

Universidad Tecnológica Nacional

Proyecto Final

**Sistema de seguimiento por GPS y control
biométricos de deportistas**

Autores:

- Acosta, Martin Javier
- Beade, Facundo

Director:

*Proyecto final presentado para cumplimentar los requisitos académicos
para acceder al título de Ingeniero Electrónico*

en la

Facultad Regional Paraná

Mayo de 2018

Declaración de autoría:

Nosotros declaramos que el Proyecto Final “Sistema de seguimiento por GPS y control biométricos de deportistas” y el trabajo realizado son propios. Declaramos:

- Este trabajo fue realizado en su totalidad, o principalmente, para acceder al título de grado de Ingeniero Electrónico, en la Universidad Tecnológica Nacional, Regional Paraná.
- Se establece claramente que el desarrollo realizado y el informe que lo acompaña no han sido previamente utilizados para acceder a otro título de grado o pre-grado.
- Siempre que se ha utilizado trabajo de otros autores, el mismo ha sido correctamente citado. El resto del trabajo es de autoría propia.
- Se ha indicado y agradecido correctamente a todos aquellos que han colaborado con el presente trabajo.
- Cuando el trabajo forma parte de un trabajo de mayores dimensiones donde han participado otras personas, se ha indicado claramente el alcance del trabajo realizado.

Firmas:

-
-
-

Fecha:

Agradecimientos:

Agradecemos a nuestros padres y hermanos, quienes en todo momento nos apoyaron, alentaron y comprendieron no sólo en esta instancia final sino durante el transcurso de toda la carrera, nos ayudaron a sobreponernos cuando las circunstancias no eran las mejores y disfrutaron tanto como nosotros de nuestros aciertos y alegrías. Por lo que consideramos que el mérito es tanto nuestro como de ellos. También queremos agradecer a nuestros amigos que nos acompañaron e incentivaron. Y por último a nuestros profesores que más allá de instruirnos y brindarnos los conocimientos teóricos de una carrera universitaria, nos enseñaron a crecer como personas.

Martín Javier Acosta

Facundo Beade

Universidad Tecnológica Nacional

Abstract

Facultad Regional Paraná

Ingeniero en Electrónica/

Sistema de seguimiento por GPS y control biométricos de deportistas

Acosta, Martín Javier

Beade, Facundo

Abstract:

In this project, the creation of a system for monitoring and analyzing sport practices has been developed. Firstly, through the collection of different parameters obtained from a group of athletes during their practices, as well as the monitoring and analysis of such variables by people in charge of the training.

To carry it out, a RMCM-01 wireless connection module was used, which gives the possibility of detecting heart rate coming from Polar heart rate monitor. U-Blox NEO-6 GPS modules were used for the positioning of each personal unit, while the communication between the central unit and each personal unit was established by nRF24L01 + transceiver modules. Each unit is commanded by a PIC16F18856 microcontroller, whose firmware was developed utilizing the MPLABX platform. (Finally) The control and analysis software was developed using Qt Creator.

After finishing, a system capable of receiving data coming from every personal units present in the sport field was obtained. Each of them connected to an athlete's profile, storing one block of data per second. This communication is made using the 2.4 [GHz]

band, resulting in a reduced design and fulfilling the geographic requirements of the project. This data block contains information regarding heart rate, geographic coordinates, time and instantaneous speed. The transfer rate achieved by each personal unit is 1 data frame per second. The control software makes it possible to observe both the athlete's heart pulsations and their maximum and minimum values. At the same time, each athlete's areas of activity on the playing field can be observed on a heat map, which also provides a record of all their previous training results.

Keywords:

Analysis and control, communication, geographic coordinates, team sports, heat map, radiofrequencies, heart rate.

Resumen:

En este proyecto se desarrolla la creación de un sistema de seguimiento y análisis de prácticas deportivas. En principio mediante la recopilación de diferentes parámetros obtenidos de un grupo de deportistas durante las prácticas, así como también a través de la monitorización y análisis de dichas variables por las personas a cargo de los entrenamientos.

Para llevarlo a cabo se utilizó el módulo de conexión inalámbrica RMCM-01, el cual permite la detección del ritmo cardíaco proveniente de bandas pectorales de la marca Polar. Para el posicionamiento de cada unidad personal se utilizaron módulos GPS U-Blox NEO-6, mientras que la comunicación entre la unidad central y cada unidad personal se estableció mediante módulos transceptores nRF24L01+. Cada unidad es comandada por un microcontrolador PIC16F18856, cuyos firmwares fueron desarrollados mediante la plataforma MPLABX. El software de control y análisis fue desarrollado utilizando Qt Creator.

Al finalizar se obtuvo un sistema capaz de recibir los datos provenientes de todas las unidades personales presentes en el campo de juego, cada una asociada a un perfil de deportista en particular, almacenando un bloque de datos por segundo. Esta comunicación se realiza en la banda de 2.4 [GHz], permitiendo un diseño reducido y cumpliendo con los requerimientos geográficos del proyecto. Dicho bloque de datos contiene información respecto al ritmo cardíaco, coordenadas geográficas, tiempo y velocidad instantánea. La tasa de transferencia lograda por cada unidad personal es de 1 trama de datos por segundo. Mediante el software de control es posible ver en tiempo real las pulsaciones de cada deportista conectado, así como también los valores máximos y

mínimos de esta. También se visualiza a través de un mapa de calor las zonas de actividad de cada deportista dentro del campo de juego, permitiendo recrear las situaciones obtenidas durante entrenamientos pasados a través de un historial por fechas.

Palabras Clave:

Análisis y control, comunicación, coordenadas, deportes de equipo, mapa de calor, radiofrecuencias, ritmo cardíaco.

Reconocimientos:

A Marcelo, Nicolás, Antonella y Ananquel por su ayuda, y a nuestras amistades forjadas a lo largo de la carrera por los consejos dados.

Índice:

Capítulo 1: Introducción	1
Capítulo 2: Desarrollo	2
2.1 Hardware	2
2.1.1 Diagrama de bloques	2
2.1.2 Unidad personal	2
2.1.3 Unidad central	14
2.2 Software	20
2.2.1 Diagrama de bloques	20
2.2.2 Interfaz de usuario	21
2.3 Pruebas de la aplicación.....	28
2.4 Diseño completo (prototipo).....	31
Capítulo 3: Resultados.....	33
Capítulo 4: Análisis de Costos	34
Capítulo 5: Discusión y Conclusión	35
Capítulo 6: Literatura Citada	36

Lista de Figuras:

Figura 1. Módulo GPS U-Blox NEO-6	4
Figura 2. Dispersión de coordenadas	4
Figura 3. Dispositivos para medición de ritmo cardíaco encontrados en el mercado	5
Figura 4. Circuito de conexión RMCM01	6
Figura 5. Módulo de recepción GymLink	7
Figura 6. Módulo nRF24L01+ mini.....	8
Figura 7. Módulo nRF24L01+ con PA de 10mW	9
Figura 8. Módulo de carga TP4056	12
Figura 9. Gráfico de carga del CI TP4056	13
Figura 10. Módulo conversor USB-UART	15
Figura 11. Regulador de voltaje interno del CP2102	15
Figura 12. Circuito de alimentación de la unidad central	16
Figura 13. Pantalla de inicio del software de gestión	21
Figura 14. Pantalla de gestión de perfiles.....	22
Figura 15. Pantalla de nuevos perfiles.....	22
Figura 16. Ventana de selección de cancha.....	23
Figura 17. Ventana de nueva cancha	24
Figura 18. Ventana de selección de puerto	24
Figura 19. Ventana de visualización de datos	27
Figura 20. Datos de primera prueba	28
Figura 21. Datos de segunda prueba	28
Figura 22. Datos de tercera prueba.....	29
Figura 23. Datos de cuarta prueba	30
Figura 24. Diseño de gabinete de unidad personal	31
Figura 25. Diseño de gabinete de unidad central	32

Lista de Tablas

Tabla 1. Código de colores para unidad personal31

Tabla 2. Costos de fabricación34

Lista de Diagramas

Diagrama 1. Bloques principales del sistema	2
Diagrama 2. Bloques de la unidad personal	3
Diagrama 3. Firmware de la unidad personal	10
Diagrama 4. Comunicación con módulos externos.....	11
Diagrama 5. Bloques de la unidad central	14
Diagrama 6. Firmware de la unidad central	17
Diagrama 7. Topología de la red de unidades	18
Diagrama 8. Diagrama de visualizaciones del software	20
Diagrama 9. Rutina de almacenamiento de información	26

Lista de Abreviaciones

CI: Circuito Integrado.

RF: Radiofrecuencia.

GPS: Sistema de Posicionamiento Global.

USB: Universal Serial Bus.

PC: Computadora Personal.

NMEA: National Marine Electronics Association.

CRC: Código de Redundancia Cíclica.

UART: Transmisor-Receptor Asíncrono Universal.

CIEER: Colegio de Ingenieros Especialistas de Entre Ríos.

Dedicado a:

Mi madre, a mi novia Antonella, a los amigos que me arrimó el destino y a la memoria de mi padre Ángel Daniel Acosta.

Acosta, Martín Javier

Mis padres, hermano, abuelos, tíos y a todos los que estuvieron a mi lado en este camino.

Beade, Facundo

Capítulo 1: Introducción

El mundo deportivo se actualiza constantemente, alcanzando resultados gracias a la innovación. Cada vez es mayor la utilización de nuevas tecnologías para mejorar y facilitar el análisis de las jugadas, aumentar el rendimiento de los deportistas y distinguir las fallas que sin la tecnología no podrían ser medibles.

En la actualidad existen medios cada vez más complejos para recoger y posteriormente analizar grandes cantidades de datos relacionados con cualquier aspecto de todos los deportes. Mediante cámaras, sensores y pequeñas pulseras se guardan detalles precisos de la actuación de un deportista. Estos datos revelan a los entrenadores y preparadores los defectos a pulir en la técnica, mejorando su colocación en el campo de juego, o ajustando la ingesta de calorías del deportista en función del esfuerzo y del desgaste provocado por los entrenamientos, o los niveles de entrenamiento soportables manteniéndolo lejos del riesgo de lesiones. Todo ello siguiendo el objetivo de lograr el mejor rendimiento posible.

Mundialmente existen muchas marcas que apuestan al desarrollo de sistemas de este tipo, aunque ninguna es de origen nacional y cuyos costos no descienden de algunos miles de dólares.

Combinando el diseño portátil, la tecnología GPS y el rastreo de movimiento con el control del ritmo cardíaco se pueden obtener los datos necesarios para supervisar en tiempo real la evolución aeróbica y táctica de todo el plantel deportivo, pudiendo reducir los costos de manera considerable. Algunas de las variables que se consideran importantes para esto son el ritmo cardíaco, los umbrales aeróbico y anaeróbico, las zonas de entrenamiento, la distancia recorrida o las corridas en velocidad.

El objetivo de este proyecto es el diseño y desarrollo de un sistema capaz de adquirir y almacenar todos los parámetros mencionados, provenientes de un grupo de deportistas durante sus entrenamientos. Estos datos serán almacenados en una base de datos a través de una computadora conectada a la unidad central, la cual comandará el funcionamiento del sistema. Mediante el software de gestión se visualizará en tiempo real los valores tomados por los pulsómetros de las unidades personales conectadas, cada una asociada al perfil personal de un deportista en particular. Una vez finalizado el entrenamiento, el usuario podrá recuperar la información obtenida durante cada práctica deportiva, visualizando los distintos bloques de datos en gráficos temporales de la evolución del ritmo cardíaco y la velocidad, la distribución del tiempo en cada zona de entrenamiento y las zonas de movimiento de cada deportista dentro del campo de juego mediante mapas de calor.

Mediante este sistema se propone una solución de bajo costo ante la necesidad de datos para respaldo en la toma de decisiones.

Capítulo 2: Desarrollo

2.1 Hardware

2.1.1 Diagrama de bloques

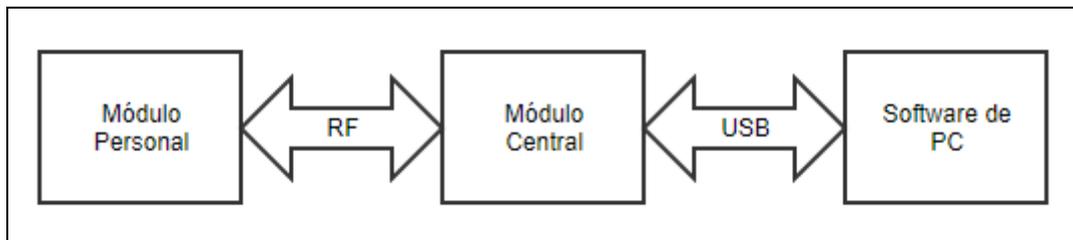


Diagrama 1. Bloques principales del sistema

La unidad personal es la encargada de la toma de datos de los sensores y del armado de la trama para ser comunicado. Habrá una unidad personal por cada deportista en el campo de juego. La unidad central comanda el funcionamiento del sistema, realiza los pedidos de información a cada unidad personal mediante polling y organiza las tramas recibidas para ser reenviadas hacia el software de gestión. El software de PC se encarga del almacenado de información en la base de datos, decodificando los datos correspondientes a cada medición y ordenándolos de manera cronológica. A medida que se almacena información, visualiza en pantalla las mediciones de las pulsaciones de cada deportista enlazado. Una vez concluida la toma de datos, se muestra la evolución de los valores tomados mediante diferentes gráficos.

2.1.2 Unidad personal

Esta unidad se puede dividir en 3 etapas distintas: sensado, control y comunicación.

El elemento de control es el microcontrolador PIC16F18856 de Microchip. El mismo debe realizar la lectura de datos provenientes de los sensores y comunicarlas a la unidad central, respondiendo a los pedidos de este último. Cada unidad personal posee una dirección única, la cual se utiliza para la identificación de las unidades dentro del campo de juego. Dicha dirección se encuentra grabada dentro del código del microcontrolador. Este, además, realiza la configuración de parámetros del módulo RF, así como también gestiona la información proveniente del receptor GPS y de pulso cardíaco, conformando la trama para su envío luego de recibida la orden por parte de la unidad central.

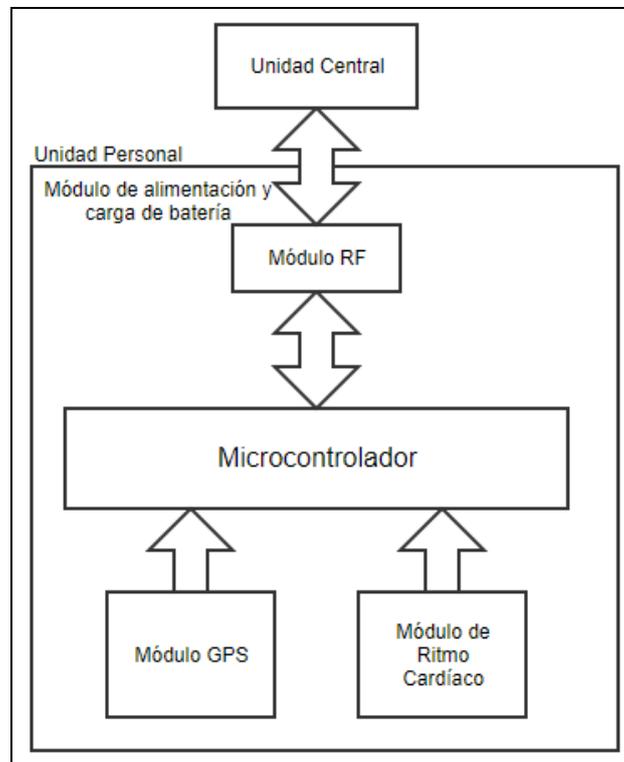


Diagrama 2. Bloques de la unidad personal

2.1.2.1 Módulo GPS

Existe una gran variedad de módulos GPS en el mercado, los cuales utilizan el estándar NMEA. Este es un protocolo serie normalizado por fabricantes de electrónica naval, mediante el cual los dispositivos envían información. La trama de datos proporcionada está conformada por 7 mensajes, de los cuales uno en particular brinda la información necesaria para el objetivo de este proyecto. Este último posee el encabezado “RMC”, siendo el mensaje de mínimos datos específicos recomendados, de los que resaltan la latitud, longitud, velocidad sobre la tierra.

La diferencia entre dispositivos radica en la variedad de tamaños y aspectos constructivos de los mismos, dentro del cual se encuentra el chip principal, la tasa de refresco de información, capacidad para trabajar con sistema GPS (E.E.U.U.), Glonass (Rusia) y Galileo (U.E.), precisión, antena interna o externa, etc.

Para los fines del presente proyecto, se seleccionó un módulo basado en el chip de la serie NEO-6. El mismo posee 4 pines de conexión (Vcc, Gnd, Tx, Rx), tensión de

alimentación entre 3 y 5 [V], refresco de la posición cada 1 segundo, envío de información a 9600 baudios y una antena activa separada de la placa base.

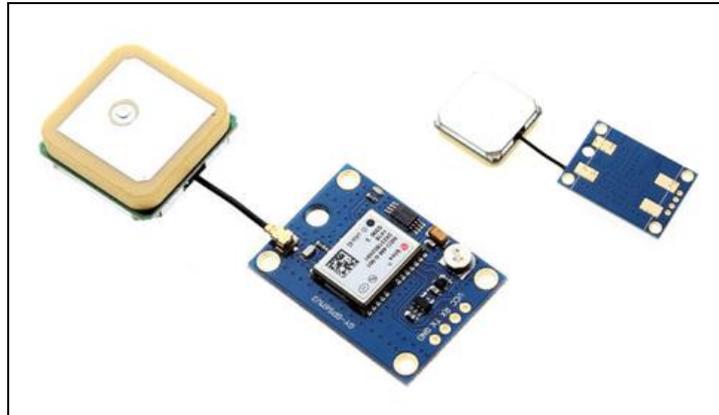


Figura 1. Módulo GPS U-Blox NEO-6

Luego de energizar el dispositivo, se necesita un tiempo para que se establezca la comunicación entre los satélites cercanos y el módulo, el cual según el fabricante resulta aproximadamente de 27 segundos. Una vez establecido el enlace, el módulo envía secuencialmente la trama de mensajes cada un segundo.

El fabricante proporciona el software U-Center, para medición y análisis de los valores arrojados por el GPS. Utilizando este mismo se obtuvo un valor aproximado de la dispersión de las coordenadas, donde los puntos resultaron en un 90% dentro de un radio de 4 [m]. Este valor es considerado como aceptable para el objetivo de este proyecto.

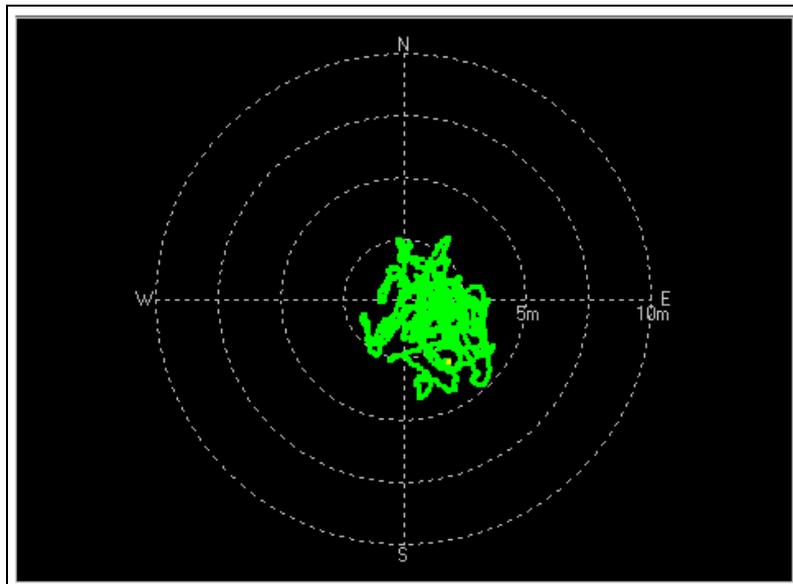


Figura 2. Dispersión de coordenadas

2.1.2.2 Módulo de ritmo cardíaco

Actualmente en el mercado existen 2 principales tecnologías para la lectura del ritmo cardíaco: Mediante la reflexión de luz a partir de leds emisores y receptores, y mediante impulsos eléctricos captados con electrodos.

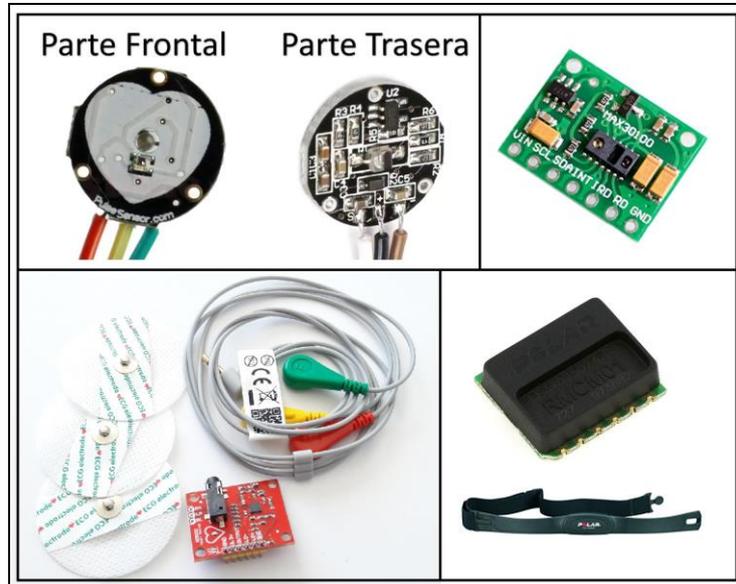


Figura 3. Dispositivos para medición de ritmo cardíaco encontrados en el mercado

Luego de realizar análisis y pruebas de algunas de las propuestas, se llegó a la conclusión de que la primera de las tecnologías mencionadas anteriormente posee una alta incidencia de ruido debido a los pequeños movimientos entre el dispositivo y la superficie de la piel. Mientras que en la segunda se observó presencia de ruido debido a las contracciones musculares, motivo por el que se decidió utilizar esta última. Dentro de las opciones encontradas y disponibles en el mercado nacional se optó por utilizar un receptor de la marca Polar, el RMCM01 y una banda pectoral de la misma marca, modelo T31 codificada. Este chip es un dispositivo encapsulado propio de la marca, el cual se enlaza inalámbricamente con sus bandas pectorales utilizando el protocolo GymLink, comunicación realizada mediante una frecuencia analógica de 5.5 [kHz].

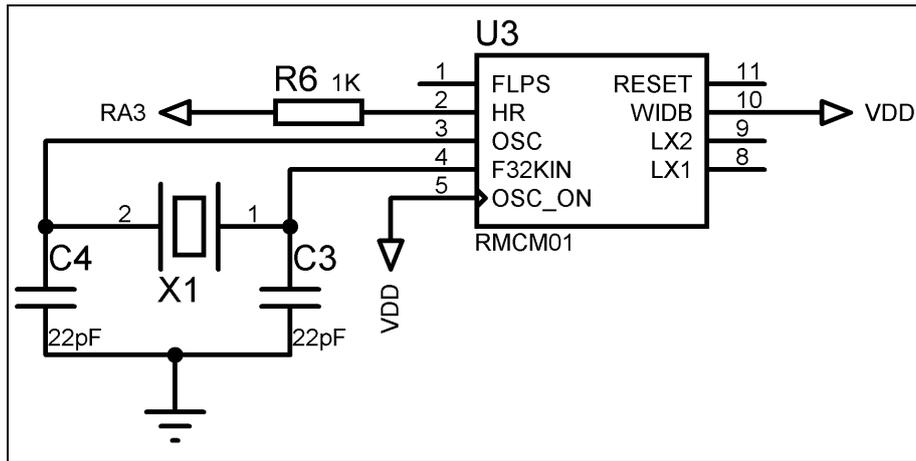


Figura 4. Circuito de conexión RMCM01

Para lograr el funcionamiento adecuado del componente, es necesario implementar un circuito resonador a cristal, con frecuencia de oscilación de 32768 [Hz]. Una vez energizado el circuito, a través del pin HR se presentará un pulso de 1 ms de duración cada vez que la banda pectoral detecte una pulsación. Esta última posee dos electrodos mediante los que realiza la lectura de señales eléctricas provenientes de las contracciones del corazón, los cuales deben ser humedecidos para su adecuada performance.

La banda pectoral puede enviar las señales de forma codificada o sin codificar, dependiendo del modelo utilizado. En caso de ser codificada, el receptor solo indica un pulso cuando la señal adquirida contiene la codificación correspondiente, pudiendo filtrar la señal de la de otras bandas cercanas. En caso de ser no codificada, a la salida del circuito se obtiene un pulso por cada pulso recibido de todas las bandas próximas al dispositivo, motivo por el cual se ha utilizado una banda del primer grupo. Debido a la naturaleza del enlace entre ambos elementos, existe un límite de distancia entre ambos. Este valor no es provisto por el fabricante, pero se ha estimado mediante pruebas un correcto funcionamiento en un radio de 90 [cm]. Esto permite gran libertad a la hora de definir la ubicación de la unidad.

El enlace se establece mediante antenas bobinadas presentes tanto en la banda pectoral como en el componente receptor. Esto define que ambas deben posicionarse de forma paralela entre sí para un funcionamiento óptimo, aunque dependiendo de la separación entre los elementos pueden aceptarse un cierto grado de variación.

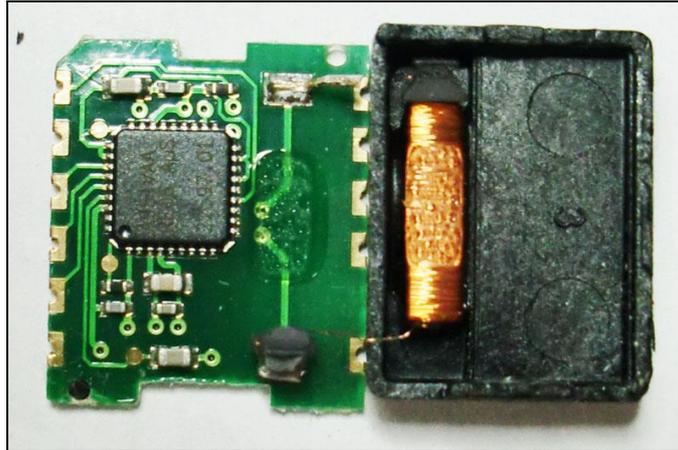


Figura 5. Módulo de recepción GymLink

El dispositivo receptor utiliza una alimentación de 3.3 [V], consumiendo una corriente de 60 [μ A].

2.1.2.3 Módulo RF

La comunicación de datos entre la unidad central y las unidades personales se estableció mediante módulos de radiofrecuencias. Debido a la necesidad de mantener el canal de comunicaciones disponible a lo largo de toda la cancha y de minimizar las dimensiones del diseño, se optó por utilizar módulos RF de 2.4 [GHz]. Los modelos seleccionados que cumplan con los requisitos mencionados anteriormente, y que además se encuentren disponibles en el mercado nacional, fueron los basados en el circuito integrado nRF24L01+.

Estos módulos poseen un gran número de virtudes, tales como bajo consumo de operación, selectividad de ganancia y tasa de transferencia de datos, manejo automático de paquetes y manejo automático de transacción de paquetes, diseño compacto, entre otras. Además de esto, poseen un set de registros seteables los cuales definen el funcionamiento de este, distinguiéndose la capacidad de comunicarse con varios transceptores mediante canales diferenciados, configuración de palabras utilizadas para reconocimiento de paquetes enviados con éxito y la posibilidad de ajustar los valores de ganancia y tasa de transferencia para lograr el máximo rendimiento posible del dispositivo. Los módulos utilizan el protocolo serie SPI para la transferencia de datos y utilizan una tensión de alimentación de 3.3 [V], disipando una potencia máxima de 60 [mW].

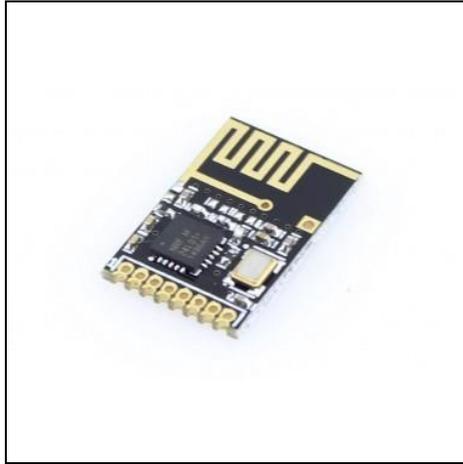


Figura 6. Módulo nRF24L01+ mini

En primera instancia se utilizaron módulos nRF24L01+ mini, los cuales poseen un diseño ultra compacto logrando distancias de transmisión por encima de los 100 metros, según distribuidores. Luego de establecer la configuración mínima para su funcionamiento se procedió a una rápida prueba, de la cual se pudo concluir que la distancia máxima a la cual se podían transmitir paquetes sin perder datos no superaba los 10[m]. A partir de esto se probaron distintas combinaciones de valores para la tasa de transferencia de datos y las potencias máximas de salida, logrando valores de longitudes que no satisfacían los requerimientos mínimos de este proyecto. Para solucionar este inconveniente se recurrió a módulos con las mismas características, pero con una etapa de amplificación previa a la antena.

El dispositivo utilizado opera en la banda de 2.4 [GHz] e incluye circuitería tanto de preamplificador como de amplificador de bajo ruido. Con la antena externa puede alcanzar distancias más grandes que las versiones normales, con ganancia de 2 [dB] con una tasa de transmisión de hasta 250kbps al aire libre. El módulo utiliza 8 pines para su interfaz externa y funciona con el estándar de comunicación SPI.



Figura 7. Módulo nRF24L01+ con PA de 10mW

Este módulo tiene 3 modos de funcionamiento: configuración, transmisión y recepción.

El primer modo se utiliza para establecer los parámetros de funcionamiento. Estos parámetros son seteados mediante 25 registros distintos, entre los que resaltan los pertenecientes a la potencia de transmisión, la tasa de transferencia de datos por RF, la longitud de las tramas a enviar y recibir, y el canal a utilizar para establecer la comunicación.

Luego de realizar la configuración el dispositivo adopta un estado de espera, estando en condiciones de enviar o de recibir datos. Almacenando información en un registro en particular, el dispositivo se encarga automáticamente de realizar la transacción a la dirección establecida en la configuración. Este manejo incluye el acondicionamiento de los datos y la detección de errores a la hora de enviar o recibir información. En caso de detectar un error en el envío, automáticamente intenta reenviar los datos durante un determinado número de veces, el cual se establece en la etapa de configuración. Si luego de todos los intentos se siguen detectando errores, el dispositivo informa el motivo mediante un grupo de banderas, las cuales deben ser limpiadas para continuar con el normal funcionamiento.

En el modo de recepción, el dispositivo detecta errores en los datos recibidos mediante un CRC. En caso de ser correcto, se envía un pulso de interrupción al microcontrolador para informar que se recibió un dato correcto y se almacena el mismo en una pila, a la espera de su lectura.

2.1.2.4 Desarrollo de firmware

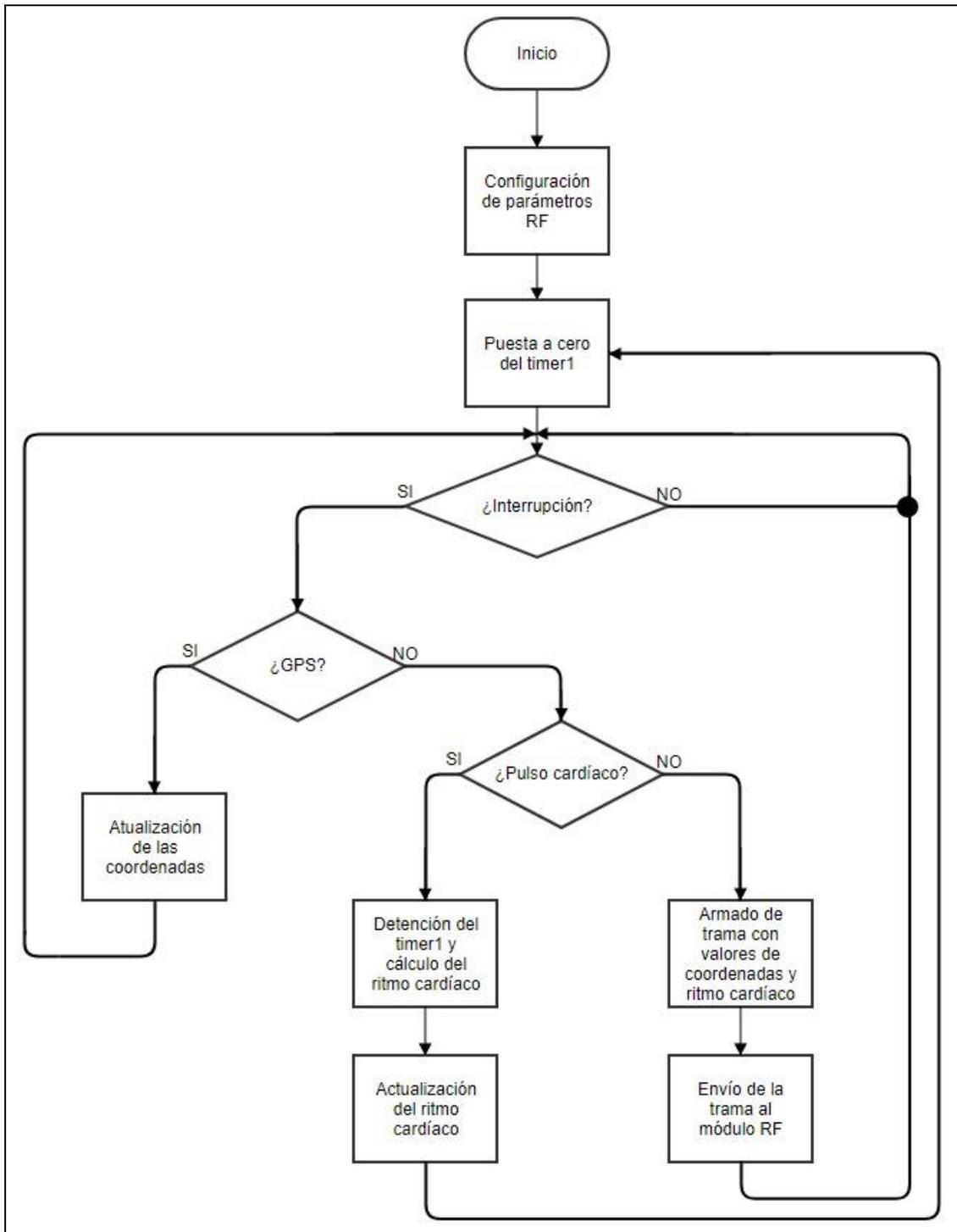


Diagrama 3. Firmware de la unidad personal

Los posibles eventos son manejados mediante las interrupciones del microcontrolador. Dichos sucesos pueden ser 3: trama disponible proveniente del módulo GPS, pulso detectado por el módulo de ritmo cardíaco y petición recibida desde el transceptor.

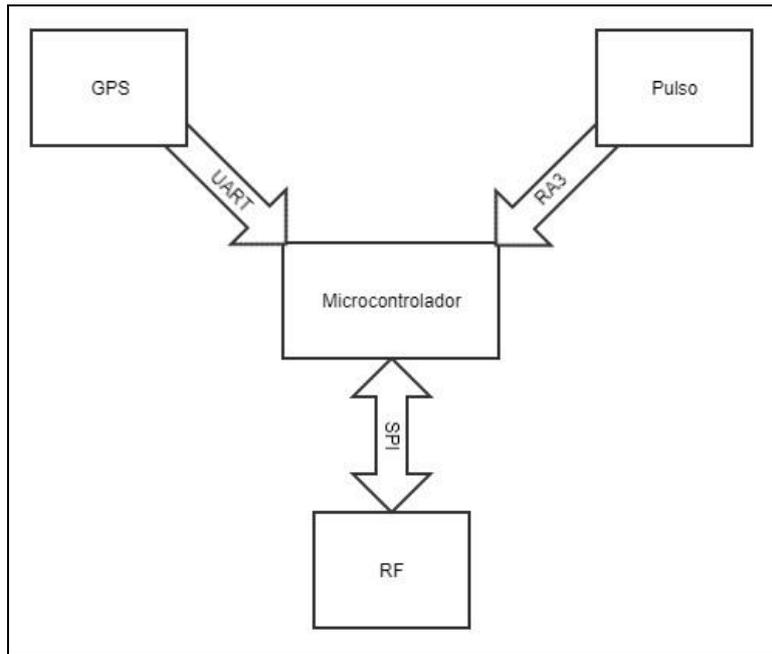


Diagrama 4. Comunicación con módulos externos

En el primer caso, al haber datos en el bus del módulo UART se procede a la lectura. El dato tiene la forma de un mensaje de 7 líneas, de las cuales cada una posee una cabecera distinta. Mediante comparación por byte se filtra el renglón buscado y se separan todos los datos que este contiene. Luego de identificarse los segmentos de información donde se encuentran los correspondientes a latitud, longitud y velocidad, son almacenados en registros internos hasta que nuevos datos sean procesados.

Al producirse la interrupción por un pulso en el cuarto pin del puerto A, se ejecuta la rutina para el cálculo del ritmo cardíaco. Mediante la cuenta realizada por el timer 0 se establece el tiempo entre pulsos. Debido a que este puede oscilar entre 270 y 1200 [ms], se extrapola el valor de las pulsaciones en un minuto.

$$pulsaciones\ por\ minuto = \frac{60}{(tiempo\ entre\ pulsos)}$$

Ecuación 1. Cálculo de pulsaciones por minuto

Luego de obtener el valor actual de las pulsaciones, es ingresado en un vector de 3 componentes junto con las 2 mediciones anteriores. Esto se realiza para calcular la media entre los valores más recientes a fin de evitar errores en la medición, ya sea por ruido electromagnético o por falsas lecturas de la banda debido a movimientos abruptos. Una vez determinado el valor promedio, se lo almacena en un registro destinado para tal fin, y dicho valor será actualizado al recibir el siguiente pulso.

El tercer caso posible de interrupción es la llamada por parte de la unidad central. En caso de que la unidad central se comunique mediante el canal asociado a la unidad personal, el módulo RF interpreta el dato recibido y envía un pulso a través del pin correspondiente.

Cuando el microcontrolador recibe este pulso, ejecuta el algoritmo de envío de información al módulo MSSP del mismo. Dicha rutina es la encargada de conformar la trama para ser enviada, donde concatena los valores almacenados en los registros definidos para la validez de las coordenadas recibidas por GPS, latitud, longitud, velocidad y valor de las pulsaciones. Luego de enviar esta trama al módulo RF a través del bus de comunicaciones, vuelve al estado de reposo a la espera de un nuevo evento.

2.1.2.5 Carga y alimentación

Las unidades personales son alimentadas mediante un módulo de carga basado en el circuito integrado TP4056. En el mercado se pueden encontrar dos versiones de este módulo: con protección y sin protección. Para el diseño del proyecto se ha utilizado la versión con protección de la batería.

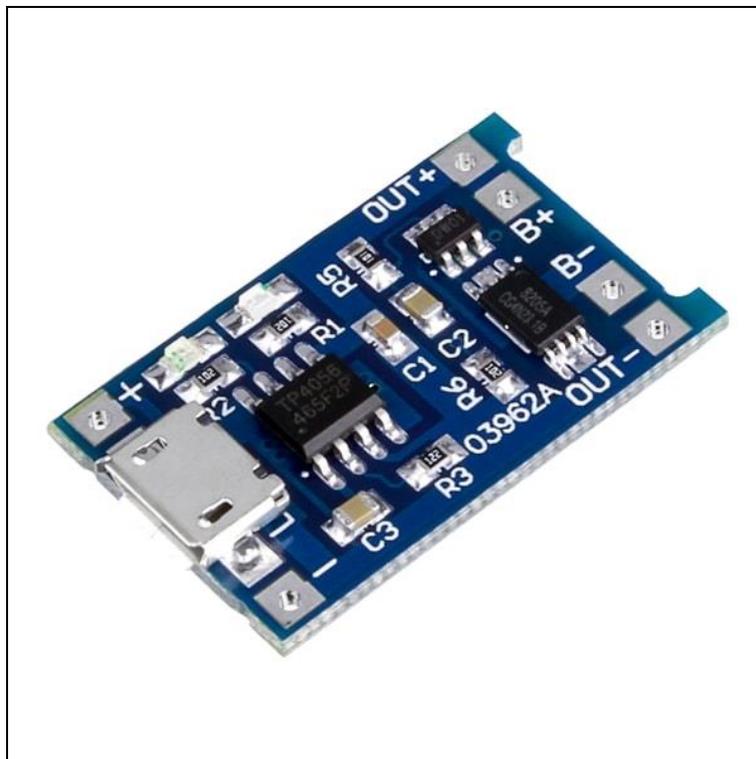


Figura 8. Módulo de carga TP4056

El circuito TP4056 es un módulo de carga de tensión y corriente constante para baterías de iones de litio de una celda. El mismo se alimenta mediante un conector micro USB, adaptándose a sistemas de carga utilizados por todo tipo de gadgets electrónicos. El módulo cuenta con un CI DW01A, el cual es un dispositivo de protección para preservar la vida útil de la batería, provocado por cargas o descargas completas y sobrecargas. La corriente de salida es manejada utilizando un FS8205A, el cual es un arreglo de dos transistores MOSFET de canal N, y mediante el ajuste del valor de la resistencia sobre el segundo pin del CI TP4056, se calibra la salida de corriente máxima del circuito.

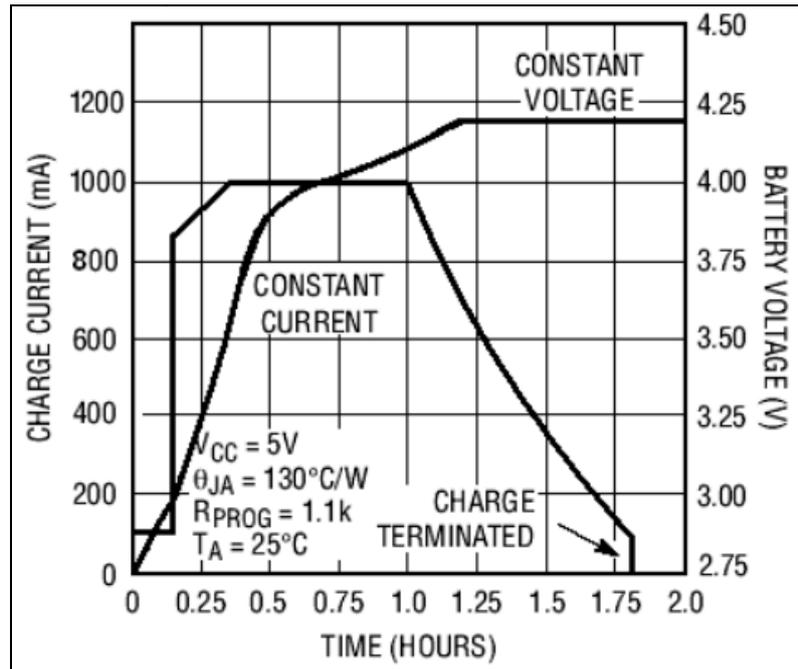


Figura 9. Gráfico de carga del CI TP4056

Para una carga segura a 3.7 [V] se debe realizar utilizando una corriente con valor entre 0.2 y 0.7 de la capacidad de la batería, hasta que en los bornes de la misma halla una tensión de 4.2 [V]. Luego de esto, la corriente debe descender hasta lograr un valor del 10% de su corriente inicial, ya que si finalizáramos la carga en cuanto la tensión de salida llegue a los 4.2 [V], solo lograríamos una carga de entre el 50% y el 70% de la capacidad. En el módulo utilizado se observa una resistencia limitadora de 1.2 [kΩ], indicando una carga máxima a 1000 [mA].

A través de 2 leds presentes en el módulo se muestra el estado de la carga, informando el funcionamiento normal y la detección de algún error en la batería ya sea por ausencia de batería, como por problemas de temperatura.

Debido a la necesidad de contar con un valor de tensión de alimentación de 3.3 [V] para la lógica de control de la unidad, se implementó un circuito de regulación mediante un LM1117. Este dispositivo es un regulador lineal de tensión, el cual es capaz de regular la tensión de salida con tensiones de entrada de hasta 20 [V]. El mismo posee dentro de su encapsulado, un circuito limitador de corriente y apagado por exceso de temperatura. El circuito de regulación está compuesto por el regulador propiamente dicho y 2 capacitores, uno a la entrada y el otro en su salida, de esta manera se elimina cualquier señal de rizado que pueda encontrarse en la señal, aún siendo alimentado con el circuito de carga energizado.

2.1.3 Unidad central

La unidad central es la encargada de gestionar la transacción de datos con todas las unidades personales presentes en el radio de acción de la comunicación por RF, así como también comunicar la información hacia el software de visualización.

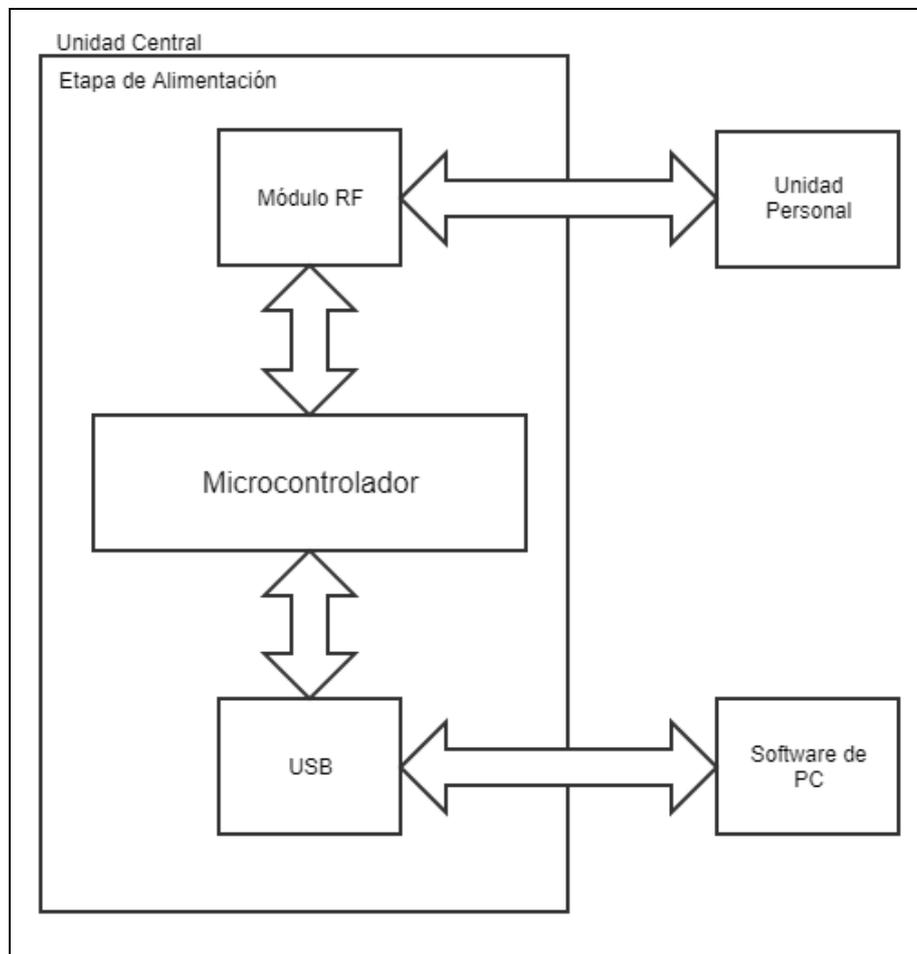


Diagrama 5. Bloques de la unidad central

De manera similar a la unidad personal, este dispositivo se puede dividir en 3 partes: la etapa de comunicación con las unidades cercanas, la comunicación con el software de gestión y la etapa de control, compuesta por el microcontrolador.

2.1.3.1 Módulo USB

Para establecer el enlace entre el sistema y la computadora fue necesario incluir un módulo conversor UART-USB, debido a que el microcontrolador utilizado no cuenta con el mismo entre su set de módulos internos. En el mercado existen muchos modelos de estos módulos, entre los que difieren sus características constructivas manteniendo un alto grado de similitud entre sus características funcionales. El elegido para este proyecto fue un módulo basado en el chip CP2102. Este nos brinda un diseño compacto, además de que cuenta con conector micro USB tipo B hembra, ajustándose a los estándares de los gadgets electrónicos actuales.

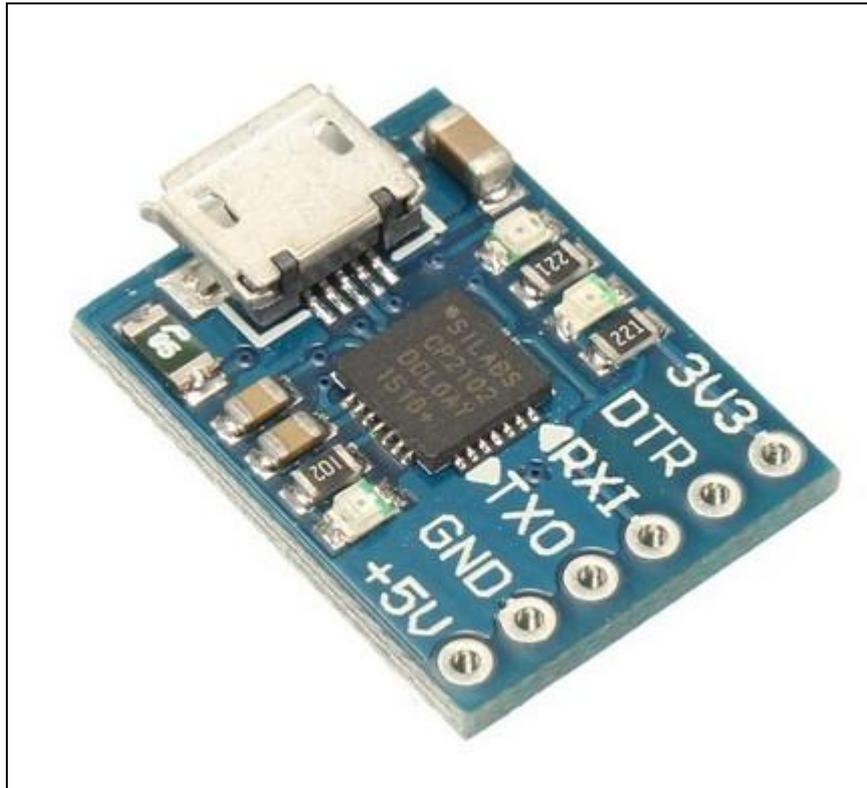


Figura 10. Módulo conversor USB-UART

El CI CP2102 utiliza una tensión de alimentación de 5 [V] proveniente del bus USB. Este dispositivo cuenta con un regulador interno de 5 [V] a 3.3[V], el cual es utilizado para su lógica interna.

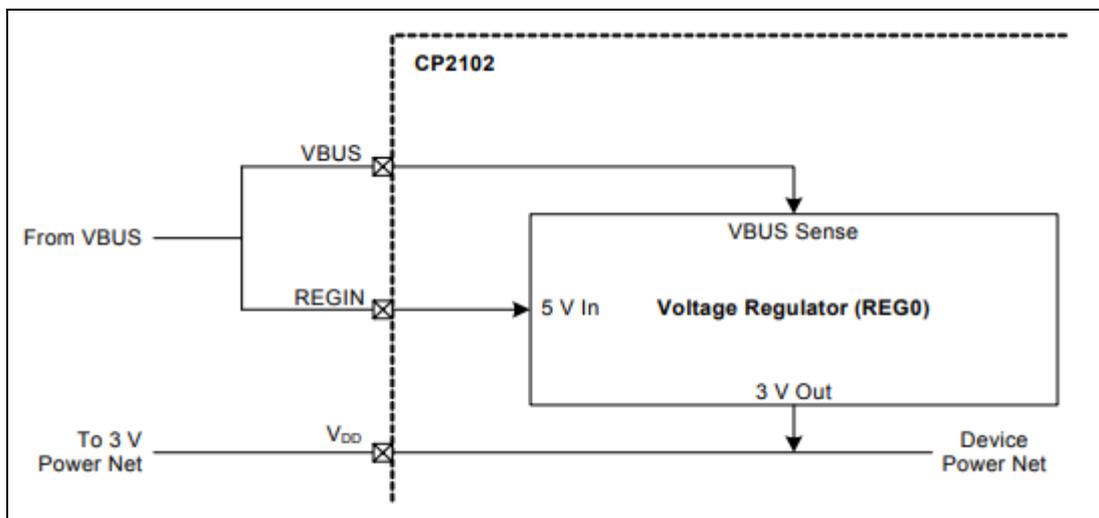


Figura 11. Regulador de voltaje interno del CP2102

2.1.3.2 Circuito de alimentación

La tensión de alimentación es provista a través del puerto USB. Por este motivo, se realizó un circuito de regulación para obtener una tensión de 3.3 [V], el cual es el valor utilizado por todos los dispositivos presentes en el diseño. Dicho circuito se implementó

mediante un regulador lineal LM1117. Este regulador permite obtener en su salida, una corriente máxima de 800 [mA], el cual resulta más que suficiente para el diseño.

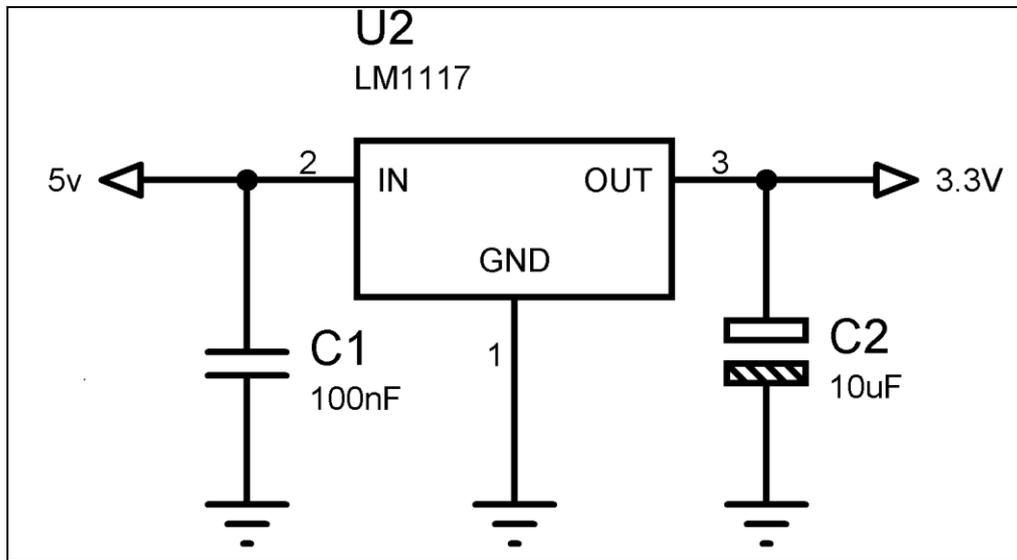


Figura 12. Circuito de alimentación de la unidad central

El módulo conversor UART/USB posee junto con los terminales de transmisión y recepción de datos, terminales con valores de tensión de 5 [V] y 3.3 [V]. Se utiliza el primero de estos terminales para alimentar el circuito de la unidad, a fin de prescindir de una fuente de alimentación externa.

2.1.3.3 Desarrollo de firmware

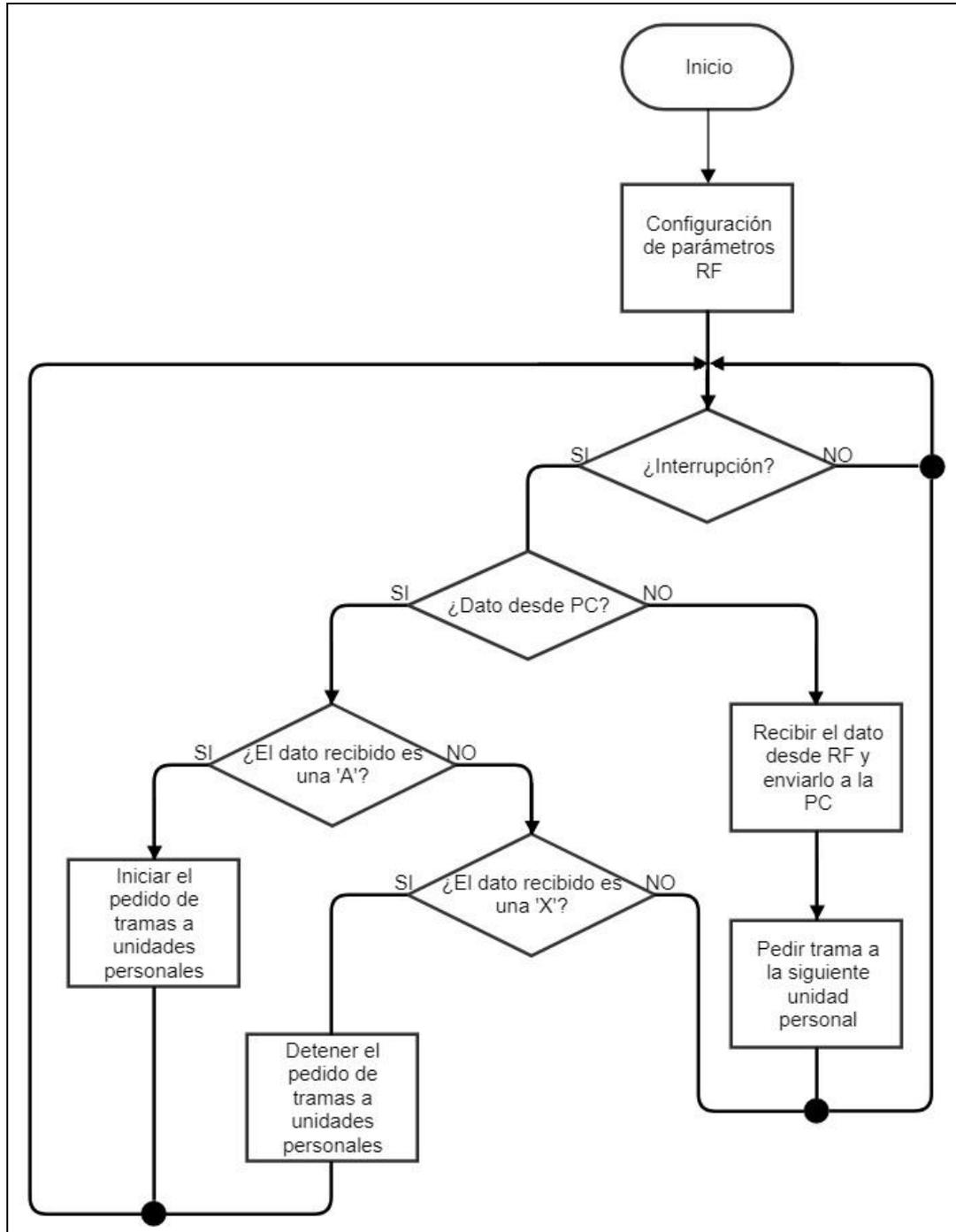


Diagrama 6. Firmware de la unidad central

En primera instancia se procede a la configuración del módulo transceptor por RF, dentro de las cuales se define como dirección de comunicación a la perteneciente a la unidad personal seteada con la primera de las direcciones posibles. Luego de esto, la unidad permanece a la espera de una interrupción debida a datos pendientes de lectura en el bus UART.

Al recibir un dato a través del módulo serial, el firmware analiza la información entrante. En caso de ser la orden de iniciar la comunicación entre unidades, se ejecuta el algoritmo encargado de gestionar el enlace con los distintos equipos.

En microcontrolador posee mapeado en memoria todas las direcciones de unidades personales posibles, resultando en un total de 11 valores. Al recibir la orden de recorrerlas, el programa setea secuencialmente las distintas direcciones posibles en el módulo RF, a fin de establecer la comunicación con todas las unidades personales. Luego de fijar cada dirección, se envía a través del módulo una petición de datos y se le indica a la etapa de RF que ingrese en modo recepción. Al recibir la trama de información de la unidad seleccionada, se procede a su retransmisión hacia el módulo USB.

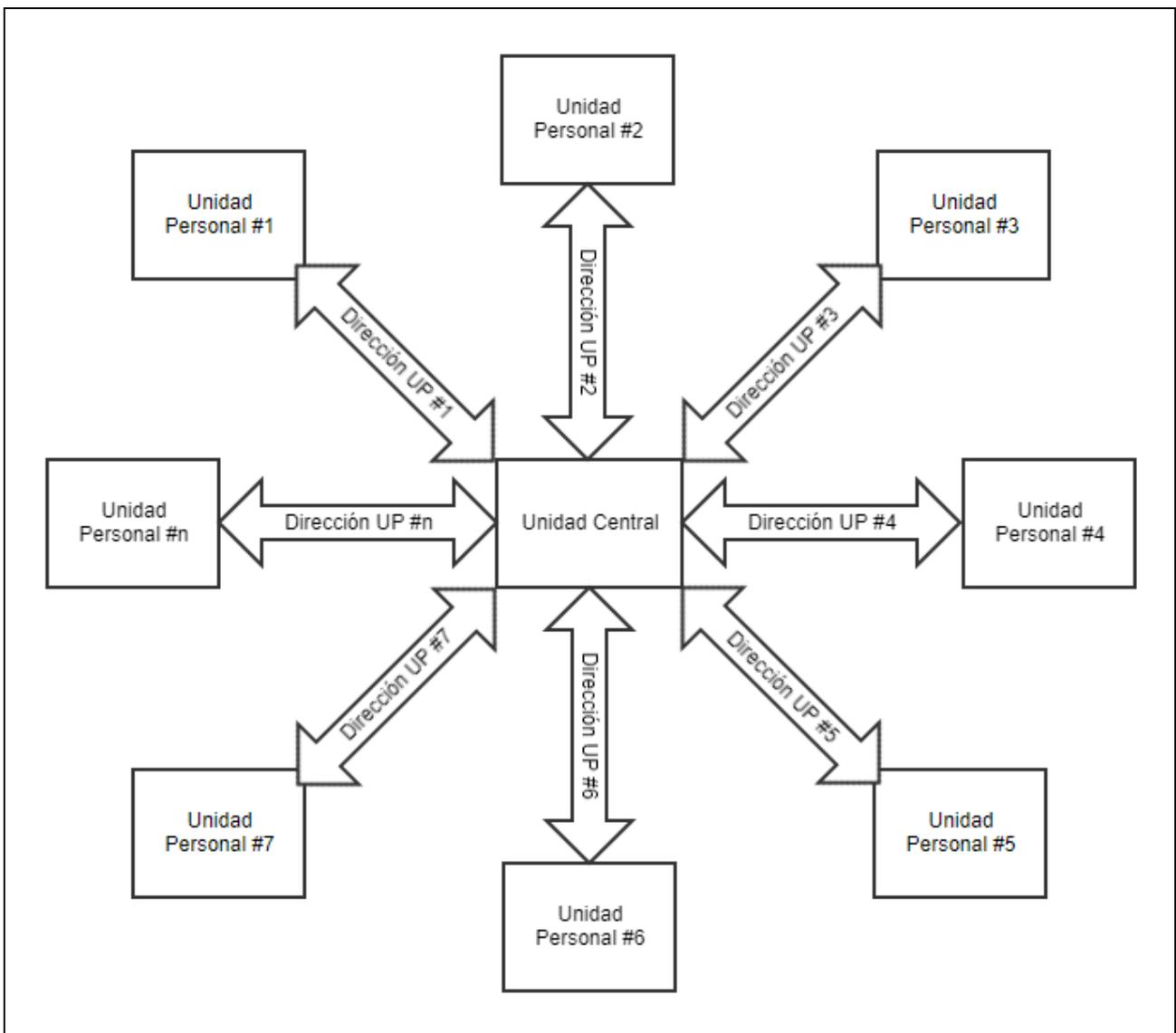


Diagrama 7. Topología de la red de unidades

En caso de existir un error debido a no poder establecer la comunicación con alguna de las unidades personales, el módulo RF se encarga de retransmitir la información durante 16 oportunidades. Si luego de esto el error persiste, el microcontrolador continúa con la

secuencia normal de funcionamiento ya que en la siguiente pasada se volverá a intentar establecer el enlace.

Si durante la recorrida de unidades personales se recibe la interrupción por un dato entrante a través del puerto UART, el firmware lo analiza y verifica si pertenece a la orden de terminar la transmisión de datos. En caso de serlo, se termina con la rutina de pedidos de información a las unidades personales, volviendo al estado de espera de una nueva orden de inicio. En caso de no ser esta instrucción, el microcontrolador descarta el dato leído y continua con su estado actual.

2.2 Software

2.2.1 Diagrama de bloques

La interfaz de usuario fue implementada en el entorno de desarrollo Qt Creator.

La aplicación se encarga del almacenamiento de la información recopilada por cada unidad personal dentro del campo de juego, asociándola al perfil de deportista correspondiente. Dicho almacenaje se realiza dentro de una base de datos creada para tal fin, donde contiene la información general de cada perfil, así como también los datos registrados durante todas las sesiones de entrenamiento. Una vez finalizado el entrenamiento, el usuario puede ingresar al perfil de cada deportista y visualizar la evolución temporal de su ritmo cardíaco y su velocidad, así como también las regiones de mayor presencia dentro del campo de juego y la sumatoria de tiempos en cada zona de entrenamiento.

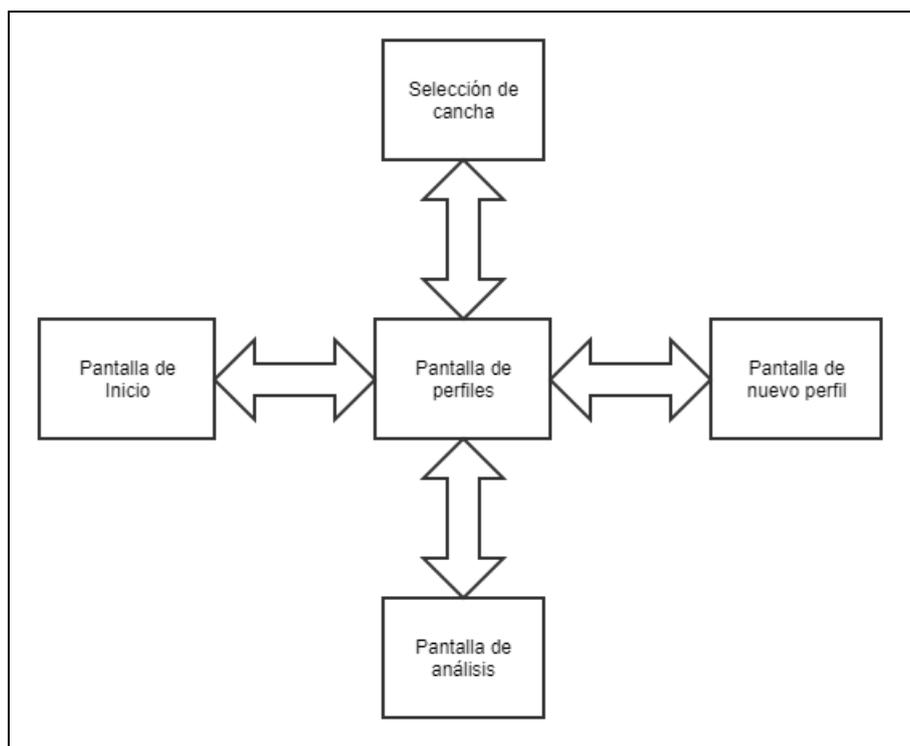


Diagrama 8. Diagrama de visualizaciones del software

El diseño cuenta con 5 pantallas principales mediante las que se permite el total manejo de la información, pudiendo visualizar los perfiles creados, añadir nuevos, seleccionar los lugares de entrenamiento y tener acceso a los datos almacenados, en forma de gráficos temporales y espaciales.

2.2.2 Interfaz de usuario

Al inicio del programa se muestra una pantalla de bienvenida, mediante la que se presenta el sistema y permite avanzar hacia la siguiente.

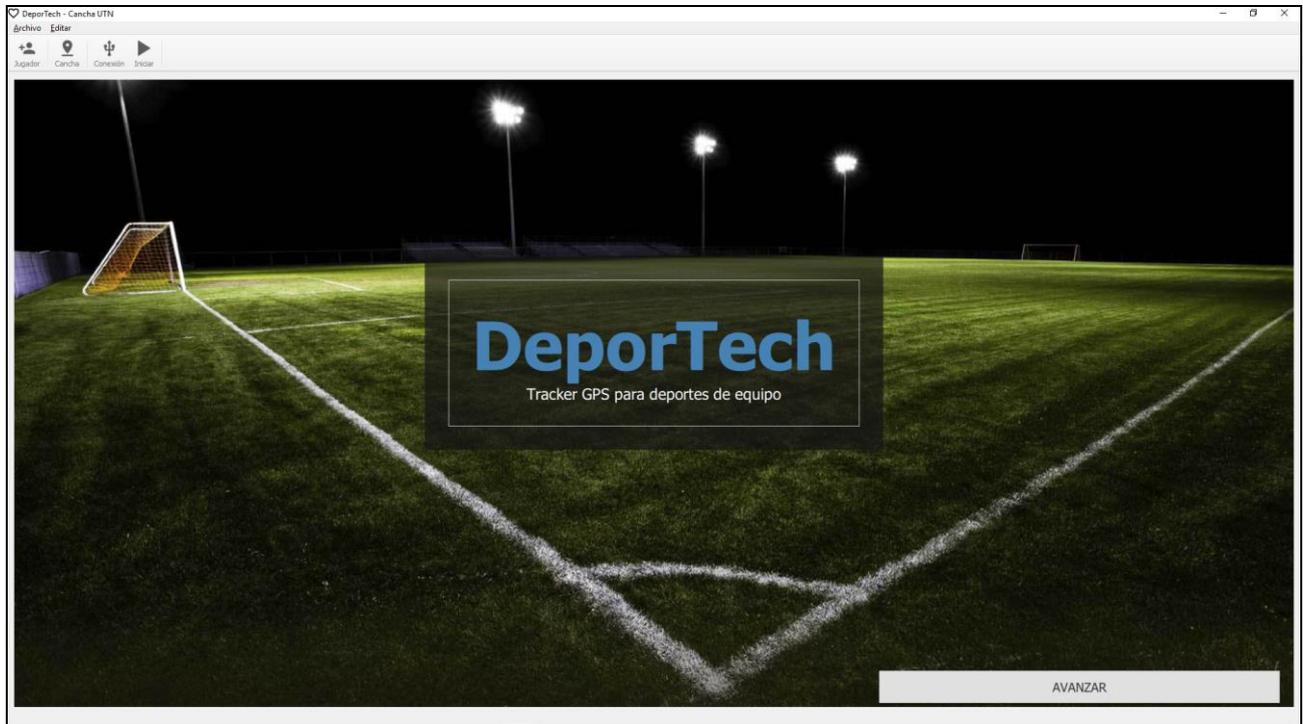


Figura 13. Pantalla de inicio del software de gestión

En la siguiente pantalla se muestran todos los perfiles creados en la base de datos. Esta es la vista principal del sistema, ya que es el punto inicial para su funcionamiento. En la parte superior se observa una barra de herramientas, dispuestas de manera tal que el usuario pueda seguir una secuencia para poder iniciarse en el manejo del software. Se ha considerado que los usuarios requieren el funcionamiento inmediato del sistema, sin tener que adentrarse demasiado en las opciones para su configuración.

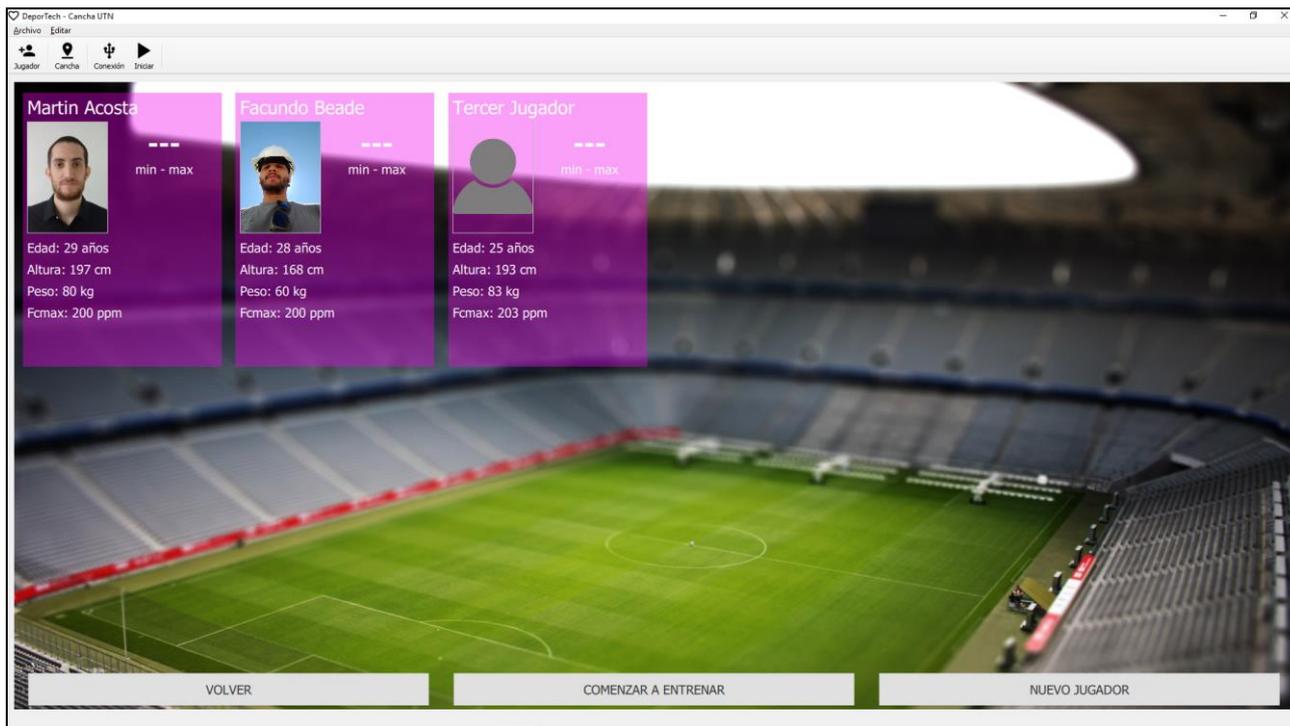


Figura 14. Pantalla de gestión de perfiles

La secuencia mínima de funcionamiento está definida de la siguiente manera: crear un perfil de deportista, seleccionar la locación del entrenamiento, seleccionar el puerto de comunicaciones asignado a la unidad central e iniciar el entrenamiento. Siguiendo estos pasos, el sistema comenzará la recopilación de datos de las unidades personales enlazadas.

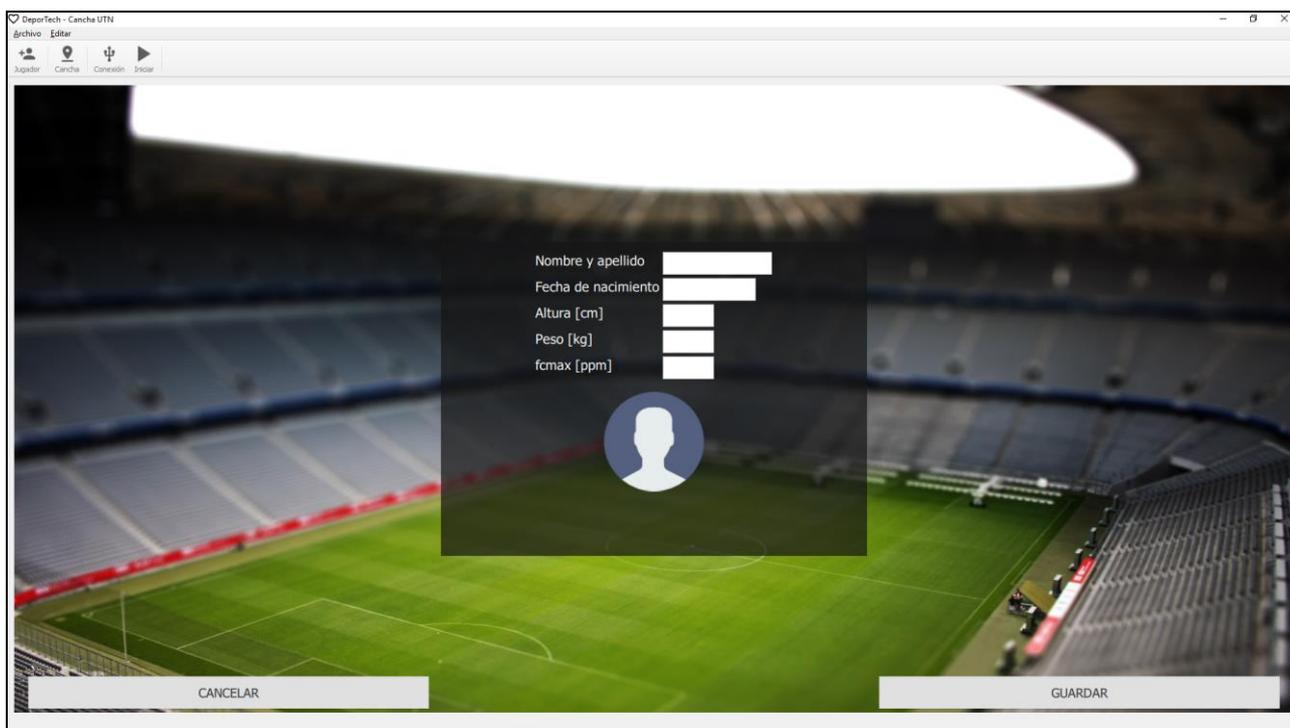


Figura 15. Pantalla de nuevos perfiles

Para la creación de un nuevo perfil se toman los datos principales del deportista, como ser el nombre, fecha de nacimiento, altura, peso y frecuencia cardíaca máxima. También se puede añadir una foto al mismo a fin de realizar un reconocimiento visual de cada uno. Al crear el perfil este se añade a la base de datos, creando una tabla dedicada para los datos que dicho perfil reciba de la unidad personal asignada al mismo. Una vez creado, el software regresa a la pantalla principal, apareciendo los datos del nuevo jugador en la grilla.

La selección del lugar de entrenamiento se realiza mediante un menú desplegable, el cual muestra una lista de estadios pre añadidos. Esta lista ordena los datos que existen dentro de un archivo de texto, el cual contiene los nombres y los cuatro pares de coordenadas pertenecientes a las cuatro esquinas de la cancha. Este archivo no es accesible por el usuario, y solo se utiliza para tal fin.

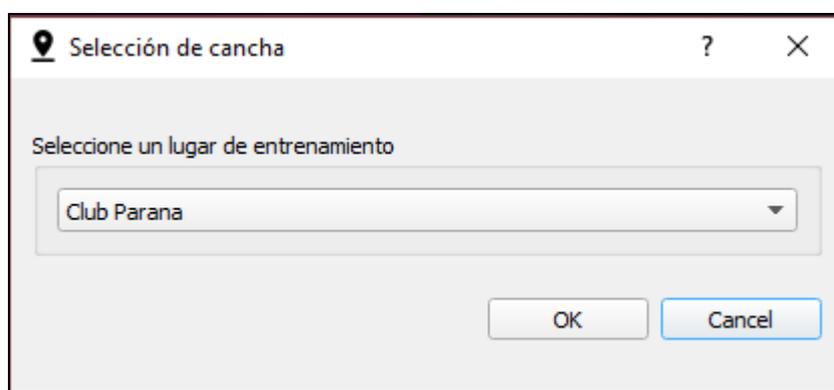


Figura 16. Ventana de selección de cancha

También es posible añadir una nueva locación, donde se permite al usuario seleccionar las 4 esquinas del campo de juego y asignarle un nombre al mismo. Las coordenadas se obtienen mediante el servicio Maps provisto por Bing (Microsoft), en donde el usuario deberá copiar las coordenadas límites de la cancha y automáticamente serán añadidas a la ventana de nueva locación.



Figura 17. Ventana de nueva cancha

El botón de configuración de la conexión visualiza una ventana en donde mediante un menú desplegable se enlistan todos los puertos COM disponibles en el sistema. Al conectar la unidad central con la computadora, esta última le asigna automáticamente un puerto COM. El usuario debe elegir dentro de la lista el puerto correspondiente a la unidad central, asignado por el sistema operativo. En caso de no aparecer, utilizando el botón de refresco se actualizan los elementos de dicha lista.

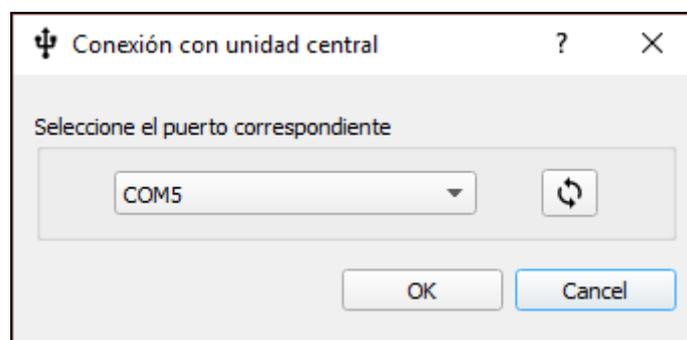


Figura 18. Ventana de selección de puerto

Luego de configurado el puerto de comunicaciones, el sistema se encuentra en condiciones de iniciar un entrenamiento. Al iniciarlo, en cada perfil aparece una serie de

tres datos, pertenecientes a las pulsaciones actuales tomadas por la unidad y las pulsaciones máximas y mínimas durante la sesión de entrenamiento. Así mismo, el software indica mediante la visualización de un corazón latiendo en cada perfil, el estado del enlace entre la unidad central y cada unidad personal. En caso de no ser visible, significa que se ha perdido la conexión y en caso de restaurarse vuelve a ser visible.

Una vez indicado el inicio del entrenamiento, se envía a la unidad central la orden para empezar a realizar las peticiones a todas las unidades personales dentro del radio de alcance. A medida que se recibe información a través del puerto destinado para el sistema, el algoritmo de recepción de datos analiza las tramas a fin de determinar si pertenece a un dato válido (coordenadas de GPS correctas). En caso de cumplirse, se segmenta la información separando lo correspondiente a identidad, latitud, longitud, velocidad y pulsación. Luego de esto se verifica de correspondencia entre dicha identidad y un perfil de destino. Si el dato pertenece a un perfil dentro de la base de datos, se almacena la trama completa en la misma. En caso de no existir el perfil correspondiente, se descarta la información y se procede a la recepción y análisis de la siguiente trama.

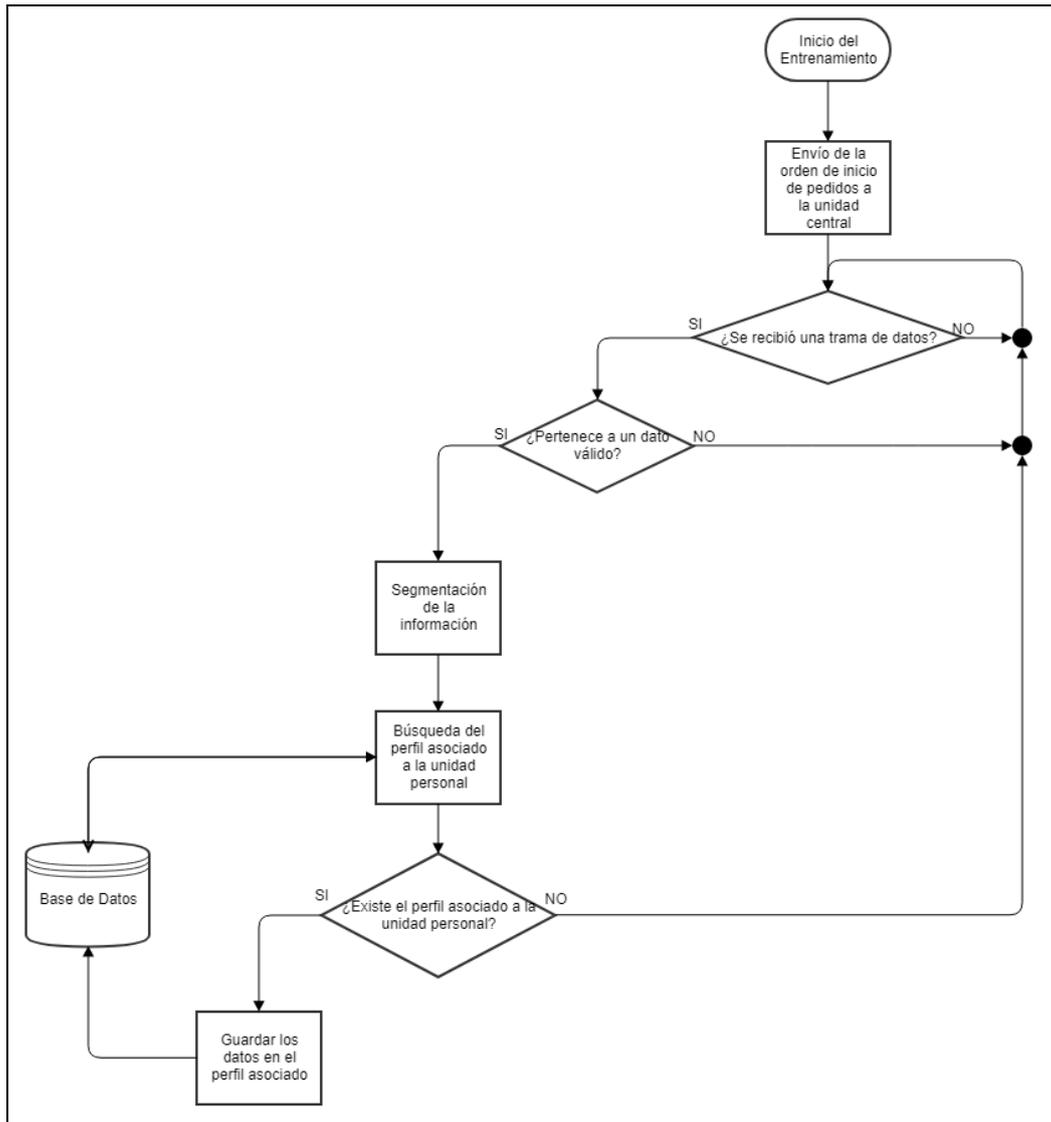


Diagrama 9. Rutina de almacenamiento de información

Al finalizar el entrenamiento, se detiene la recolección de datos. A partir de esto el usuario puede interactuar con la interfaz, y al ingresar a cada uno de los perfiles existentes en la base de datos se muestra una ventana de visualización.

La pantalla de visualización de datos permite la selección de la fecha de un entrenamiento en particular, de todos los existentes para el perfil elegido. Mediante un menú desplegable se muestran todas las fechas en que se tomaron datos para dicho perfil. Al elegir la deseada se muestra, mediante una serie de gráficos, la evolución de las variables sensadas a medida que avanza el tiempo de entrenamiento.

En primer lugar, se aprecia un gráfico temporal de pulsaciones y de velocidades alcanzadas. Dicho diagrama contiene 3 ejes, los cuales pertenecen al tiempo de entrenamiento (eje inferior), porcentaje de la frecuencia cardíaca máxima del deportista seleccionado (ubicado a la izquierda), y porcentaje de la velocidad máxima alcanzada durante la sesión de entrenamiento (ubicada a la derecha).

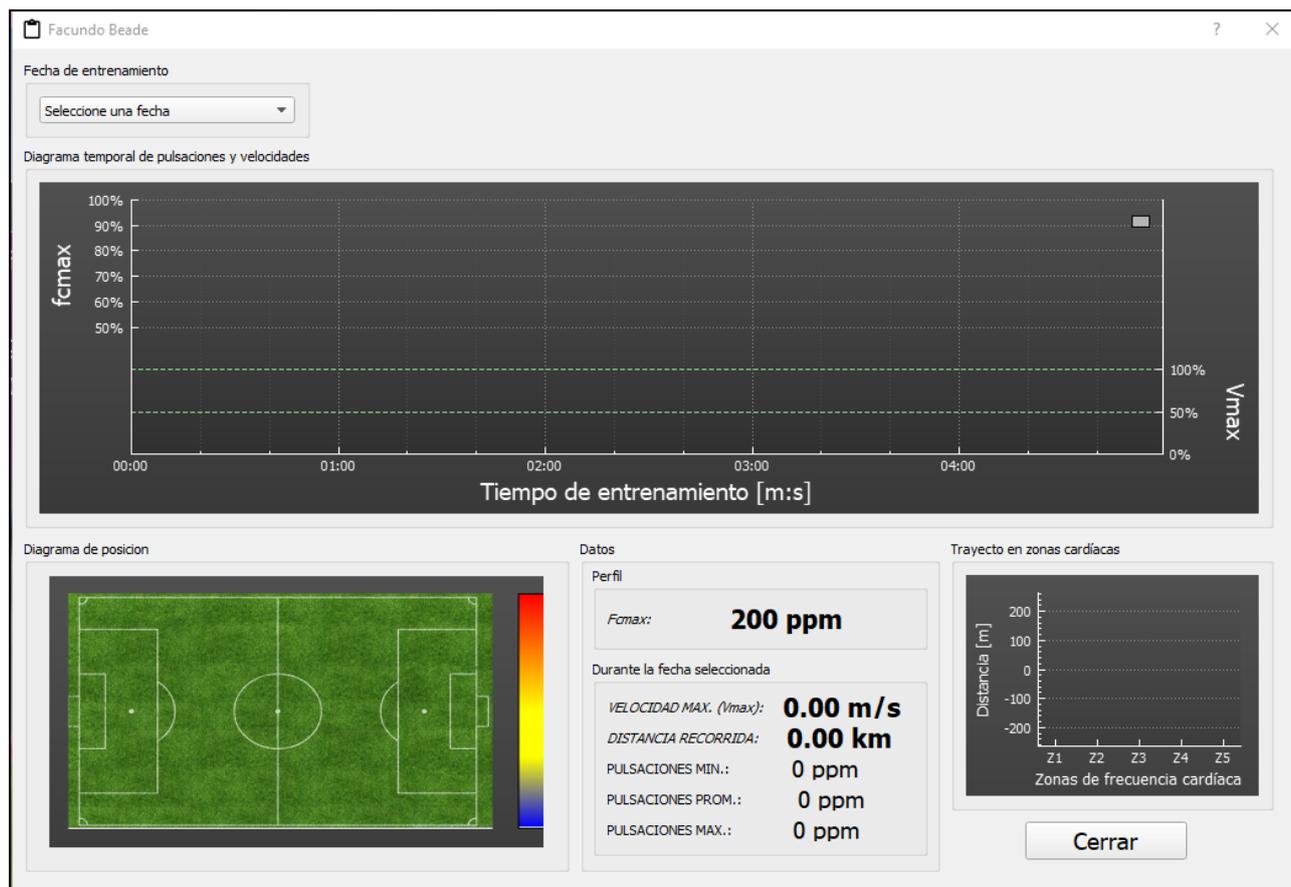


Figura 19. Ventana de visualización de datos

Este gráfico permite realizar ampliaciones sobre el eje temporal, permitiendo apreciar la variación de las pulsaciones y de las velocidades en rangos más acotados.

En la esquina inferior izquierda de la ventana se aprecia un diagrama de posiciones, en el cual se visualizan las coordenadas geográficas adquiridas mediante el módulo GPS de la unidad personal. Para poder mostrar las zonas con mayor densidad de puntos, se utiliza un diagrama de calor. De esta manera se pueden ver zonas de color rojo para grandes concentraciones de puntos, amarillas para zonas intermedias y azules para zonas donde la concentración es menor.

En la parte inferior central se muestra una serie de datos generales, donde se puede ver el valor de la frecuencia máxima perteneciente al perfil seleccionado, la velocidad máxima lograda por el deportista en el entrenamiento elegido, la distancia total recorrida, y el valor mínimo, promedio y máximo para las pulsaciones durante el transcurso de dicha práctica.

También se puede apreciar un último gráfico en la parte inferior derecha de la ventana, el cual pertenece a las distancias recorridas dentro de una de las 5 zonas de entrenamiento. Cada zona de estas corresponde a un rango de 10% de la frecuencia máxima del deportista, partiendo desde la zona 1 entre el 50% y el 60%, hasta la zona 5 entre el 90% y el 100%.

2.3 Pruebas de la aplicación

Como primera prueba, se planteó realizar un recorrido siguiendo las líneas perimetrales de una cancha de futbol, a ritmo de caminata.

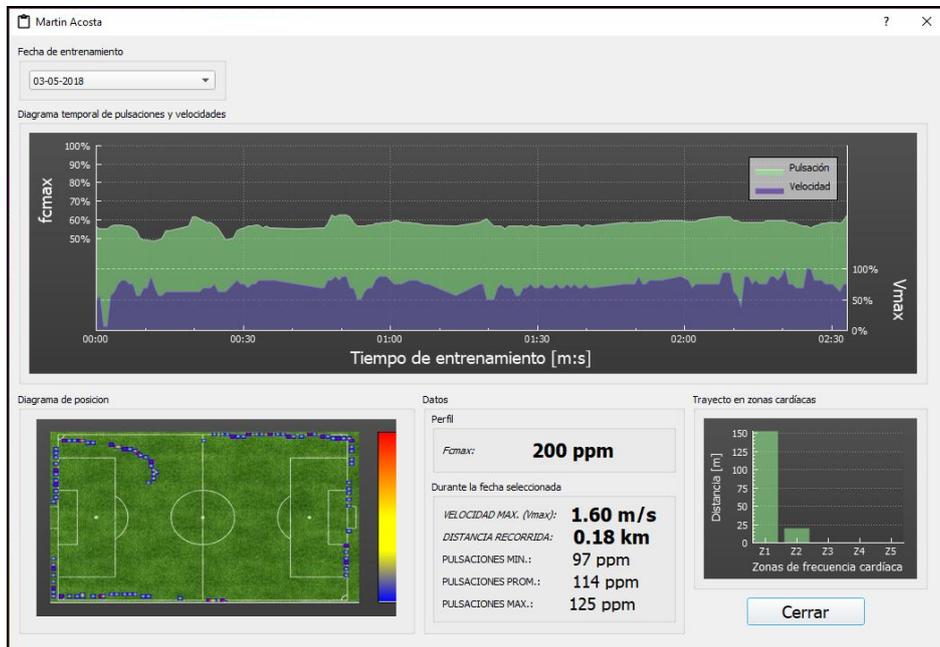


Figura 20. Datos de primera prueba

Se puede observar en el diagrama de posiciones la ausencia de algunos puntos. Mediante la cantidad de muestras almacenadas en la base de datos, la tasa de transferencia y el tiempo del recorrido, se estimó que esto fue producido debido a la dispersión inherente a la tecnología utilizada.

Como segunda prueba, se realizó un movimiento lineal a ritmo de trote lento.

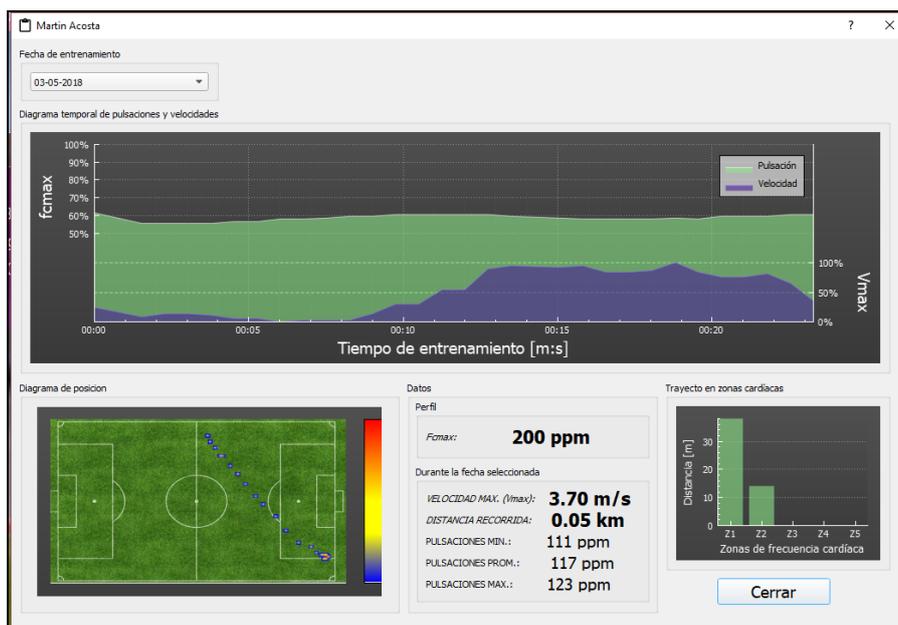


Figura 21. Datos de segunda prueba

En dicha prueba se verificó el correcto funcionamiento de la unidad a una velocidad media. Se puede apreciar mediante el gráfico de velocidad-tiempo el incremento de la velocidad en la trayectoria, así como también el mayor espaciamiento entre muestras de posición, mientras que las pulsaciones se mantuvieron estables en un valor cercano al 60% de la frecuencia cardíaca máxima.

Como tercera prueba se realizó una carrera corta a alta velocidad, buscando llevar el equipo hacia una condición extrema de entrenamiento.

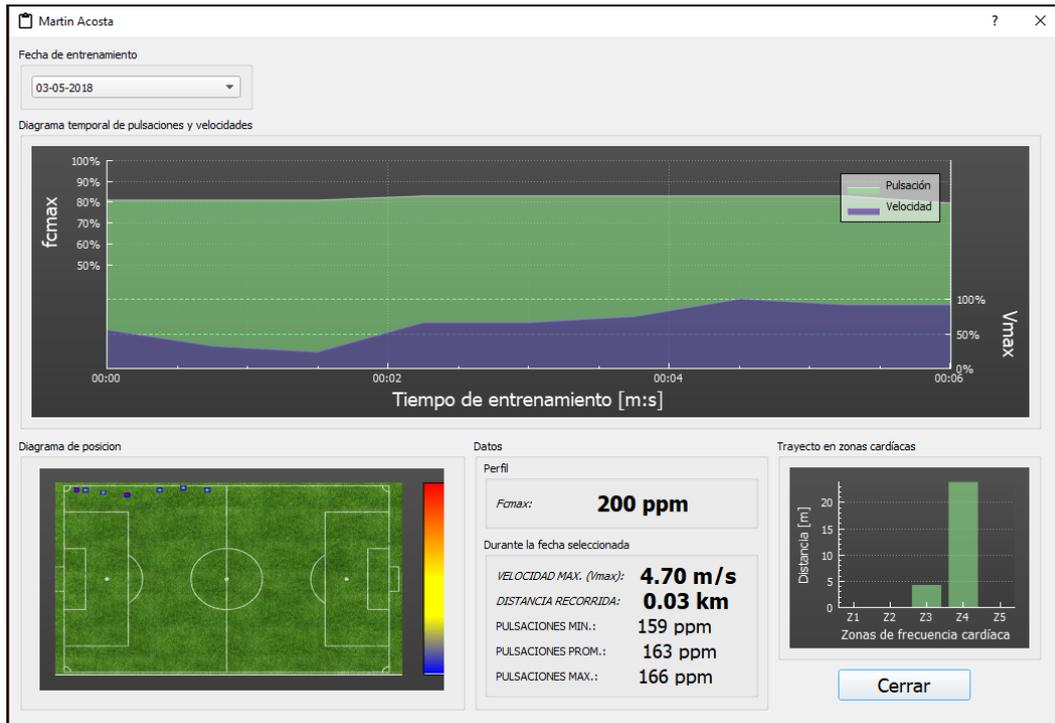


Figura 22. Datos de tercera prueba

Mediante esta prueba se verificó el correcto funcionamiento del equipo en ejercicios de alta intensidad. Se aprecia el aumento de la velocidad a lo largo de la trayectoria, al igual que las altas pulsaciones y la zona de entrenamiento alcanzada.

Como última prueba, se realizó un ejercicio de pases con una pelota de futbol dentro del perímetro de media cancha.

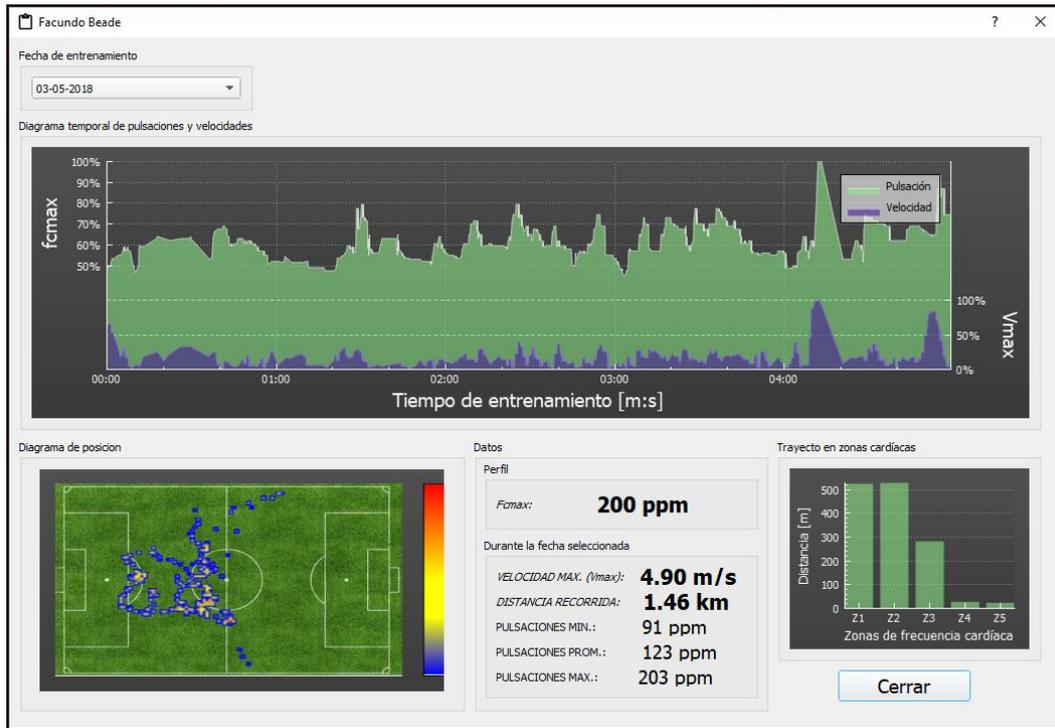


Figura 23. Datos de cuarta prueba

Luego de dicho ejercicio se pudo verificar el funcionamiento completo del sistema, en donde se aprecia la evolución de las variables. Se pueden observar los picos de pulsaciones producidos por los arranques rápidos y las detenciones abruptas, típicos de los entrenamientos y ejercicios físicos en toda clase de deporte.

2.4 Diseño completo (prototipo)

Los gabinetes de las unidades personales fueron diseñados considerando el objetivo de preservar su tamaño reducido. Dichos gabinetes son fijados al cuerpo del deportista mediante un chaleco que se ajusta al torso manteniendo la unidad en la parte superior de la espalda, asegurando el menor riesgo de impacto, así como también las mejores condiciones para la transmisión de datos dentro del campo de juego.

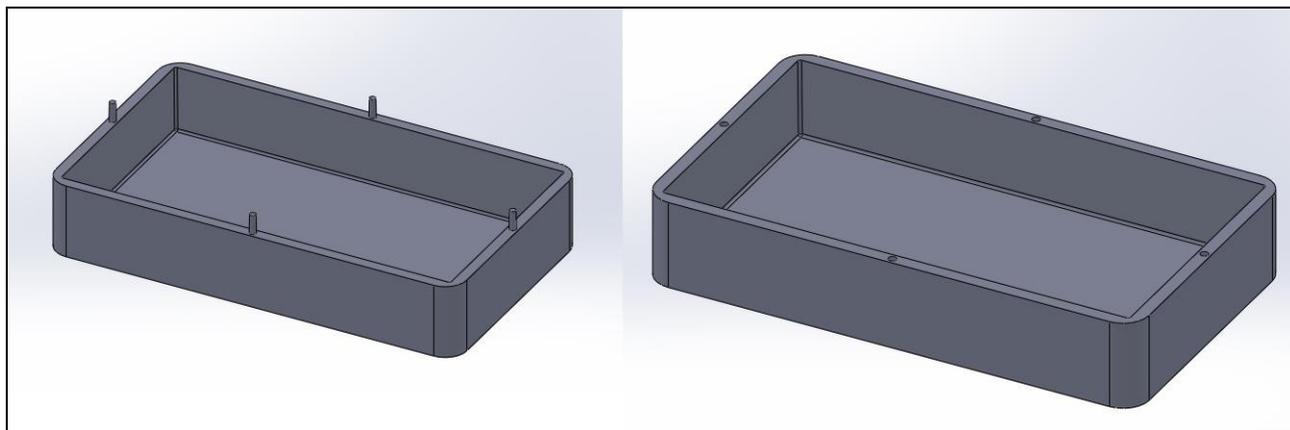


Figura 24. Diseño de gabinete de unidad personal

Mediante un led RGB visible sobre la tapa superior de la unidad, se comunica el estado del equipo. El código seguido para visualizar esta información está conformado por 3 estados, los cuales son:

Estado led	Mensaje
Azul intermitente	Equipo encendido
Verde intermitente	Enlace establecido con la unidad central
Rojo intermitente	Enlace establecido con GPS

Tabla 1. Código de colores para unidad personal

Dentro del gabinete se encuentran todos los componentes de la unidad personal, donde se dispuso sobre la cara superior la antena para recepción de datos provenientes del sistema de posicionamiento. La antena del módulo RF se encuentra dentro del mismo ya que su flexibilidad así lo permite, manteniendo los parámetros de transmisión y recepción.

La unidad central posee un gabinete diseñado para ser dispuesto sobre una superficie plana, del cual sobresale la antena de comunicación por radiofrecuencias.

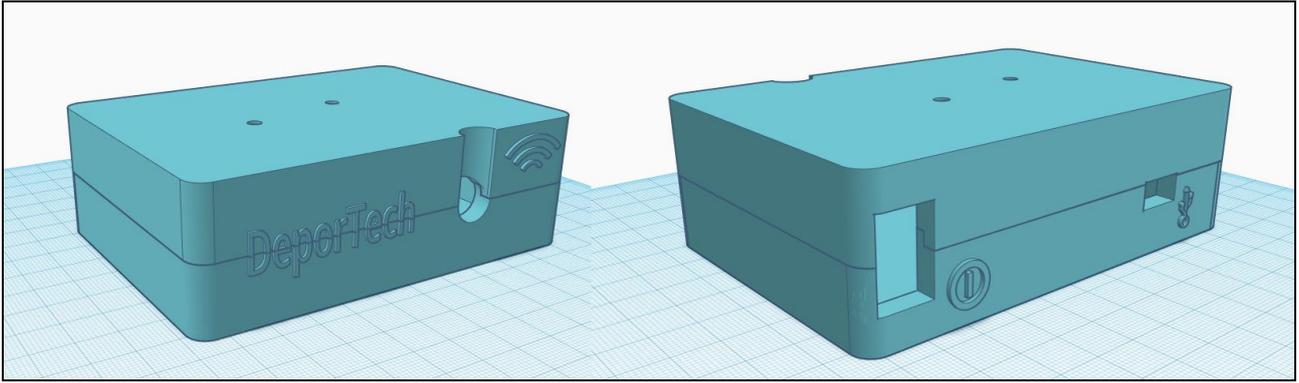


Figura 25. Diseño de gabinete de unidad central

En la cara superior se pueden apreciar 2 leds, mediante los que la unidad informa su estado de encendido, así como también el estado de las peticiones realizadas a las unidades personales. En la parte trasera se encuentra el switch de encendido, al igual que la ranura para su conexión mediante pin micro USB.

Capítulo 3: Resultados

El producto obtenido cumple con todos los objetivos planteados al inicio de este proyecto, utilizando tecnologías disponibles en el mercado y siendo capaz de obtener las variables necesarias para el fin propuesto.

Los enlaces de RF entre la unidad central y cada unidad personal funcionan correctamente dentro de un radio de 70 [m], donde la totalidad de paquetes transferidos contienen datos sin error, gracias a la gestión realizada por los módulos seleccionados. Las coordenadas de posicionamiento poseen una dispersión menor a 4 [m], resultando aceptable para su aplicación. La tasa de refresco de datos del módulo GPS resulta óptima para el fin formulado, aunque mediante dispositivos con tasas superiores se visualizarían de mejor manera los recorridos lineales a alta velocidad. El módulo elegido para la detección de pulsaciones resultó muy acertado, obteniendo señales de salida completamente limpias. A diferencia de los distintos métodos probados, el RMCM01 en conjunto con la banda pectoral T31 codificada resulta una combinación muy estable para su utilización en actividades deportivas, siendo inmune a las señales producidas por las contracciones musculares. Gracias a la tecnología Li-Ion la autonomía de los equipos portátiles resulta de larga duración, manteniendo reducidas las dimensiones físicas. El consumo de cada unidad personal es de 90 [mA], mientras que la unidad central tiene un consumo no mayor a 25 [mA]. Y debido a la protección brindada por el módulo de carga TP4056, se extiende la vida útil de la batería sin necesidad de apertura de la unidad para su reemplazo.

El funcionamiento del sistema resulta sencillo para los usuarios, facilitando las etapas de configuración antes de su puesta en marcha. Debido al diseño del software de gestión, pensado para el usuario, resulta intuitivo en su uso.

Capítulo 4: Análisis de Costos

Se realizó el siguiente análisis de costos para un sistema con una unidad central y 11 unidades personales.

Componente	Precio Unitario [\$]	Cantidad [Un.]	Precio Total [\$]
Regulador LM117	24	12	288
Módulo RMCM01	840	11	9240
Módulo Neo-6m	490	11	5390
Módulo nRF24L01+	165	12	1980
Módulo TP4056	69	11	759
Módulo CP2102	89	1	89
PIC16F18856	62	12	744
Batería Li-Ion 2[A/h]	60	11	660
Gabinete	130	12	1560
Fabricación de PCB	200	12	2400
Varios	50	12	600
Cargos por diseño	--	--	5000
TOTAL	--	--	28710

Tabla 2. Costos de fabricación

En el proyecto se invirtieron alrededor de 6 horas diarias, 5 días a la semana, en un período de 6 meses, dando un tiempo aproximado de 720 horas. Tomando como referencia el CIEER en su Unidad Arancelaria, Artículo 5 de la Resolución N°1285/2016, que establece un monto de \$160 por hora de trabajo, se tendría un total de \$115.200. Considerando que el presente proyecto fue desarrollado por dos personas, el costo de diseño será de \$230.400. El cual no se volverá a tener cuando se implemente nuevamente el sistema.

En los costos de fabricación de PCB se incluyó el costo de manufactura de estas por parte de una empresa dedicada a esto.

El precio de venta del sistema total incluyendo las 11 unidades personales, la unidad remota y el software de gestión será de \$50.000.

A partir de los datos anteriores, se puede encontrar la cantidad de sistemas que deben venderse para saldar el costo de diseño, la cual se encuentra obteniendo el cociente entre el costo de diseño y la ganancia por cada venta.

Al vender el 11° sistema se saldará el costo de diseño y cualquier venta posterior pasará a ser ganancia.

Capítulo 5: Discusión y Conclusión

El producto obtenido cumple con los objetivos del proyecto, logrando el desarrollo de una solución a la medida de los resultados esperados. La precisión de las mediciones realizadas es acorde a la aplicación de estas, permitiendo el adecuado análisis por parte de los usuarios.

A medida que avanza el siglo XXI, las tecnologías basadas en el Big Data se encuentran con mayor frecuencia. Actualmente es un hecho normal que la mayoría de las aplicaciones almacenen datos a partir de su uso, para extraer información sobre las actitudes y costumbres de los usuarios. En los deportes de alto rendimiento este volumen de información puede traducirse en una mirada detallada de las cuestiones que pueden pasar desapercibidos a simple vista, sirviendo de base para la toma de decisiones estratégicas. Mundialmente existen soluciones electrónicas que permiten la recopilación de información durante los ejercicios físicos, para su posterior análisis. Este tipo de dispositivos se caracteriza por su elevado costo, aunque los beneficios de utilizarlos se vuelven cada vez más visibles. Debido a esto se estableció como objetivo el diseño un sistema de adquisición y visualización de datos, de desarrollo nacional y menor costo que uno de origen norteamericano o europeo.

Si bien la tendencia en el diseño es la de utilizar métodos no invasivos en el cuerpo, se considera un buen inicio. A partir de esto se define un camino a seguir, fijando nuevas metas para lograr equiparar el abanico de opciones que brindan los sistemas más modernos. Mediante la inclusión de una mayor cantidad de variables a medir, se pretende ampliar la información disponible, así como también la inclusión de un software para plataformas móviles y la disponibilidad de los datos a través de la nube.

Capítulo 6: Literatura Citada

1. Efdeportes. (marzo de 2007). Monitorización del entrenamiento en deportes de equipo. Efdeportes. <http://www.efdeportes.com/efd106/monitorizacion-del-entrenamiento-en-deportes-de-equipo.htm>
2. Biolaster. (2004 - 2018). GPS y Deporte. Biolaster. <https://www.biolaster.com/rendimiento-deportivo/control-entrenamiento/gps-deporte/>
3. Revista Cabal. (septiembre de 2017). La tecnología en los entrenamientos de fútbol. Revista Cabal. <http://www.revistacabal.coop/deportes/la-tecnologia-en-los-entrenamientos-de-futbol>
4. Duchini, Alejandro. (septiembre de 2017). Big data, deportes y datos en tiempo real. El Gráfico. <http://www.elgrafico.com.ar/2017/10/16/C-28456-big-data-deportes-y-datos-en-tiempo-real.php>
5. Zimmermann, Horacio. (24 de mayo de 2015). Néstor Bonillo: "En Perú hay muchos jugadores subidos de peso". El Comercio. <https://elcomercio.pe/deporte-total/seleccion/nelstor-bonillo-peru-hay-jugadores-subidos-peso-366078>
6. D'enganche. (2016 – 2018). Tecnología, la mejor aliada de Ricardo Gareca. D'enganche. <http://denganche.com/futbol-peruano/seleccion-peruana/tecnologia-la-mejor-aliada-secreta-de-ricardo-gareca>
7. Da Silva, Joao Paulo. (23 de diciembre de 2015). La era del Big Data en el deporte. Expansión. <http://www.expansion.com/economia-digital/2015/12/23/567ad9aaca47417e6a8b45b8.html>
8. BBVA. (23 de febrero de 2018). ¿Qué hace el 'big data' en el mundo del deporte?. BBVA. <https://www.bbva.com/es/que-hace-el-big-data-en-el-mundo-del-deporte/>
9. Strogonovs, Raivis. (2015 – 2018). Implementing pulse oximeter using MAX30100. Morf Coding & Engineering. <https://morf.lv/implementing-pulse-oximeter-using-max30100>
10. Harden, Scott W. (2016 – 2018). DIY ECG with 1 op-amp. Sw Harden. <https://www.sw Harden.com/wp/2016-08-08-diy-ecg-with-1-op-amp/>
11. Moya, Pedro. (2016 – 2018). Fórmula de Karvonen: cómo calcular las zonas de pulsaciones. Palabra de Runner. <https://www.palabraderrunner.com/karvonen-calculat-zonas-de-pulsaciones/#las-distintas-zonas-de-frecuencia-cardiaca>
12. Álvarez, José C. Barbero. (8 de marzo de 2017). El uso de la tecnología GPS en los deportes de equipo. Mundo Geo. <http://mundogeo.com/es/blog/2007/03/08/articulo-el-uso-de-la-tecnologia-gps-en-los-deportes-de-eq>

