado a pesar de ser la misma ubicación, esto tiene origen en el aumento de temperatura ambiente, la cual no se integra a la presión existente como en la ecuación de la altitud.

Como siguiente punto de revisión en el funcionamiento y operación del barómetro es en campo, teniendo en cuenta los resultados de las pruebas de temperatura de la figura 3.3 se escoge tomar la posición en completo contacto con el exterior a fin de detectar los cambios en la presión de forma más rápida.

Esta prueba se realizó durante una ruta de 4 kilómetros en ascenso y descenso a una velocidad media en ascenso de 12 km h^{-1} y una media en descenso de 46 km h^{-1} , los resultados se grafican en la figura 3.5.

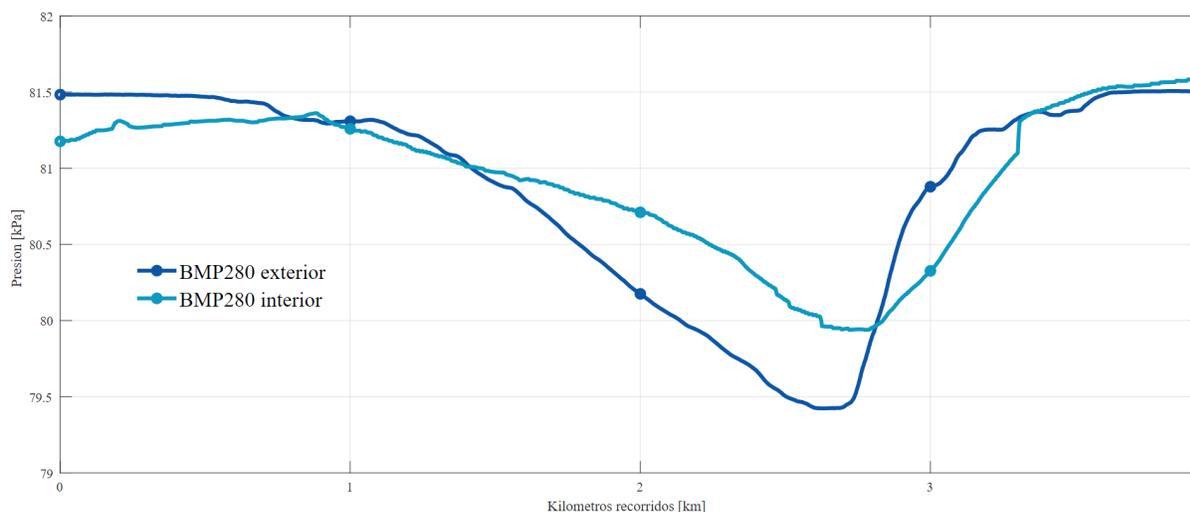


Fig. 3.5: Variación de presión en exteriores con sensor BMP280.

3.1.3. Altimetría

Los resultados obtenidos en la determinación de la altura sobre el nivel del mar tienen 2 vertientes, una de ellas es la capacidad del sensor BMP280 en la determinación de esta medida de forma interna, ajustando el valor a la temperatura actual.

El segundo de ellos es hacer uso de la ecuación 3.1 y el mismo sensor, empleando el sobre-muestreo de temperatura y la presión actual para ello, haciendo una única prueba en campo de este método, empleando la ruta de la presión barométrica de la sección anterior.

$$h = \frac{\left(\left(\frac{P_0}{P}\right)^{\frac{1}{5.257}} - 1\right) \times (T + 273,15)}{0,0065} \quad (3.1)$$

Para validar este resultado y emplear la más cercana a la realidad se añaden los valores cartográficos obtenidos de google maps y además los de dos monitores de actividad física con GPS/GLONASS/GALILEO, para una comparación visual rápida se adjunta el gráfico en la figura 3.6.

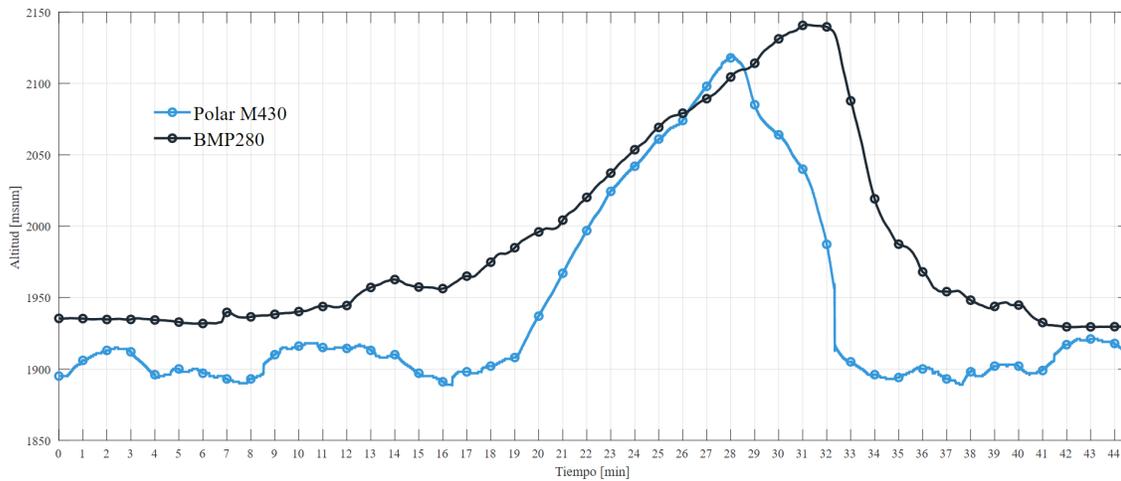


Fig. 3.6: Comparativa de altimetría por barómetro (cálculo) y GPS comercial[75, 81].

3.1.4. Velocidad

En el caso de la velocidad se ha empleado un sensor magnético como se menciona dentro del capítulo II, y se determina la velocidad a una frecuencia de muestreo determinado, para someter a prueba este sistema se prepara la electrónica y el firmware específico.

El procedimiento consiste dejar libre la rueda trasera, girarla a una velocidad de rotación media y empleando el piñón grande del cassette y al momento de activar el monitor electrónico se obtiene la señal en ‘raw’ de la presencia de campo magnético, .

De a poco y mediante el uso de los piñones traseros del cassette se varía la velocidad tratando de no modificar la cadencia, únicamente la multiplicación a través de los cambios de velocidad del manillar, el resultado es el gráfico de la figura 3.7.

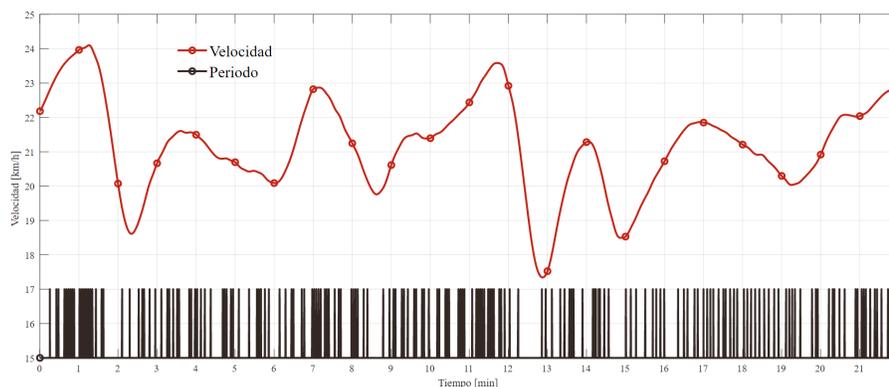


Fig. 3.7: Detección de variación en velocidad mediante el uso de magnetómetro.

Para obtener la velocidad se recurre a un pseudo-código que calcula la cantidad de muestras que pasan entre cada detección del parámetro y teniendo la frecuencia de muestreo a 100 Hz y la distancia entre los imanes, es posible hacer una estimación de la velocidad actual cada que un imán es detectado.

3.1.5. Cadencia

La detección de la cadencia se basa en el mismo sistema que la velocidad, entonces se detecta la cantidad de pedaladas que un usuario realiza en el periodo de un minuto, en este caso se toma lectura de este fenómeno simultaneo a la velocidad.

Los resultados de esta observación se encuentran en la figura 3.8 donde se puede observar la poca variabilidad de la cadencia (90ppm en promedio), la obtención consiste en tener el tiempo entre pulsos y hacer una conversión a pedaladas por minuto.

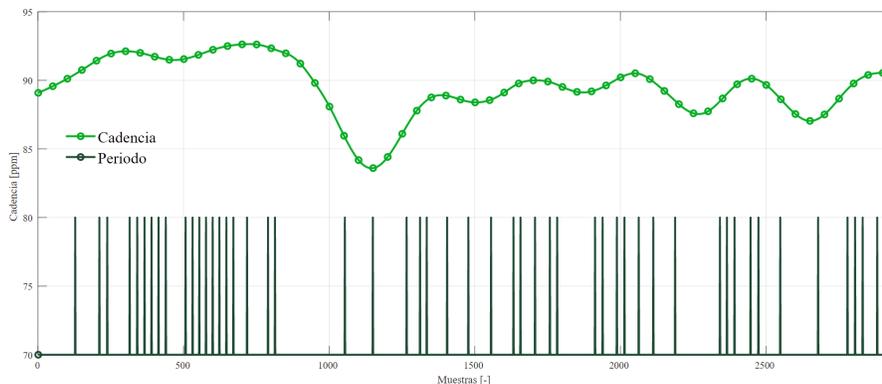


Fig. 3.8: Detección de cadencia en exteriores en una ruta llana.

3.1.6. Temperatura Corporal

La temperatura corporal que es un fenómeno físico de baja frecuencia se toma con un sensor MAX300102 en el modo estándar de muestras mencionado en el capítulo anterior, en este caso se añaden dos pruebas con el fin de ver la rapidez de esta variación, que en este caso debería ser mínima.

En el primer caso se hacen mediciones constantes durante 10 minutos en modo stand-alone en un ambiente cerrado, sin contacto con otra fuente de calor de forma directa o indirecta, a una temperatura ambiente de 24 °C, obteniendo el gráfico de la figura 3.9.

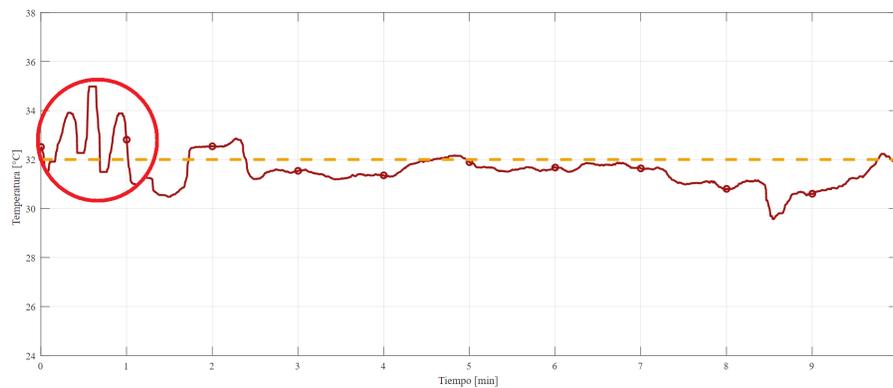


Fig. 3.9: Detección de la temperatura corporal en sección posterior del antebrazo en interiores.

La segunda prueba se realiza en campo en plena actividad física tomando una ruta llana con el sensor en contacto indirecto con el medio ambiente durante 20 minutos, esto después de una sesión de calentamiento de 20 minutos, observando los resultados en la figura 3.10.

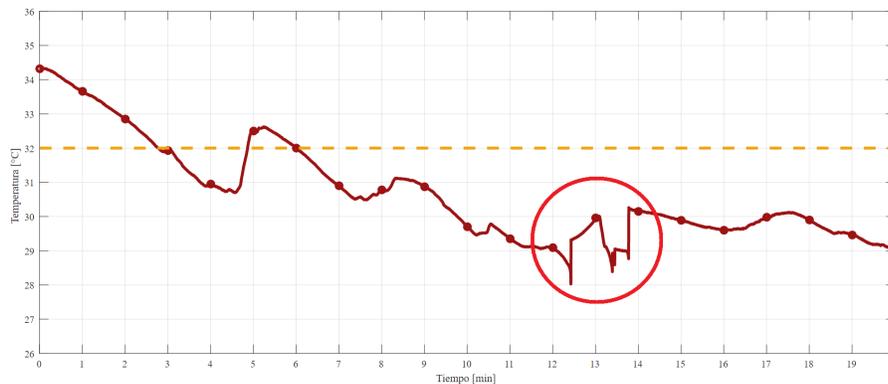


Fig. 3.10: Detección de la temperatura corporal en sección posterior del antebrazo en exteriores.

3.1.7. Frecuencia Cardíaca

Siendo este el único parámetro con relación directa al estado y esfuerzo actual del ciclista es uno de los recursos de mayor valor y que más cuidado requiere, el sensor empleado es el mismo que toma la temperatura corporal (MAX300102) en el antebrazo.

Para evaluar el desempeño de este sensor en lugar de hacer una prueba stand-alone, se recurre a una prueba conjunta, empleando el sensor barométrico y el de frecuencia cardíaca en core 0 y core 1 del microprocesador respectivamente.

Para validar esta información se hace uso de dos monitores comerciales de frecuencia cardíaca adicionales en la muñeca derecha e izquierda tomando lecturas a una frecuencia de muestreo de 1 Hz.

La primera prueba parte de un estado de reposo en un ambiente cerrado a 23 °C y durante 20 minutos en dos intervalos se realizan esfuerzos medianamente demandantes y se observa la variación a través del tiempo comparada con la de los monitores comerciales.

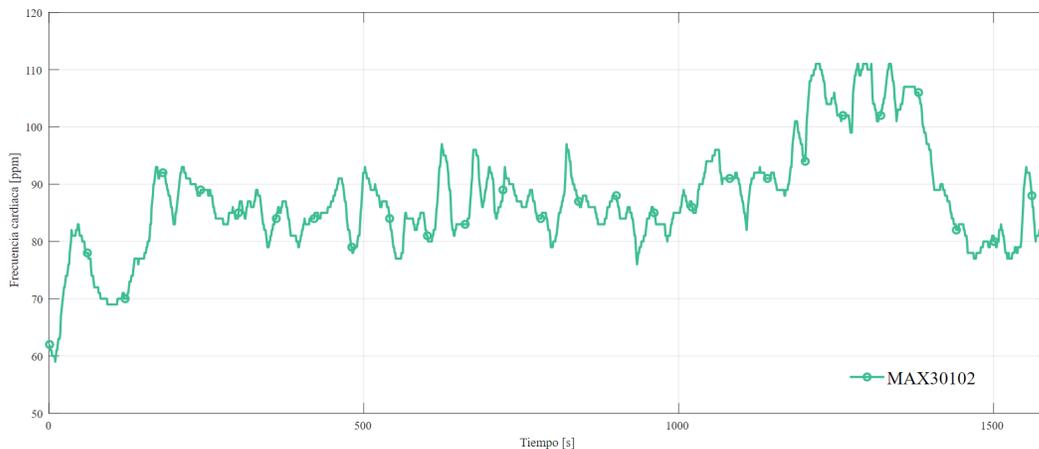


Fig. 3.11: Comparativa de frecuencia cardíaca en interiores de un estado de reposo a una actividad medianamente demandante.

La segunda prueba es en campo, empleando el mismo sensor y los monitores comerciales, con un calentamiento de 40 minutos en llano se hace un ascenso de 2 km a una velocidad de 14 km h⁻¹ y el descenso respectivo, colocando los resultados en el gráfico siguiente.

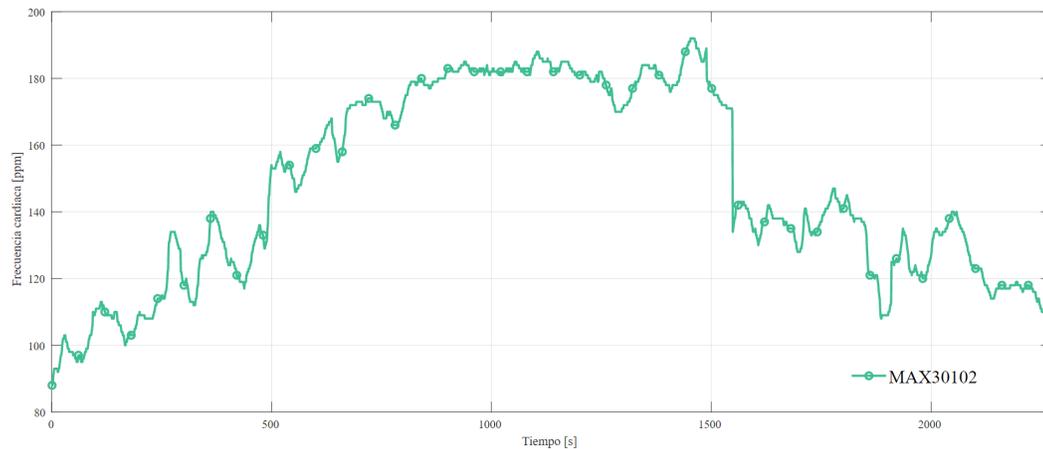


Fig. 3.12: Comparativa de frecuencia cardíaca en exteriores durante una actividad demandante.

3.1.8. Rutas de Prueba

Al momento que los sensores se lograron acoplar completamente al microcontrolador a través del firmware, comenzando las pruebas conjuntas con objeto de caracterizar un conjunto de rutas propuestas donde realizar las pruebas de campo.

Una ruta con características geográficas bien definidas permite descartar las variaciones en la cartografía del terreno durante las pruebas y además realizar comparaciones directas entre ciclistas durante tramos específicos de la ruta.

En adición se emplean los sensores internos de un dispositivo móvil y de un monitor de actividad física, a una frecuencia de muestreo de 1 Hz con fines de comparar los valores obtenidos y formular una corrección para las lecturas del sistema de monitoreo.

Una ruta puede caracterizarse con los parámetros de la tabla 3.1 donde principalmente destaca la altimetría de la misma, ya que la topografía del asfalto es determinante en el comportamiento del ciclista desempeñando el ejercicio como tal.

Tabla 3.1: Características principales de una ruta.

Factor	Tipo	Unidades
Altimetría	Perfil	msnm
Pendiente		%*
Velocidad Media	Resultado	km/hr
	Estadístico	

Así se proponen 5 rutas con características distintas en su topografía, condición del asfalto e influencia de tráfico. Así bien estas rutas se colocan en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Rutas de prueba propuestas.

Ruta	Distancia [km]	Tipo	Condición	Trafico	Dificultad*
A	10	Mixto	Buena	Muy Alto	II
B	8	Montana	Mala	Bajo	III
C	20	Montana	Buena	Medio	IV
D	30	Llano	Excelente	Alto	II
E	15	Montana	Medio	Muy Bajo	V

3.2. Análisis de Datos

3.2.1. Velocidad Media

La velocidad media se obtiene empleando la formula de promedio de la estadística convencional(3.2).

$$Promedio = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n} \quad (3.2)$$

Donde el parámetro a_i es el vector extraído del resultado del calculo de velocidad del monitor electrónico, y n la cantidad de datos obtenidos en total durante el recorrido.

Este parámetro como tal indica un valor sujeto principalmente a las capacidades del ciclista y las condiciones de la ruta, del cual se esperan valores elevados cuanta más experiencia y condición física tenga el ciclista.

3.2.2. Altimetría y Frecuencia Cardíaca

Tomando en cuenta los rasgos de caracterización en la tabla 3.1 tanto la altimetría y la pendiente son factores resultado de un monitoreo constante a través del tiempo ya que no fluctúan aceleradamente en ciclismo, el resultado de este monitoreo es un perfil.

Para este caso se toma a prueba una ruta especifica que se recorre con el sistema de monitoreo activo y realizando el registro apropiado de la distancia, tiempo y altura sobre el nivel del más, con ello se elabora un perfil de altimetría que se muestra en la figura 3.13.

Esta grafica se elabora tomando la distancia recorrida en el eje de las abscisas y por otro lado la altura sobre el nivel del mar para el eje de las ordenadas, así por inspección visual se puede determinar si es una ruta complicada para ciclistas con poco entrenamiento.

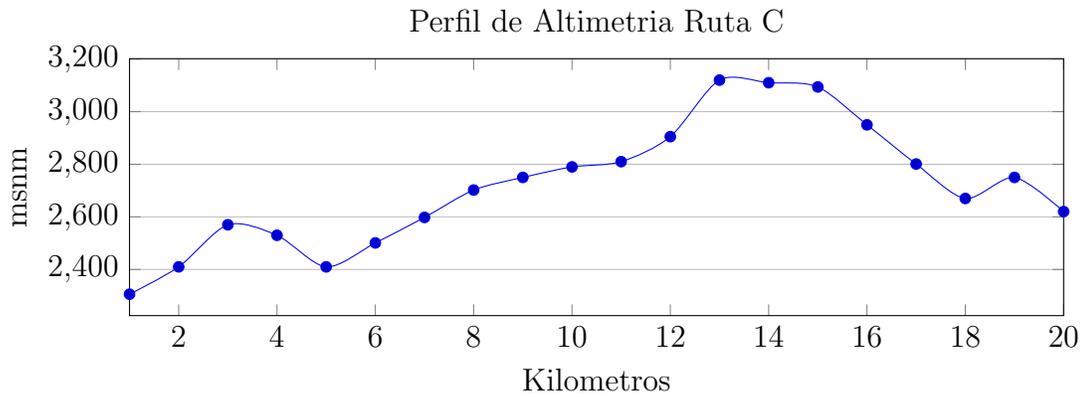


Fig. 3.13: Perfil de altimetría de la ruta designada C.

Al contrario de la forma en la que se muestra el perfil de altimetría de una ruta, el perfil de pendiente requiere un proceso distinto a determinar, ya que es un proceso recursivo que emplea el valor inmediato anterior para determinar el porcentaje.

El resultado guarda cierta similitud al perfil de la figura 3.13, porque los cambios dependen del parámetro de altimetría y a fin de que los cambios sean notorios se grafica el parámetro de la pendiente promedio por kilómetro y se grafica en la figura 3.14.

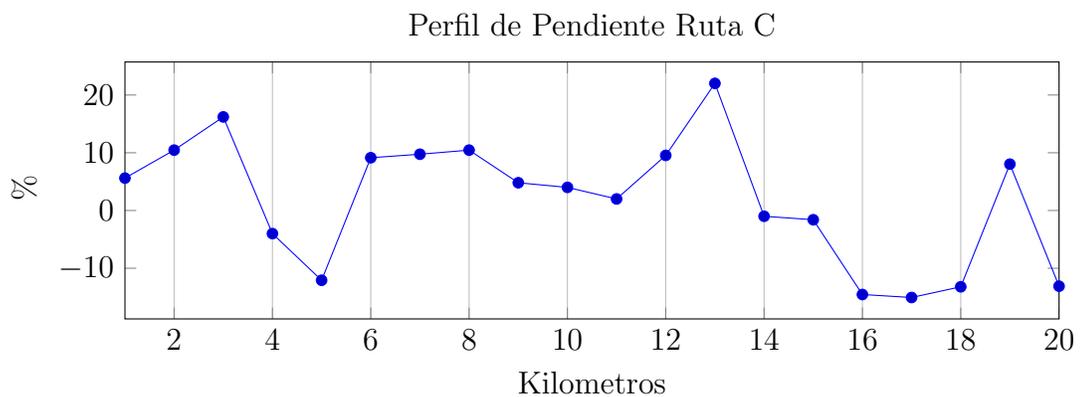


Fig. 3.14: Perfil de pendiente promedio por kilómetro de la ruta C.

La figura 3.14 emplea el mismo valor en kilómetros del perfil anterior para el eje de las abscisas, en cambio el eje de las ordenadas emplea un termino adimensional que es el porcentaje.

3.3. Discusión de Resultados

3.3.1. Variaciones del Sistema

Todo sistema es susceptible a fallas, por ende es importante tener en cuenta la mayor cantidad posible de fallos a esperar en el sistema y como prevenirlos, en tal caso la mayoría de ellos se dan en el sensor en si, descartando la construcción de la electrónica completa.

Adicionalmente estas perturbaciones tienen orígenes diversos y es adecuado analizar el por que se han presentado en situaciones concretas durante las pruebas de campo.

3.3.1.1. Presión Barométrica

En la señal de presión barométrica que determina la altitud local y la pendiente promedio que se determina tiende a tener inconsistencias por 2 motivos principales analizados durante las pruebas de campo.

La primera es un fenómeno de baja frecuencia, la temperatura, ya que la presión atmosférica cambia dependiendo la temperatura existen secciones específicas de la ruta específicamente en montaña que al estar en un ecosistema boscoso cambia la temperatura más rápido de lo usual, lo que puede llegar a afectar la ecuación de la presión barómetro modificando el resultado de la altura sobre el nivel del mar.

El otro caso es en condiciones de llano donde por la ubicación particular del sensor en la montura de la bicicleta que por motivo de aerodinámica se generan vórtices en la entrada del sensor que producen un cambio súbito en la parametrización de la presión barométrica y resulta en una inestabilidad en la señal completa de la altura.

3.3.1.2. Velocidad & Cadencia

Para el parámetro de velocidad el análisis suele ser más sobre velocidades medias en rutas específicas, ya que la velocidad siempre viene determinada por las condiciones tanto del asfalto como de la ruta (altimetría, curvas y tránsito).

En tal caso de forma general y a través de las pruebas de campo se puede determinar como un ciclista con gran experiencia es capaz de recorrer sin detenerse una escalada de 5% constantes en 10 km en 20 minutos e incluso menos, aproximadamente, en cambio un ciclista con poca experiencia hace el mismo recorrido en 30 minutos o más.

Y así en diferencia notoria para un individuo sin experiencia en el ciclismo termina este tipo de ruta en aproximadamente 40 minutos, e incluso dependiendo las condiciones puede

llegar a no concretar la distancia completa.

En el caso de la **cadencia** que es un fenómeno que generalmente va desde los 30 a los 180 pedaladas por minuto que en conjunto con la velocidad puede apoyar en la determinación de la condición muscular y técnica del ciclista.

Ahora un ciclista con experiencia suele mantener este valor en una constante de 90 pedaladas por minuto independientemente de la velocidad a la que se este desplazando, esto ayuda a mantener estable la frecuencia cardíaca y la movilidad de este.

En cambio un ciclista con poca experiencia o un nivel intermedio suele variar más este parámetro, desde las 80 hasta 110 pedaladas por minuto, la razón en general es el desconocimiento tanto del entorno como de su propia transmisión mecánica.

Ahora un individuo con ninguna experiencia en ciclismo suele mantener una cadencia por más tiempo que un ciclista intermedio, sin embargo conserva la variabilidad del fenómeno en el tiempo, en este caso el origen se debe más que nada a que determinan que sin importar el tipo de terreno deben conservar una velocidad constante y no suelen recurrir al apoyo de los cambios en la transmisión mecánica a menos que saturen sus músculos.

3.3.2. Frecuencia Cardíaca

Otro parámetro determinante al momento de conocer el rendimiento del ciclista es el estado de la frecuencia cardíaca durante y al terminar una ruta de este tipo, para este caso los ciclistas con gran experiencia normalmente no se agitan y terminan la ruta con una frecuencia media de entre 90 a 120 pulsaciones por minuto.

A diferencia de esta prueba de esfuerzo un ciclista con poca experiencia mantiene una frecuencia promedio desde 130 ppm hasta 180 ppm, y finalmente un individuo sin experiencia en el ciclismo mantiene una frecuencia media desde 150 ppm hasta 190 ppm lo cual en condiciones extremas podría dañar su salud, esta es la principal condición por la cual un ciclista sin experiencia no termina las rutas propuestas o determinadas por el mismo.

Así bien también la estabilidad de esta señal en el tiempo determina la calidad del ciclista, siendo más estables tanto la del ciclista con experiencia como el que no tiene experiencia alguna, siendo la señal del ciclista intermedio la que presenta más variaciones durante su recorrido.

3.3.3. Experiencia del Ciclista

Individuos con poca experiencia generalmente carecen de la perspectiva y de astucia a la hora de la toma de decisiones que repercuten en el tiempo final de una ruta.

El caso particular de un individuo que a pesar de una buena condición física o un buen tono muscular pero sin experiencia en ciclismo es un ejemplo claro de como no basta el tener una buen condición física en entrenamiento con pesos muertos.

Se requiere de una preparación física integral entre el tono muscular y una condición anaeróbica adecuada para la ejecución del deporte en condiciones de larga duración.

La caracterización del usuario ciclista es más una representación de las capacidades de un individuo montando en bicicleta por lo que se propone 3 niveles a los cuales un ciclista pudiese corresponder, siendo estas : novato, ciclista promedio y amateur.

Descartando complemente la idea de incluir una caracterización para un ciclista profesional por la cantidad de datos a los que se puede acceder y/o recopilar directamente.

Así bien, la tabla 3.3 y 3.4 son la culminación de este análisis, donde se relacionan los parámetros de detección para los cuales se diseño el monitor electrónico y el nivel de experiencia del ciclista, colocando los rangos más apropiados para su clasificación por experiencia.

Tabla 3.3: Caracterización de un ciclista por experiencia en llano.

Parámetro	Unidades	Experiencia del ciclista		
		Novato	Promedio	Amateur
Velocidad media	km h ⁻¹	15-25	20-30	30-40
Velocidad punta	km h ⁻¹	30-40	35-45	45-70
Cadencia media	<i>rpm</i>	50-100	80-95	85-95
Cadencia punta	<i>rpm</i>	110-120	100-110	90-100
Aceleraciones	m s ⁻²	(-)19 - 19	(-)29 - 14	(-)13 - 13
Estabilidad	%	42-50	22-35	3-12
HR media	<i>ppm</i>	120-190	120-180	110-160
HR punta	<i>ppm</i>	200-210	190-200	170-190
Distancia promedio	km	10-20	15-30	20-90

Cabe mencionar que la tabla 3.3 se enfoca especialmente en terrenos llanos, mientras que la tabla 3.4 se ha obtenido caracterizando la experiencia en zonas con pendientes prolongadas, o lo que se conoce como alta montaña.

Tabla 3.4: Caracterización de un ciclista por experiencia en montaña.

Parámetro	Unidades	Experiencia del ciclista		
		Novato	Promedio	Amateur
Velocidad media	km h^{-1}	8-12	12-18	15-26
Velocidad punta	km h^{-1}	18-25	20-26	30-35
Cadencia media	<i>rpm</i>	90-110	85-99	86-94
Cadencia punta	<i>rpm</i>	110-120	100-110	90-100
Aceleraciones	m s^{-2}			
Estabilidad	%	50-60	40-50	10-20
HR media	<i>ppm</i>	180-200	170-190	140-180
HR punta	<i>ppm</i>	190-210	185-200	170-190
Distancia promedio	km	4-8	5-12	10-35

3.3.3.1. Paradas

En el grafico 3.15 se observa como un ciclista con vasta experiencia en este entorno realiza entre 2 y ninguna parada durante su recorrido dependiendo la distancia a recorrer, en cambio un ciclista con poca experiencia en e campo de ciclismo tiende a detenerse de 10 o más veces durante sus recorridos,sin mencionar que ademas de detenerse dependiendo la complejidad de la escalada llega a bajarse de la bicicleta a caminar el recorrido, e incluso puede llegar a rendirse a medio camino.

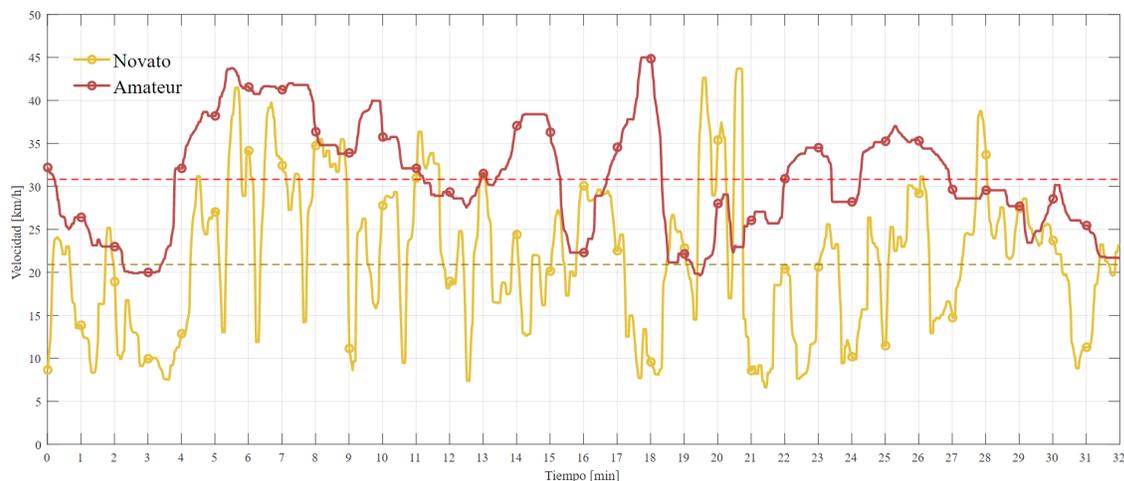


Fig. 3.15: Recorrido de 20 kilómetros realizado por un ciclista novato y un ciclista amateur.

La escala en el eje de las ordenadas es el tiempo debido a que el ciclista Amateur logro completar los 20 kilómetros 10 minutos antes que el ciclista novato, lo que dejaba sin datos el ultimo tramo de la grafica.

Ahora la duración entre cada parada también es algo determinante a la horade realizar un entrenamiento, en este caso las paradas que tienen una duración de entre 2 y 5 minutos son realizadas por ciclistas con gran experiencia, en cambio ciclistas con una experiencia intermedia suelen detenerse entre 6 y 10 minutos.

Individuos sin experiencia alguna en el ciclismo suelen tomar paradas más largas que los demás, ademas de presentar severas incomodidades durante el recorrido, originadas por las condiciones de la postura en bicicleta que es prácticamente desconocida para su cuerpo y requiere de grupos musculares generalmente no trabajados durante la practica de caminata.

3.3.3.2. Inestabilidad

Cuando un ciclista comienza a experimentar un desgaste físico considerable, la fatiga muscular lo obliga a tener una mayor inestabilidad al momento de trazar su dirección, es posible detectar este fenómeno en el acelerómetro, en el eje del plano de desplazamiento.

Otro de los casos en los que se presenta gran inestabilidad es la falta de confianza al montar en bicicleta, ya sea por la falta de experiencia, nervios o su reciente introducción al deporte, este parámetro es más controlado por ciclistas experimentados.

En la figura 3.16 se muestra un ejemplo de esto, empleando un acelerómetro de 3 ejes, tomando en cuenta la aceleración base como la de la gravedad y una aceleración media de 16 m s^{-2} cualquier valor superior a la aceleración media se relaciona con aceleraciones y desaceleraciones drásticas.

En cambio valores comprendidos entre la aceleración media y la gravedad se relacionan con efectos de movimientos o vibraciones de diversos orígenes como: pedalear parado, condiciones del asfalto, topes, curvas cerradas e objetos inesperados en el camino del ciclista.

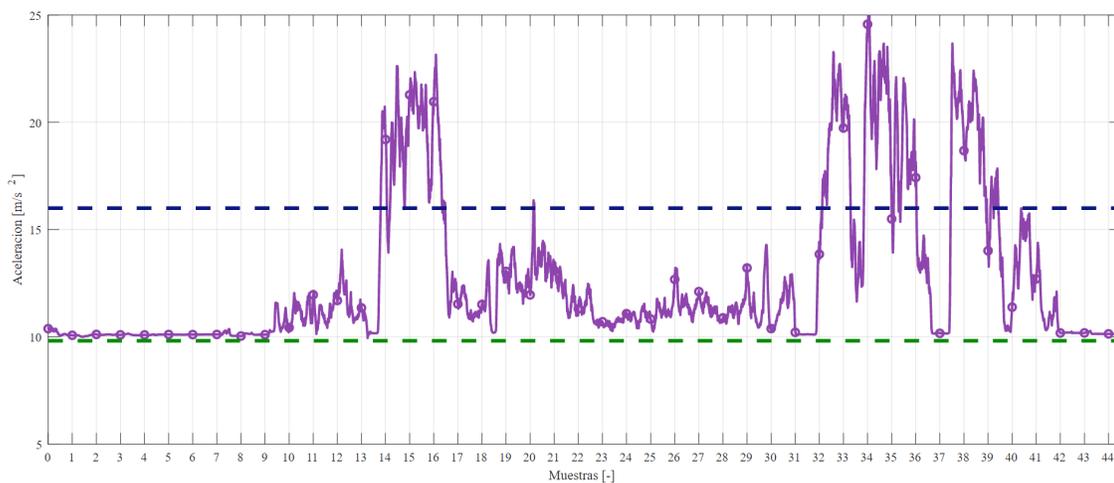


Fig. 3.16: Lectura de aceleración en una ruta llana con asfalto dañado.

3.3.3.3. Frenado

Bien este es un parámetro que a la fecha se considera más que nada empírico ya que no ha sido estudiado a fondo, no obstante a mi criterio con conocimientos sobre ciclismo es un parámetro de gran interés en el estudio del rendimiento del ciclista, en este se puede observar tanto la decisión como el manejo del ciclista.

Hay que aclarar que este parámetro también va a depender de las condiciones del asfalto, curvas y tránsito de la ruta que se recorre, y resaltar que dentro del ciclismo urbano este es un parámetro que se puede descartar por la existencia constante de paradas por semáforos y peatones.

Ahora bien en este caso particular del ciclismo de ruta entre menos se haga uso de el recurso de frenado se traduce en un ahorro de energía, ergo cuando se presiona el freno en una bicicleta de ruta se realiza una conversión de energía cinética (inercia del peso del ciclista y la bicicleta) por un aumento de temperatura en el sistema de frenado.

Así bien si un ciclista frena por completo se tiene que realizar el proceso de arranque nuevamente, que involucra volver a montarse sobre la bicicleta, colocarse en una postura adecuada y comenzar a realizar los cambios adecuados de la transmisión mecánica, además de imprimir una gran cantidad de fuerza en los pedales para el arranque.

En tal caso cuando un ciclista no requiere de detenerse, no ejecuta las acciones del gráfico anterior, y permite que se emplee una menor cantidad de energía.

Entonces de los gráficos resultantes de la fuerza g en el monitor se puede conocer si el ciclista recurre frenar constantemente o si mantiene una ruta fluida en su entrenamiento, de donde se asevera un conocimiento empírico sobre el frenado.

Un ciclista con gran experiencia no recurre al uso del freno si no es completamente necesario, en cambio un ciclista promedio se puede decir que es una herramienta de uso constante y en resumen que es más precavido en el uso de este, así como ciclistas que desconocen la ruta que están recorriendo.

Ahora un individuo sin experiencia en ciclismo puede llegar a presentar inconsistencias en este resultado ya que la falta de conocimiento lo hace no usar el sistema de frenado de forma adecuada, ergo no emplea los frenos y cuando lo hace los emplea con mucha fuerza e incluso llega a bloquear el movimiento de la rueda trasera (en el peor de los casos la delantera).

3.3.4. Ruta

Las características de una ruta recorrida son físicas, no variables como las de un ciclista en movimiento, por esto que describir una ruta es más sencillo y se basa en los siguientes parámetros:

- Distancia.
- Desnivel.
- Pendiente promedio.

Otras características como la cantidad de curvas, tránsito vehicular o el estado del asfalto pueden ser incluidas en su descripción, no obstante estas suelen ser más subjetivas dependiendo el ciclista y la bicicleta que este emplee.

Las 3 características de la lista establecen en si una dificultad dependiendo el tipo de ruta que se presente, como propuesta se tienen 5 categorías, partiendo desde de menor dificultad (I), hasta la más complicada (V) de las rutas por la demanda de energía para completarla.

Esta información se colecta y con ella se llena la tabla 3.5 para rutas en llano y la tabla 3.6 para rutas en montaña.

Tabla 3.5: Caracterización de un ciclista por experiencia en llano.

Parámetro	Unidades	Nivel de dificultad				
		I	II	III	IV	V
Distancia	km	10-20	21-40	41-60	61-80	81 ≤
Desnivel	m	0-20	21-80	81-120	121-160	160 <
Pendiente Promedio	%	0-1	1-2	2-3	3-4	4-6

Interpretar el desnivel en una ruta generalmente involucra la acumulación de los metros escaldados sin tomar en cuenta los descendidos, debido a que una ruta con una subida prolongada realizada en subida y bajada resultaría en un desnivel de 0 m.

Tabla 3.6: Caracterización de un ciclista por experiencia en montaña.

Parámetro	Unidades	Nivel de dificultad				
		I	II	III	IV	V
Distancia	km	4-8	8-12	12-18	18-24	24 <
Desnivel	m	0-100	101-300	301-600	601-900	901 ≤
Pendiente Promedio	%	5-6	7-8	8-10	10-12	12 <

Capítulo 4

Discusión y Perspectivas

*Los científicos pueden plantear los problemas
que afectan al medio ambiente con base en
la evidencia disponible.*

*Pero su solución no es responsabilidad de los
científicos, es de toda la sociedad.*

José Mario Molina Pasquel y Henríquez

Como principal debilidad en el estudio realizado son las pruebas de campo, al comienzo del planteamiento del proyecto se esperaba contar con la participación anónima de al menos 30 individuos pobladores de la Ciudad de México y sus alrededores, donde se esperaba contar con usuarios de gran experiencia en ciclismo y usuarios con nula experiencia.

En cambio solo se cuenta con los registros anónimos de 5 usuarios, los cuales 3 son ajenos al ciclismo, 1 de ellos al deporte en general, y contando unicamente con 2 registros de ciclistas con experiencia en competencias amateur y experiencia en deportes.

La combinación de los registros de los participantes tanto para la caracterización de rutas como de experiencia del ciclista resulto suficiente para los fines de este proyecto, no obstante en un futuro inmediato se espera contar con la participación de mas ciclistas experimentados capaces de dar una retroalimentación mas critica tanto del prototipo como de los procedimientos empleados en el proceso de los datos.

Dentro de la caracterización de las rutas se encuentra otro problema por resolver, estas rutas no permiten tener una experiencia completa en llano, ergo, un ciclista del tipo escalador resulta con ventaja en estas, mientras que un ciclista velocista resulta ligeramente perjudicado.

Esto repercute en los resultados obtenidos, ya que en ciclismo de ruta a pesar de emplear el mismo equipamiento los individuos se preparan de manera única dependiendo el tipo

de carrera a la que se enfrentan, por lo tanto las categorías propuestas están sujetas a las características únicas de cada ciclista, por lo que no son regla general.

Los resultados demostrados en gráficos en el capítulo anterior permiten identificar estos comportamientos únicos, que si bien han servido para relacionar los parámetros propuestos (velocidad, cadencia, frecuencia cardíaca, etc.), se verían altamente beneficiados con una revisión adicional empleando modelos matemáticos mas avanzados.

Ahora, la frecuencia cardíaca y la decisión de tomar su lectura en el antebrazo anterior que como resultado presentó bastantes inconsistencias en el comportamiento de esta señal, y no permitió obtener correctamente la temperatura del usuario por estar en contacto directo con ráfagas de viento a temperatura ambiente.

Esto incita a que en el futuro este sensor se incorpore en una mejor ubicación, evitando que sea susceptible a las ráfagas de viento del exterior y de preferencia evitar su colocación en extremidades con alta movilidad en ciclismo.

Uno de los parámetros que resulto de gran ayuda para los ciclistas principiantes al hacerse de su conocimiento es la cadencia, que es uno de los parámetros menos considerados por los ciclistas para entrenar. En este se vierte la experiencia del ciclista así como su condición muscular, ya que se ha demostrado que la potencia kilogramo que posee el ciclista tiene que ver directamente en la cadencia con la que este se desplaza.

Para finalizar, este proyecto difiere en objetivos como en el proceso con el presentado por R. Franco, no obstante la índole del trabajo es similar y puede llegar a ser conveniente emplear ambas técnicas en el ámbito de la rehabilitación. Esta idea parte del hecho que su trabajo emula el uso de la bicicleta con una retroalimentación virtual entonces es posible implementar el uso de un bicicleta en interiores con fines de rehabilitación y ligar su retroalimentación con la caracterización de rutas reales[9].

El trabajo de Laura Cruz comparte un objetivo indirecto, que es el de optimizar el rendimiento de un ciclista sobre la bicicleta previniendo lesiones y procurando una mejoría sustancial en el individuo, es notoria la diferencia en el trabajo no obstante en ambos se trabaja el hacer de conocimiento al ciclista sobre la correcta ejecución del ejercicio[2].

Finalmente el desarrollo logrado por Luis García en 2017 asemeja el plasmado en este trabajo en términos técnicos y de desarrollo de prototipo y a pesar de que el campo de aplicación sea una disciplina distinta, el flujo de trabajo establecido para el monitoreo de los parámetros que se involucran en la practica del ciclismo es el punto común con este trabajo y que en un futuro pudiese ser compatible[1].

Conclusiones

El desarrollo de este prototipo supone una planeación adecuada que parte de los parámetros físicos que impactan en mayor grado en la práctica del ciclismo de ruta, para ello los elementos electrónicos que lo componen deben trabajar acorde a las estimaciones del fenómeno que se observa.

Los retos principales que se afrontaron al desarrollarlo fueron el tamaño y autonomía del mismo, en primer lugar el monitor no debía agregar peso sustancial al conjunto ciclista-bicicleta y además tener una duración para al menos más de 5 sesiones de entrenamiento, las cuales pueden durar desde 2 hasta 6 horas.

Gracias al estudio previo de los fenómenos físicos de interés fue posible determinar el material adecuado para la fabricación del prototipo y cuyas limitantes se encuentran principalmente en la comunicación al exterior y la visualización de los datos en tiempo real.

Por otra parte el trabajo posterior al monitoreo de la actividad física supuso un reto mayor debido al origen de los datos, que se limita a 4 individuos, 1 con nulo conocimiento en ciclismo, otro con poca constancia en el uso de la bicicleta y dos con experiencia en competencias amateur.

No obstante la información recolectada de estos nutrió positivamente este trabajo ya que se ha podido determinar los rangos en los cuales cada tipo de ciclista suele estar en ruta, y relacionar como afectan los parámetros físicos determinados en los objetivos.

Con ello fue posible determinar el estado actual de un ciclista en rutas propuestas, adicionalmente se mantuvo un registro constante de los entrenamientos del mismo ciclista con la finalidad de posibilitar que este evolucione dentro de estas categorías.

Dichas categorías son una propuesta, que si bien no son subjetivas, personas con gran experiencia en el ciclismo podrían no estar de acuerdo en el procedimiento para categorizar a un individuo, aún con ello, es importante obtener retroalimentación de ellos y de individuos que se inician en el ciclismo de ruta a fin de aportar retroalimentación al sistema electrónico y el proceso para categorizar al individuo.

Adicionalmente en el transcurso de las pruebas de campo y como objetivo secundario se observó la forma positiva en que impacta la información evaluada transmitida a los individuos que se inician en el ciclismo, permitiendo que estos evolucionen dentro de las categorías propuestas en la sección 3.3.3 minimizando las posibilidades de lesiones.

Como trabajo paralelo se realizó la caracterización de las rutas que recorrieron los individuos que participaron en las pruebas de campo del dispositivo, previo a procesar la información y caracterizar las rutas se descarta información como la frecuencia cardíaca y la cadencia, cuyo aporte a la caracterización de la altimetría del terreno es nulo.

Teniendo en cuenta que la orografía de la superficie terrestre no cambia más que en situaciones de desastre, contribuir con información de altimetría, distancia y un tiempo promedio estimado para una ruta específica con información tomada *in-situ* permite dar categorías por nivel de dificultad a las rutas recorridas.

Finalmente el mayor de los aportes esperados de prototipos como el desarrollado en este trabajo es la prevención de lesiones y el impacto psicológico o des-motivación al deporte en sí, ambos temas son determinantes en la permanencia de un individuo en un deporte ya sea de forma recreativa o competitiva.

Trabajo a futuro

La frecuencia cardíaca como parámetro fisiológico presenta muchas inconsistencias originadas por la ubicación del sensor en el cuerpo del individuo por lo que en un futuro se plantea el uso de este sensor en una mejor ubicación y evitar su colocación en extremidades con alta movilidad, evitando que sea susceptible al medio ambiente en ciclismo.

Las sesiones de prueba individuales para cada sensor realmente son cortas así como las de entrenamiento por lo que se sugiere trabajar en un futuro con sesiones largas de entrenamiento a fin de verificar el comportamiento de todos los sensores bajo trabajo continuo.

Otra de las tareas que demanda atención continua es el desarrollo de software y firmware, en este caso desarrollar un código más limpio y organizado podría modificar favorablemente el consumo energético del dispositivo por lo cual se recomienda encarecidamente hacer una segunda revisión al código fuente con el que opera actualmente el prototipo.

Así de la mano del desarrollo de firmware está el software que al no tener una herramienta específica para estos fines durante todo el trabajo se recurrió al uso de herramientas convencionales de cálculo para la obtención de las curvas de comportamiento vistas la sección de resultados (3).

Por ende en un futuro se plantea el uso de software especializado en el cálculo automático de los parámetros que se obtienen al emplear este prototipo en ciclismo de ruta, obteniendo los datos en 'raw', procesándolos y brindando un resultado similar al mostrado en este trabajo.

Finalmente el hardware que se emplea en este prototipo opera correctamente no obstante no se libra de poder ser optimizado, haciendo especial énfasis en el desarrollo de una placa impresa más compacta y adecuada para el fin con el cual se propuso diseñar este dispositivo.

Bibliografía

- [1] L. A. García-Espinosa, F. Jiménez, A. E. Jiménez, and D. E. Viñas, “Monitor inalámbrico de velocidad y presión de aire para el análisis de ciclismo de pista,” in *V Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB 2011 May 16-21, 2011, Habana, Cuba*, J. Folgueras Méndez, T. Y. Aznielle Rodríguez, C. F. Calderón Marín, S. B. Llanusa Ruiz, J. Castro Medina, H. Vega Vázquez, M. Carballo Barreda, and R. Rodríguez Rojas, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 229–232.
- [2] B. J. Andrey, L. Cruz, M. Betancourt, I. Fonseca, C. Arias, and K. Gómez, “Bike fitting para el rendimiento y la prevención de lesiones en ciclistas de ruta aficionados y profesionales,” *VIREF Revista de Educación Física*, vol. 9, no. 1, pp. 63–71, abr. 2020. [Online]. Available: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/viref/article/view/339664>
- [3] INEOS Capital Limited, “The INEOS Grenadiers,” 2021. [Online]. Available: <https://www.ineosgrenadiers.com/staff>
- [4] J. Vanparijs, L. Int Panis, R. Meeusen, and B. de Geus, “Exposure measurement in bicycle safety analysis: A review of the literature,” *Accident Analysis and Prevention*, vol. 84, pp. 9 – 19, 2015. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457515300403>
- [5] “Convocatorias,” federación Mexicana de Ciclismo. [Online]. Available: <http://federacionmexicanadeciclismo.com.mx/convocatorias.php>
- [6] ACTIVACIÓN EDUCATIVA CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA PARA LA SALUD Y EL ALTO RENDIMIENTO AC, “Nosotros,” a.R. Program Cycling Teams. [Online]. Available: <https://www.arprocycling.com/nosotros/>
- [7] Shimano Inc., “About Shimano,” shimano Inc. [Online]. Available: <https://www.shimano.com/en/company/history.html>
- [8] SRAM LLC., “A History of Inovation- SRAM,” sRAM LLC. [Online]. Available: <https://www.sram.com/en/company/about/history>
- [9] R. Franco, R. Zuluaga, J. C. Yepes, A. J. Saldarriaga, V. Z. Pérez, and M. J. Betancur, “Sistema de Rehabilitación de Miembro Inferior Interconectado con un Videojuego: Una Potencial Aplicación para Víctimas de Minas Antipersonal,”

- Revista mexicana de ingeniería biomédica*, vol. 37, no. 3, pp. 201–219, Dec. 2016. [Online]. Available: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0188-95322016000300201&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- [10] “Regulations.” [Online]. Available: </inside-uci/constitutions-regulations/regulations>
- [11] “Sports | List of Summer and Winter Olympic Sports,” Jan. 2021. [Online]. Available: <https://www.olympic.org/sports>
- [12] “Tokyo 2020 Olympic Games - Homepage.” [Online]. Available: <https://olympics.com/tokyo-2020/en/>
- [13] B. Maso, *The sweat of the Gods: Myths and legends of bicycle racing*, 1st ed. Mousehold Press, 2005.
- [14] D. Roberts, *Cycling history: myths and queries*. Place of publication not identified: John Pinkerton, 1991, oCLC: 26352451.
- [15] “The Mavic Support Vehicles of Le Tour de France,” Jul. 2018. [Online]. Available: <https://www.welovecycling.com/wide/2018/07/05/the-mavic-support-vehicles-of-le-tour-de-france/>
- [16] “Fuji Bikes: Fuji Bikes | Building the best bikes for 120 years.” [Online]. Available: <https://www.fujibikes.com/usa/>
- [17] J. Ozanam, *Récréations mathématiques et physiques qui contiennent les problèmes et les questions les plus remarquables, et les plus propres à piquer la curiosité, tant des mathématiques que de la physique*. G. Kearsley, 1778, vol. 2.
- [18] P. Lallement, “Velocipede,” Patent 59915, November, 1866. [Online]. Available: <https://drive.google.com/viewerng/viewer?url=patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US59915.pdf>
- [19] “ORCA M10iLTD.” [Online]. Available: <https://www.orbea.com/us-en/bicicletas/carretera/orca/cat/orca-m10ilt>
- [20] International Organization for Standardization, “Bicycle tyres and rims — Part 2: Rims,” International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, Standard, Mar. 2021. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/79924.html>
- [21] “SC 40 DISC WHEELSET.” [Online]. Available: <https://shop.visiontechusa.com/en/wheelsets/road-triathlon/sc-40-disc>
- [22] “DURA-ACE R9100 series - ULTIMATE CREATION IN SYSTEM ENGINEERING.” [Online]. Available: </global>
- [23] “Digitale Bibliothek - Münchener Digitalisierungszentrum.” [Online]. Available: <https://daten.digitale-sammlungen.de/~db/0001/bsb00013084/images/>

- [24] “Cod.icon. 242: Scan.” [Online]. Available: https://codicon.digitale-sammlungen.de/Blatt_bsb00013084,18r.html
- [25] “Digital Bibliothèque - Bibliothèque nationale de France Université Paris Sud.” [Online]. Available: <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k927336/f6.item.texteImage>
- [26] N. Clayton, *The birth of the bicycle*. Stroud, Gloucestershire: Amberley, 2016.
- [27] F. Baroni and F. Gimondi, *The Bicycle: The Myth and the Passion*, ser. Dalla tecnica all'avventura. White Star Publishers, 2008.
- [28] T. Hadland, H. Lessing, and G. Sanderson, *Bicycle Design: An Illustrated History*, ser. BICYCLE DESIGN. MIT Press, 2016.
- [29] ———, *Bicycle Design: An Illustrated History*, ser. BICYCLE DESIGN. MIT Press, 2016.
- [30] F. Berto and R. Shepherd, *The dancing chain: history and development of the derailleur bicycle*, 2nd ed., ser. Van der Plas Series. San Francisco, CA: Cycle Pub. / Van der Plas Publications, 2004.
- [31] T. Humber, “Velocipede,” Patent 305 690, September, 1884.
- [32] Wheel and C. T. Review, *The Wheel and cycling trade review*. New York : Wheel and Cycling Trade Review, August 1888, vol. 26. [Online]. Available: <http://archive.org/details/wheelcyclingtrad12251newy>
- [33] B. Tripp, *Renold Chains: A History of the Company and the Rise of the Precision Chain Industry 1879-1955*. Routledge, Nov. 2013.
- [34] “History.” [Online]. Available: <https://velo.renold.com/pages/history>
- [35] “Renold History,” Jul. 2021, renold Switzerland GmbH. [Online]. Available: <https://www.renold-gmbh.ch/unternehmen/neuesten-nachrichten/manufacturers-must-stick-to-the-facts/#>
- [36] Giant Manufacturing Co., Ltd., “TCR ADVANCED SL DISC 0 DURA-ACE,” giant Manufacturing Co., Ltd. [Online]. Available: <https://www.giant-bicycles.com/int/tcr-advanced-sl-disc-0-dura-ace-2022>
- [37] Dorel Industries, Inc, “2021-SuperSix EVO Carbon Disc Ultegra Di2 SMU,” cycling Sports Group, Inc. [Online]. Available: <https://www.cannondale.com/en/bikes/road/race/supersix-evo/supersix-evo-carbon-disc-ultegra-di2-smu>
- [38] Canyon Bicycles GmbH, “Endurace CF SL 8 Disc Di2,” canyon Bicycles GmbH. [Online]. Available: <https://www.canyon.com/en-mx/road-bikes/endurance-bikes/endurace/cf-sl/endurace-cf-sl-8-disc-di2/2949.html>

- [39] V. Delgado and A. Santiago, “Biomechanical modeling, in the sagittal plane, of joint’s kinetic and cinematic of left lower limb side in cycling before and after a postural study. bike-fitting,” *instname:Universidad de los Andes*, 2020. [Online]. Available: <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/43727>
- [40] M. Caon, R. Süsse, B. Grelier, O. A. Khaled, and E. Mugellini, “Design of an ergonomic gestural interface for professional road cycling,” *Work*, vol. 66, no. 4, pp. 933–944, Jan. 2020. [Online]. Available: <https://content.iospress.com/articles/work/wor203238>
- [41] Polar Electro 2021, “Program for Running Event,” polar Electro. [Online]. Available: <https://flow.polar.com/programs/event-program>
- [42] I. Mujika, *Tapering and Peaking for Optimal Performance*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2009. [Online]. Available: https://us.humankinetics.com/products/tapering-and-peeking-for-optimal-performance-pdf?_pos=1&_sid=a9013b2bb&_ss=r
- [43] RCS Mediagroup S.p.a., “Classifica Generale del Giro d’Italia 2021,” 2021, RCS Mediagroup S.p.a. - Divisione Pubblicità. [Online]. Available: <https://www.giroditalia.it/classifiche/>
- [44] M. Krzysztolik, M. Wilk, G. Wojdała, and A. Gołaś, “Maximizing muscle hypertrophy: A systematic review of advanced resistance training techniques and methods,” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 16, no. 24, 2019. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1660-4601/16/24/4897>
- [45] A. Kolumbeta, L. Dudorova, A. Dovgych, A. Ivashchenko, I. Nichiporenko, and M. Suprunenko, “Improvement of cyclists’ pedaling technique by studying their individual differences,” 2019. [Online]. Available: <http://www.efsupit.ro/images/stories/septembrie2019/Art%20229.pdf>
- [46] Y. Suzuki, “Mechanical efficiency of fast- and slow-twitch muscle fibers in man during cycling,” *Journal of Applied Physiology*, vol. 47, no. 2, pp. 263–267, Aug. 1979. [Online]. Available: <https://www.physiology.org/doi/10.1152/jappl.1979.47.2.263>
- [47] RCS Mediagroup S.p.a., “Giro d’Italia 2021 route and stages,” May 2021, publisher: RCS Mediagroup S.p.a. [Online]. Available: <https://www.giroditalia.it/en/the-route/>
- [48] J. Friel, *The cyclist’s training bible: the world’s most comprehensive training guide*, 5th ed. Velo press, 2018.
- [49] —, *The Power Meter Handbook: A User’s Guide for Cyclists and Triathletes*, 1st ed. Velo press, 2012.
- [50] Roberto Bettini & Luca Bettini, “Tour de France 2021 Gallery,” Jul. 2021, uAE Team Emirates. [Online]. Available: <http://www.uaeteamemirates.com/gallery-tour-de-france/>

- [51] BettiniPhoto / Movistar Team, “Alejandro Valverde. 2021 Tour de France. Stage 17: Muret - Col du Portet.” Jul. 2021, movistar Team. [Online]. Available: <https://movistarteam.photoshelter.com/archive>
- [52] M. Keep and I. G. Britain, “Road cycling: statistics,” *Social and General Statistics*, 2013.
- [53] M. A. Hollingworth, A. J. Harper, and M. Hamer, “Risk factors for cycling accident related injury: The uk cycling for health survey,” *Journal of Transport & Health*, vol. 2, no. 2, pp. 189–194, 2015.
- [54] P. Leune, E. Steen, P. D. Paepe, and C. Lyphout, “An overview of tram tracks related cycling injuries in ghent, belgium,” *Traffic Injury Prevention*, vol. 22, no. 3, pp. 261–265, 2021, pMID: 33709847. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1080/15389588.2021.1888941>
- [55] Roadscanners, “Longitudinal frost crack,” Under CC BY 2.0, August 2012, finland, Kemijärvi. [Online]. Available: <https://www.flickr.com/photos/90179912@N08/8189269161>
- [56] C. Leopold, “The long road,” Under CC BY 2.0, July 2009, texas, United States. [Online]. Available: <https://www.flickr.com/photos/97708873@N00/3677296594>
- [57] S. de Infraestructura-Dirección General de Servicios Técnicos, *Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras 2018*, 3rd ed., Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2018.
- [58] “Center for Satellite Applications and Research - NOAA / NESDIS / STAR.” [Online]. Available: <https://www.star.nesdis.noaa.gov/star/index.php>
- [59] ProCyclingStats, “Stage 8 Oyonnax - Le Grand-Bornand (150.8km),” publisher: ProCyclingStats. [Online]. Available: <https://www.procyclingstats.com/race/tour-de-france/2021/stage-8/today/profiles>
- [60] Wahoo Fitness, “The Ultimate Guide for Tracking Your Cycling Heart Rate | Wahoo Fitness,” Jul. 2016. [Online]. Available: <https://blog.wahoofitness.com/the-ultimate-guide-for-tracking-your-cycling-heart-rate/>
- [61] M. Buchheit, “Monitoring training status with hr measures: Do all roads lead to rome?” *Frontiers in physiology*, vol. 5, p. 73, 02 2014.
- [62] “Secretaría de Comunicaciones y Transportes | Gobierno | gob.mx.” [Online]. Available: <https://www.gob.mx/sct>
- [63] “NEO Smart interactive bike trainer.” [Online]. Available: <https://tacx.com/product/neo-smart/>
- [64] Pioneer cyclesports, “Pioneer power meter,” publisher: Pioneer Corporation. [Online]. Available: <http://pioneer-cyclesports.com/us-en/>

- [65] Pioneer Electronics Australia Pty Ltd, “SGY-PM910V.” [Online]. Available: <https://www.pioneer.com.au/shop/cycle-sports/sgy-pm910v/>
- [66] Wahoo Fitness, “ELEMNT ROAM Road Bike Computer | GPS Computers,” publisher: Wahoo Fitness. [Online]. Available: <https://eu.wahoofitness.com/devices/bike-computers/elemnt-roam>
- [67] C. Balsalobre-Fernández, C. M. Tejero-González, J. del Campo-Vecino, and N. Bavaresco, “The Concurrent Validity and Reliability of a Low-Cost, High-Speed Camera-Based Method for Measuring the Flight Time of Vertical Jumps,” *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 28, no. 2, pp. 528–533, Feb. 2014. [Online]. Available: <https://journals.lww.com/00124278-201402000-00028>
- [68] Sonda Sports Ltd., “Chalecos GPS, rastreadores y análisis deportivo.” [Online]. Available: <https://sondasports.com/es/>
- [69] M. . Leblanc and P. Sicard, “Emr and inversion-based control of a virtual reality bicycle trainer,” in *2010 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2010, pp. 1–7.
- [70] Centro de Investigación en Matemáticas, “Métodos Estadísticos Básicos | CIMAT,” centro de Investigación en Matemáticas, A.C. [Online]. Available: <https://www.cimat.mx/es/node/798>
- [71] *Sensitive Hall Effect Switches for High-Temperature Operation*, Allegro MicroSystems, Inc., 2005, rev. 6B. [Online]. Available: <https://www.allegromicro.com/-/media/files/datasheets/a3141-2-3-4-datasheet.ashx>
- [72] G. Cariolaro, *Unified signal theory*. London New York: Springer, 2011.
- [73] A. Oppenheim, *Discrete-time signal processing*, 2nd ed. Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall, 1999. [Online]. Available: <https://archive.org/details/discretetimesign00alan/page/n1/mode/2up>
- [74] D. D. Rowlands, C. C. Carabajal, S. B. Luthcke, D. J. HARDING, J. M. SAUBER, and J. L. BUFTON, “Satellite laser altimetry on-orbit calibration techniques for precise geolocation,” *The Review of Laser Engineering*, vol. 28, no. 12, pp. 796–803, 2000.
- [75] *BMP280 Digital Pressure Sensor*, Bosch Sensortec GmbH, 2020, rev. 1.23. [Online]. Available: <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/pressure-sensors/bmp280/>
- [76] J. Parak and I. Korhonen, “Evaluation of wearable consumer heart rate monitors based on photoplethysmography,” in *2014 36th annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society*. IEEE, 2014, pp. 3670–3673.
- [77] L. Stubbe, N. Houel, and F. Cottin, “Accuracy and reliability of the optoelectronic plethysmography and the heart rate systems for measuring breathing rates compared with the spirometer.” 2021.

- [78] *High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health*, Maxim Integrated Products, Inc., 2018, rev. 1. [Online]. Available: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX30102.pdf>
- [79] “ESP32 Wi-Fi & Bluetooth Modules I Espressif.” [Online]. Available: <https://www.espressif.com/en/products/modules/esp32>
- [80] *1A Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8*, NanJing Top Power ASIC Corp., -, rev. 1. [Online]. Available: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/770463/NanJingTopPower/TP4056/1>
- [81] “Polar M460 | GPS bike computer.” [Online]. Available: <https://www.polar.com/en/products/pro/M460-gps-bike-computer>
- [82] *MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification*, InvenSense Inc., 2013, rev. 3.4. [Online]. Available: <https://invensense.tdk.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6050/#product-documentation>
- [83] *I2C Real-Time Clock*, Maxim Integrated Products, Inc., 2015, rev. 7. [Online]. Available: <https://www.maximintegrated.com/en/products/analog/real-time-clocks/DS3231M.html>
- [84] *SN74LVC125A Quadruple Bus Buffer Gate With 3-State Outputs*, Texas Instruments Incorporated, Mouser Electronics, Inc., 2015, rev. Q. [Online]. Available: <https://www.ti.com/product/SN74LVC125A?qqpn=sn74lvc125a>
- [85] *SanDisk microSD, microSDHC and microSDXC OEM Product Manual*, SanDisk Corporation, Western Digital Corporation or its affiliates, 2012, rev. 2.6. [Online]. Available: <https://www.arrow.com/en/datasheets/9070677439/sandisk/sdsdq-008g-a11m>

Appendices

Registros y Versiones

Al momento que se culmina la realización de este trabajo se han realizado múltiples pruebas y cambios a las propuestas iniciales, a lo cual es correcto mantener un registro detallado de las razones por las que se ha ido modificando el sistema electrónico.

Con el diseño y fabricación de 3 placas impresas se registra en conjunto cada cambio realizado en el diseño en la tabla 1 destacando la fecha y motivo por el cual se ha realizado una modificación.

La forma en la que se estructuran los cambios de versiones de firmware están sujetas a las siguientes condiciones:

1. **Inicio:** El registro de versiones parte de la versión 0.5.0.
2. **Modificaciones al diseño:** Si esta es una modificación significativa se emplea el siguiente numero par en la tercera cifra del registro, en cambio si la modificación es menor se emplea numero impar subsecuente.
3. **Elaboración de Circuito impreso:** Si el diseño llega hasta el punto de fabricación se incrementa un numero entero a la versión (segunda y primera cifra), de manera sucesiva.

.1. Registro para Circuitos

Tabla 1: Registro de cambios del circuito de monitoreo.

Fecha de Modificación	Versión	Causa
10-11-2020	0.5.0	PCB una cara
12-11-2020	0.5.1	Rutas muy pequeñas
02-12-2020	0.5.3	Más de dos jumpers
12-01-2021	0.6.0	Cambio de módulo RTC
10-02-2021	0.6.2	Re-colocación de módulos
17-02-2021	0.7.0	PCB doble cara
22-02-2021	0.7.2	Uso de conectores JST
08-03-2021	0.7.4	Simplificación de circuito
02-04-2021	0.8.0	No es posible ‘ <i>Through-hole</i> ’
22-04-2021	0.8.1	Separación del magnetómetro analógico
08-05-2021	0.8.3	Adición de marcadores visuales
02-05-2021	0.8.4	Adición de alarma sonora
22-05-2021	0.9.0	4 Placas a una cara
08-05-2021	0.9.1	Fallo de diseño módulo RTC
02-05-2021	0.9.3	Eliminación de módulo FM
22-05-2021	0.9.5	Rotación del circuito principal
08-05-2021	0.9.6	Nueva selección de las placas secundarias
02-05-2021	1.0.0	Re-conexión/Uso de jumpers
22-05-2021	1.0.2	Uso de batería de forma continua
02-05-2021	1.0.4	Deshabilitar interfaz de botones
22-05-2021	1.0.5	Cambio de barómetro y acelerómetro
02-05-2021	1.1.0	3 Placas a una cara con interconexión
22-06-2021	1.1.2	Deshabilitar jumper constante de batería

.2. Firmware

Tabla 2: Registro de cambios en el firmware del monitor principal ESP32.

Fecha de Modificación	Versión	Causa
20-12-2020	0.5.0	Reconocimiento de direcciones I2C
28-01-2020	0.6.0	Puesta en marcha de reloj RTC
02-02-2020	0.6.1	Puesta en marcha de sistema de registro
12-02-2021	0.7.0	Habilitación de todos los sensores
10-03-2021	0.7.2	Simplificación de operación
17-04-2021	0.8.0	Habilitación del segundo núcleo
22-04-2021	0.8.2	Jerarquía de operaciones
08-05-2021	0.8.4	Modo demo de pruebas
02-06-2021	0.8.5	Reestructura de operaciones por núcleo
22-07-2021	0.8.7	Corrección de frecuencias de muestreo

Consumo Eléctrico

El prototipo electrónico desarrollado para este estudio toma como una de sus propiedades la portabilidad, ergo, es crítica la duración de autonomía, contemplando una fuente de energía portable, por ello se mide el consumo eléctrico de los elementos involucrados.

Todo dispositivo añadido al sistema de monitoreo tiene un impacto directo en la duración de batería del mismo, esto se ha considerado a la hora de seleccionar los sensores a emplear además la frecuencia de muestreo, y la de operación del microcontrolador.

Para tener una idea concreta del consumo eléctrico en cada dispositivo se han hecho pruebas aisladas de cada elemento con la finalidad de determinar el consumo medio en condiciones controladas (frecuencia de trabajo, temperatura y tensión de operación).

.3. ESP32-WROOM-32

De primera instancia el dispositivo que se espera consuma más energía es el microcontrolador principal dada la índole de su operación y las capacidades de trabajo, cabe mencionar que al ser un microprocesador incrustado en una placa de desarrollo incluye más de alguna fuga de corriente por el estado 'idle' de la electrónica adicional.

El consumo eléctrico del microcontrolador ESP32 está asociado directamente a la frecuencia de operación, uso de entradas/salidas, capacidades inalámbricas y complejidad del firmware, esta versión incluye 2 núcleos, lo que podría aumentar el consumo total.

Se dispuso que el microcontrolador se sometiese a más de una prueba ligado a la versión del firmware, en las siguientes condiciones:

- Alimentado con una batería.
- Operando las entradas/salidas.
- Empleando su propio regulador.
- Comunicación inalámbrica.

Los resultados de las lecturas tomadas con el multímetro UNI-T UT39C se ingresan en la tabla 3 para dar noción sobre el comportamiento del microcontrolador en 3 estados de operación: reposo, monitoreo con registro y comunicaciones inalámbricas habilitadas.

Tabla 3: Consumo eléctrico aislado del microcontrolador ESP32-WROOM-32.

Versión	Estado	Consumo eléctrico		
		Mínimo	Máximo	Promedio
v0.5.2	Reposo	0.8	20	3.5
	Monitoreo	3.0	22.2	17.8
	BLE	1.8	39.5	7.1
v0.6.4	Reposo	1.1	10.5	4.3
	Monitoreo	30.2	37.7	34.1
	BLE	25.1	25.7	25.5
v0.8.7	Reposo	0.9	12.3	3.9
	Monitoreo	33.2	42.1	36
	BLE	24.7	25.8	25

Adicionalmente en estas pruebas se ha descartado una corriente de 5 mA por cada lectura, esta tiene origen en la caída de tensión del regulador AMS1117, esta corriente se encuentra en la hoja de datos del regulador bajo el nombre de corriente “*Quiescent*”.

Mientras que la corriente que puede aportar la batería no sea rebasado el sistema operara adecuadamente, cuando se este cerca del limite de 800 mA la batería podría tener una caída de tensión que en conjunto con la del regulador AMS1117 podría dejar in-operativo el microcontrolador, ergo el sistema de monitoreo completo.

.4. Pantalla OLED 128x64

La pantalla OLED empleada en este dispositivo no cuenta con una hoja de datos muy clara, esta no aúna en el consumo eléctrico por lo que se ha hecho un ejercicio de caracterización de consumo eléctrico.

Las condiciones para realizar las pruebas deben ser controladas para descartar la influencia de parámetros externos en la toma de lectura de el consumo eléctrico, cumpliendo específicamente con la siguiente lista.

Para el caso particular de el módulo pantalla OLED que no cuenta con una hoja de datos que auné en el consumo eléctrico se opta por realizar pruebas experimentales de su comportamiento, teniendo en cuenta las siguientes condiciones.

- Frecuencia de actualización: 23.9 cuadros por segundo.
- Tensión de operación: 3.3 V.
- Temperatura en zona de pruebas: 24 °C.
- Microcontrolador: ESP32-WROOM-32.
- Amperímetro: UT39C UNI-T.
- Comunicación: I2C.

El procedimiento para estimar de forma básica el consumo eléctrico de la pantalla sigue el siguiente procedimiento: estado de apagado/encendido, cobertura de pantalla media/-total y contraste bajo/medio/alto. La operación normal es encendido con cobertura media y contraste medio. Los resultados se registran en la tabla 4.

Tabla 4: Pruebas de consumo eléctrico de la pantalla OLED de 0.96' 128x64 pixeles.

Condición	Cobertura	Contraste		
		31	127	255
ON	50 %	5,6mA	8,1mA	11,1mA
	100 %	10,4mA	15,8mA	21,2mA
OFF	0 %	27μA		

Adicionalmente, la frecuencia de actualización de la pantalla impacta directamente en el consumo de esta, además del uso de CPU en el microcontrolador, este prototipo refresca la pantalla cada que registra un dato, lo que sucede a una frecuencia de 1 Hz.

Pruebas a una elevada frecuencia presentan un fenómeno que incrementa el consumo sustancialmente, el origen es el controlador de pantalla que opera el protocolo I2C y requiere mucha más energía para operar fuera de sus rangos operativos de diseño.

.5. Barómetro BMP280

Este prototipo portable cuenta con un sensor de presión barométrica BMP280 con resolución modificable, dependiendo la índole del fenómeno que se desea medir.

Esta ventaja supone al módulo como el mejor para determinar la presión atmosférica con un mínimo impacto en el consumo eléctrico, gracias a su bien caracterizado comportamiento la hoja de datos brinda todo el conocimiento necesario sobre su consumo[75].

De tal forma la tabla 5 es solo el extracto de parámetros eléctricos más relevantes para este trabajo, esta tabla se muestra a continuación.

Tabla 5: Consumo eléctrico del barómetro BMP280.

Configuración	Sobre-muestreo		Consumo a 1 Hz[mA]	
	Presión	Temperatura	Típico	Máximo
Ultra bajo consumo	x1	x1	2.74	4.16
Bajo consumo	x2	x1	4.17	6.27
Estándar	x4	x1	7.02	10.50
Alta resolución	x8	x1	12.70	18.95
ultra alta resolución	x16	x2	24.80	36.85

Al ser este sistema un circuito integrado fue imposible corroborar la corriente de consumo de forma aislada, no obstante las lecturas del módulo entero arrojaron resultados muy positivos sobre su consumo en reposo y operación.

.6. Acelerómetro MPU6050

El acelerómetro cuenta con una hoja de especificaciones clara y bastante completa de donde se obtienen los consumos eléctricos para la función a la que se somete el sensor, en tal caso además se toma lectura de el uso de corriente en operación.

El consumo eléctrico del sensor se registra entonces en la tabla 6 siendo estos extracto de la hoja de especificaciones del sensor[82].

Tabla 6: Consumo eléctrico del módulo MPU6050.

Sensor	Consumo[μA]	Modo[Hz]	Consumo[μA]
Acelerómetro	500	1.25	10
		5	20
		20	70
		40	140

Nota: Dentro de la tabla 6 la columna de modo hace referencia a la frecuencia con la cual el módulo completo entra en modo ultra bajo consumo.

Finalmente se toma lectura en en plena operación en las siguientes condiciones: 22 °C, ambiente cerrado, sin sensores adicionales, 5 Hz frecuencia de operación y empleando únicamente el acelerómetro.

El resultado de este es un consumo ‘idle’ de 700 μA y en plena operación de 2,1 mA, teniendo en cuenta que no es la mejor forma de identificar su comportamiento dada la índole del fenómeno (“*sleep mode*”) y las herramientas de medición disponibles.

.7. Reloj DS3231M

Determinar el uso de este circuito como reloj interno del sistema de monitoreo tiene 2 razones de ser, la primera relacionada con su tamaño compacto, que permite además emplear el protocolo I2C, y en segundo lugar el consumo eléctrico del mismo.

La autonomía del sistema es indispensable, por ello se ha hecho uso del módulo de reloj ‘DS3231M’ que es uno de los circuitos de reloj más eficientes y compactos, el consumo por hoja de datos se registro en la tabla 7[83].

Tabla 7: Consumo eléctrico del módulo DS3231M.

Estado	Consumo eléctrico	
	$I^2C(\text{Activo})$	$I^2C(\text{Inactivo})$
Intercambio	150 μA	-
Retención	-	100nA
Cronometraje	-	3,5 μA
Conversión	-	650 μA
Medible	10	10

.8. Micro-SD

Para hacer el registro continuo de los parámetros de monitoreo se hace uso de una memoria flash (no volátil) la cual requiere de un circuito integrado que permita la comunicación segura el microcontrolador y grabe los datos correctamente en la tarjeta de memoria.

El circuito integrado que cubre esta función de seguridad entre el microcontrolador y la tarjeta de memoria mediante el protocolo SPI, es el LVL125A que es un dispositivo de conversión lógico CMOS cuyo consumo por operación es despreciable 2 mA a 20 mA[84].

Además de tener en cuenta el consumo eléctrico de la electrónica que permite hacer registro de datos es importante el consumo de la tarjeta micro-SD en si, ya que se ha detectado que emplear tarjetas con más tamaño (en mega-bytes) requiere más corriente, sin mencionar las de alta velocidad[85].

Tabla 8: Corrientes de operación de memoria micro-SD Sandisk 2G[85].

Modo	Operación	Consumo máximo [mA]
Estándar	Reposo	0.35
	Lectura	100
	Escritura	100
Alto rendimiento	Reposo	0.35
	Lectura	200
	Escritura	200

.9. Magnetómetro A11

Este consta de un sensor analógico de efecto hall y un sistema de detección mediante amplificadores diferenciales de los cuales no se puede obtener una medida clara de consumo eléctrico, no obstante conocer su operación en cuanto a consumo eléctrico es realmente relevante.

En tal caso se realizan pruebas de consumo del módulo completo en 2 estados de operación, sin presencia de campo magnético y con presencia de campo magnético.

Tabla 9: Consumo eléctrico del módulo de detección magnética por efecto HAll.

Campo magnetico	Consumo[mA]
No detectado	8
Detectado	26

Nota: Con la finalidad de decrementar el consumo eléctrico de esta pieza es posible retirar los 2 LED SMD que incluye el módulo y que generan la mayoría de consumo (20 mA)de forma parásita.

Información adicional

Tabla 10: Modalidades de ciclismo reconocidas oficialmente por la UCI.[10]

Disciplina	Modalidades	Fecha de reconocimiento oficial
Ruta	Carrera de ruta Contrarreloj	1868
Pista	Sprint Kilometre Keirin Pursuit Carrera por puntos Madison Carrera de Scratch Omnium	1893
Montaña	Cross-Country Olímpico Cross-Country Maratón Cross-Country por eliminación Downhill Four Cross Enduro Alpine Snow Bike	1990
BMX Racing	Carrera BMX	1960
BMX Freestyle	Park Vert Flat Street Dirt	2016
Trials	Street Trials Speed Trials Salto de altura	1970
Cyclo-Cross	Carrera Cyclo-Cross	1950
Indoor	Ciclismo Artístico Cycle-Ball	1956