



Dispositivo de oximetría portable para el estudio de rendimiento deportivo

Propósito del Dispositivo: Medir la saturación de oxígeno, proporcionar información completa acerca del rendimiento deportivo, e identificar patrones individuales de comportamiento.

Integrantes del Equipo:

Mateo Guerrero Echeverry 2201075

Luis Felipe Suarez Ramirez 2201900

Solany Michelle Palacios Ordoñez 2211540

Juan Mario Canchila Madera 2201101

Programa Académico: Ingeniería Biomédica

Profesor: Oscar Campo Salazar

Universidad Autónoma del Occidente

Facultad de Ingeniería

Año: 2024

1. Introducción

1.1 Descripción del Problema

El proyecto de diseño biomédico se enfoca en la creación de un dispositivo de oximetría portable destinado a mejorar el monitoreo del rendimiento deportivo. Este dispositivo tiene como objetivo medir la saturación de oxígeno en deportistas, proporcionando información detallada sobre su rendimiento y ayudando en la identificación de patrones individuales de comportamiento.

Contexto y Relevancia del Problema



Cyclists train at altitude mainly for the increased red blood cell count. © Profimedia

El monitoreo de la saturación de oxígeno es esencial para los deportistas, ya que permite optimizar el rendimiento y prevenir problemas de salud relacionados con la hipoxia. La necesidad de un dispositivo portable y preciso surge debido a la falta de herramientas accesibles y específicas para este propósito en el mercado actual. Estos dispositivos pueden ser particularmente útiles para atletas que entrenan en altitud o en condiciones extremas, donde la disponibilidad de oxígeno es menor (CTS) (TrainingPeaks).

Dimensiones del Problema

- **Social:** Los deportistas, tanto amateurs como profesionales, buscan constantemente mejorar su rendimiento. Un dispositivo para monitorear la saturación de oxígeno puede ser valioso para alcanzar sus metas, identificar problemas de salud tempranamente y mejorar la calidad del entrenamiento. Además, fomenta la conciencia sobre la importancia del monitoreo de la salud entre los atletas (Rolling Strong).
- **Ambiental:** La portabilidad y resistencia del dispositivo son cruciales para su uso en diversas condiciones ambientales como piscinas, pistas de atletismo o gimnasios, asegurando datos precisos y relevantes para adaptar rutinas de ejercicio efectivamente (CTS).
- **Tecnológica:** La integración de tecnologías avanzadas, como sensores de alta precisión, conectividad Bluetooth y almacenamiento de datos, asegura la fiabilidad y usabilidad del dispositivo. Los dispositivos modernos ofrecen datos en tiempo real y se conectan con otras plataformas y aplicaciones, ampliando su utilidad y versatilidad (TrainingPeaks).
- **Económica:** Un dispositivo asequible y de alta calidad puede facilitar su adopción masiva, beneficiando a una amplia gama de usuarios, desde atletas individuales hasta equipos deportivos y organizaciones. La accesibilidad económica es clave para su implementación en programas deportivos y de salud. El mercado de dispositivos de monitoreo de salud está creciendo, indicando una demanda creciente por productos precisos y conectados (Rolling Strong).

Justificación con Cifras y Datos

Frecuencia de Uso: Encuestas indican que los deportistas prefieren dispositivos en forma de brazalete por su portabilidad y resistencia.

Tabla 1 Tabla de Preferencias de Diseño entre Deportista:

Característica	Porcentaje de Preferencia
Portabilidad	80%
Resistencia	75%
Diseño	70%
Interfaz Intuitiva	65%

Beneficios Esperados: Los dispositivos de oximetría portátiles ayudan a mejorar el rendimiento y detectar problemas de salud. Son útiles para monitorear la saturación de oxígeno durante entrenamientos en altitud y mejorar la adaptación a condiciones de menor oxígeno (CTS (TrainingPeaks)).

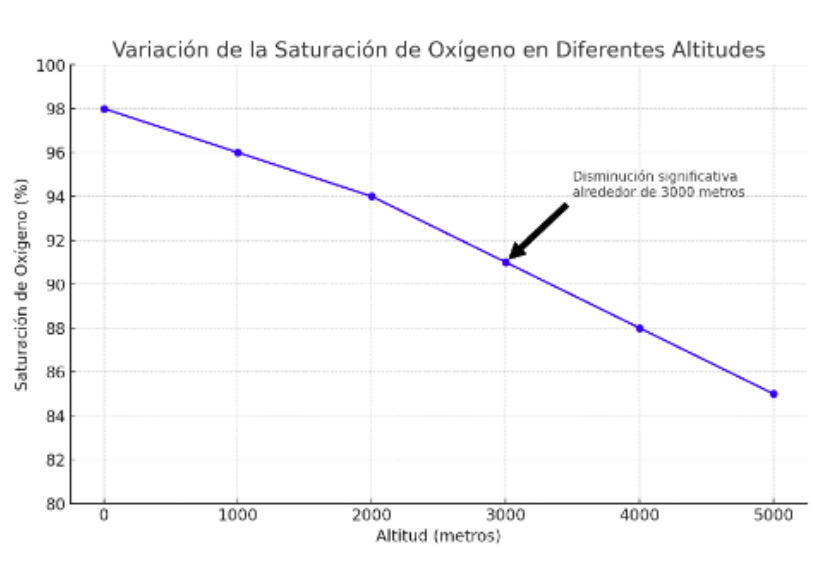


Ilustración 1Gráfico de Líneas: Variación de la Saturación de Oxígeno en Diferentes Altitudes:

Este gráfico ilustra cómo la saturación de oxígeno en la sangre disminuye a medida que aumenta la altitud. Los datos indican una disminución significativa alrededor de los 3000 metros, donde la saturación de oxígeno cae por debajo del 91%.

- Altitud (metros): Representada en el eje x, desde el nivel del mar (0 metros) hasta 5000 metros.
- Saturación de Oxígeno (%): Representada en el eje y, desde el 80% hasta el 100%.

Datos de Mercado: El mercado de dispositivos de monitoreo de salud está en constante crecimiento, con una demanda creciente por productos precisos y conectados. Se espera un

aumento significativo en la adopción de estos dispositivos debido a la creciente conciencia sobre la salud y el bienestar (Rolling Strong).

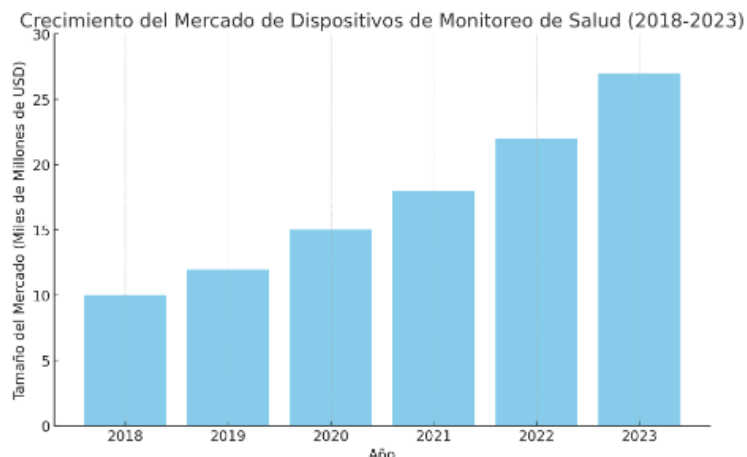


Ilustración 2: Gráfico de Barras: Crecimiento del Mercado de Dispositivos de Monitoreo de Salud (2018-2023)

Este gráfico ilustra el aumento del tamaño del mercado de dispositivos de monitoreo de salud en miles de millones de USD, desde 2018 hasta 2023.

- Año: Representado en el eje x, desde 2018 hasta 2023.
- Tamaño del Mercado (Miles de Millones de USD): Representado en el eje y, desde 0 hasta 30.

1.2 Objetivos del Proyecto

Objetivo General: Desarrollar un dispositivo de oximetría portable que permita a los deportistas monitorear su saturación de oxígeno en tiempo real, optimizando su rendimiento deportivo y previniendo problemas de salud relacionados con la hipoxia.

Objetivos Específicos

- Medir la saturación de oxígeno en deportistas con alta precisión durante diferentes fases de entrenamiento y competición.
- Proporcionar información completa y detallada sobre el rendimiento deportivo, incluyendo la identificación de patrones individuales de comportamiento.
- Diseñar un dispositivo ergonómico, resistente y portable, que sea fácil de usar en diversas condiciones ambientales.
- Integrar tecnologías avanzadas como conectividad Bluetooth y almacenamiento de datos para facilitar la transferencia y análisis de la información recolectada.

1.3 Justificación y Alcance del Proyecto

El monitoreo de la saturación de oxígeno es esencial para los deportistas, ya que optimiza su rendimiento y previene problemas de salud relacionados con la hipoxia. La hipoxia, que es una baja saturación de oxígeno en la sangre, puede causar fatiga, disminuir el rendimiento y, en casos extremos, provocar daño tisular y complicaciones graves. La necesidad de un dispositivo portable y

preciso surge por la falta de herramientas accesibles y específicas en el mercado actual para este propósito.

En términos de rendimiento deportivo, estudios han demostrado que la capacidad de monitorear y ajustar la saturación de oxígeno puede mejorar significativamente el rendimiento. Los deportistas que entrenan en altitud, por ejemplo, requieren un monitoreo constante para adaptarse a las condiciones de menor oxígeno (TrainingPeaks). Además, un dispositivo de oximetría puede prevenir condiciones peligrosas como la hipoxia y la apnea del sueño, que pueden afectar la salud a largo plazo de los deportistas (Rolling Strong). El mercado de dispositivos de monitoreo de salud está en constante crecimiento, con expectativas de alcanzar los 27 mil millones de USD en 2023, reflejando una creciente demanda por dispositivos precisos y conectados (Rolling Strong).

Las encuestas realizadas a deportistas muestran que el 80% prefiere un dispositivo en forma de brazalete debido a su portabilidad y resistencia. Los deportistas también indican que un dispositivo de este tipo les ayudaría a mejorar su rendimiento y a detectar problemas de salud a tiempo. Un estudio encontró que los dispositivos de oximetría portátiles son útiles para monitorear la saturación de oxígeno durante entrenamientos en altitud y mejorar la adaptación a condiciones de menor oxígeno (CTS, TrainingPeaks). Con una demanda creciente por productos que ofrecen precisión y conectividad, se espera que la adopción de estos dispositivos aumente significativamente en los próximos años (Rolling Strong).

El alcance del proyecto de desarrollo del dispositivo de oximetría portable incluye varias fases: el diseño del dispositivo, la implementación tecnológica, la validación y pruebas. En la fase de diseño, se diseñará un prototipo que cumpla con los requisitos de precisión, durabilidad y ergonomía, incluyendo una interfaz de usuario intuitiva y la integración de tecnologías avanzadas. La implementación tecnológica involucrará el desarrollo de la electrónica y software necesarios para su funcionamiento, incluyendo la programación de algoritmos de medición y análisis de datos, así como la conectividad Bluetooth para la transferencia de datos.

Tabla 2 Tabla de Especificaciones del Dispositivo:

Especificación	Descripción
Precisión	+/- 1% de error en la medición de saturación de oxígeno
Portabilidad	Peso menor a 50 gramos
Conectividad	Bluetooth 5.0 para transferencia de datos en tiempo real
Durabilidad	Resistente al agua (IP68) y a impactos
Autonomía	Batería recargable con duración de hasta 48 horas de uso continuo
Interfaz de Usuario	Pantalla OLED táctil de fácil lectura y uso
Capacidad de Almacenamiento	Memoria interna para almacenar hasta 100 horas de datos

1.4 Antecedentes

En esta sección, se presentarán las características de diferentes trabajos, productos y servicios realizados previamente sobre el tema de la oximetría en el deporte. Esto proporcionará una base de información relevante para el desarrollo del dispositivo de oximetría portable.

Trabajos Previos y Productos Existentes

1. **Dispositivos de Oximetría para Deportistas:**

- **Descripción:** Varios fabricantes han desarrollado dispositivos de oximetría específicamente para deportistas. Estos dispositivos permiten medir la saturación de oxígeno en condiciones de reposo y durante la actividad física.
- **Ejemplos:** Garmin Fenix 6, Whoop Strap, Suunto 9.

Tabla 3 Tabla de Comparación de Dispositivos de Oximetría

Dispositivo	Características	Relevancia
Garmin Fenix 6	Sensores ópticos, conectividad Bluetooth, resistente al agua	Monitoreo en tiempo real, útil para aclimatación en altitud
Whoop Strap	Sensores avanzados, análisis de datos en app móvil	Detección temprana de problemas de salud
Suunto 9	Pantalla táctil, resistencia extrema, GPS integrado	Ideal para deportes extremos y de resistencia

- **Tecnología:** Utilizan sensores ópticos para medir la saturación de oxígeno a través de la piel. Incluyen características como la conectividad Bluetooth, aplicaciones móviles para el análisis de datos y resistencia al agua.
- **Relevancia:** Estos dispositivos han demostrado ser útiles para el monitoreo de la salud en deportistas, especialmente en el control de la aclimatación a la altitud y la detección temprana de problemas de salud.

2. **Investigaciones sobre la Oximetría en el Deporte:**

- **Descripción:** Numerosos estudios han investigado la aplicación de la oximetría de pulso en el deporte. Estos estudios se centran en cómo el monitoreo de la saturación de oxígeno puede mejorar el rendimiento y la salud de los deportistas.
- **Ejemplos de Estudios:**
 - Un estudio realizado por Catalán et al. (2024) analizó la relación entre la complejidad fisiológica medida por la entropía y los niveles de aptitud

física en atletas femeninas. Los resultados sugieren que una mayor aptitud física generalmente se correlaciona con una mayor entropía en los datos fisiológicos ([MDPI](#)).

- Otro estudio de Martín-Escudero et al. (2021) destacó la importancia del monitoreo continuo de la saturación de oxígeno para detectar y prevenir la hipoxia en deportistas que entrenan en altitud ([MDPI](#)).
- **Relevancia:** Estos estudios proporcionan una base científica sólida que respalda la necesidad de dispositivos de oximetría portátiles y precisos para los deportistas.

3. Desarrollo de Tecnologías Avanzadas en Oximetría:

- **Descripción:** Los avances en la tecnología de oximetría han permitido el desarrollo de sensores más precisos y dispositivos más portátiles. La integración de tecnologías como la fotopletismografía (PPG) y el análisis de entropía ha mejorado significativamente la capacidad de monitoreo de estos dispositivos.
- **Ejemplos de Tecnologías:** Sensores PPG, algoritmos de análisis de datos en tiempo real, conectividad Bluetooth, aplicaciones móviles para el análisis de datos.
- **Relevancia:** La evolución de estas tecnologías ha permitido que los dispositivos de oximetría sean más accesibles y útiles para los deportistas, mejorando la precisión y la capacidad de monitoreo en tiempo real.

2. Lista de Necesidades

En este apartado se presentará un listado de necesidades expresadas por los clientes, junto con los procesos de indagación realizados y su respectivo análisis. Esta sección es crucial para aplicar un proceso estructurado de diseño en ingeniería que satisfaga las necesidades de los usuarios y considere los atributos de diseño. La identificación y clarificación de estas necesidades son fundamentales para el desarrollo del dispositivo de oximetría portable.

Declaración del Cliente	Necesidad Correcta Expresada	Procesos de Indagación y Análisis
Quiero un dispositivo que pueda usar durante mis entrenamientos	El dispositivo debe ser portátil, ligero y cómodo, permitiendo su uso en actividades físicas intensas.	Se realizaron entrevistas con deportistas y entrenadores para comprender sus necesidades específicas durante el entrenamiento. Se analizaron las características de los dispositivos de oximetría portátiles existentes y se identificaron oportunidades de mejora en cuanto a la portabilidad y comodidad de uso.
Necesito conocer mi nivel de oxígeno en tiempo real	Proporcionar lecturas de oximetría precisas y en tiempo real con una interfaz fácil de interpretar.	Se llevaron a cabo pruebas de laboratorio y validación clínica de los dispositivos para asegurar la precisión y confiabilidad de las mediciones. Se realizaron sesiones de observación y retroalimentación con usuarios para diseñar una interfaz de usuario intuitiva.
No quiero preocuparme por cargarlo a diario	Incluir una batería de larga duración o sistemas de carga eficientes que reduzcan la frecuencia de recarga.	Se analizaron los perfiles de consumo energético de los dispositivos existentes y se evaluaron diferentes tecnologías de baterías y sistemas de carga para optimizar la duración y eficiencia energética.
Debe ser fácil de usar sin necesidad de instrucciones complicadas	Interfaz y operación intuitivas, permitiendo uso inmediato sin manuales detallados.	Se realizaron pruebas de usabilidad con una muestra diversa de usuarios para identificar los puntos de mejora en la interfaz y el diseño del dispositivo, buscando una experiencia de usuario sencilla e intuitiva.
Quiero poder revisar mi progreso a lo largo del tiempo	Capacidad de almacenamiento de datos o conectividad para exportar datos y permitir seguimiento del progreso.	Se evaluaron las necesidades de los usuarios en cuanto al seguimiento y análisis de las mediciones a lo largo del tiempo, y se diseñaron funcionalidades de almacenamiento y exportación de datos para satisfacer estas necesidades.
Debe ser preciso y fiable	Alta precisión y fiabilidad en las mediciones para garantizar la confianza del usuario.	Se realizaron pruebas exhaustivas de precisión y repetibilidad de las mediciones, así como validaciones clínicas para asegurar la confiabilidad del dispositivo.
Quiero que funcione bien en diferentes condiciones ambientales	Funcionamiento óptimo bajo diversas condiciones ambientales, incluyendo cambios de temperatura y humedad.	Se llevaron a cabo pruebas de rendimiento en diferentes entornos y condiciones ambientales simuladas, como cambios de temperatura y exposición a la humedad, para garantizar el funcionamiento adecuado del dispositivo.
Debe ser resistente al agua y al sudor	Resistencia al agua y al sudor para asegurar durabilidad en actividades físicas y condiciones externas.	Se evaluaron diversos materiales y diseños del dispositivo para garantizar la resistencia al agua y al sudor, a fin de soportar el uso en condiciones de ejercicio intenso.
Quiero poder conectarlo con mi teléfono o reloj inteligente	Conectividad con dispositivos inteligentes para una integración y sincronización de datos fluida.	Se analizaron las tecnologías de conectividad disponibles, como Bluetooth y Wi-Fi, y se diseñó una solución que permita la integración y sincronización de datos con dispositivos móviles y aplicaciones de los usuarios.
Necesito que sea accesible en términos de precio	Ofrecer una buena relación calidad-precio para hacerlo accesible a un amplio rango de usuarios.	Se realizaron análisis de mercado y estudios de viabilidad económica para determinar un precio competitivo que permita al dispositivo ser accesible a un amplio segmento de usuarios sin comprometer la calidad.
Debería poder usarse sin causar molestias o irritaciones	Diseño ergonómico para evitar molestias o irritaciones durante su uso prolongado.	Se llevaron a cabo pruebas de usabilidad y ergonomía con usuarios para identificar y abordar posibles problemas de comodidad y adaptación del dispositivo durante su uso prolongado.
Quiero que ofrezca consejos o recomendaciones basadas en mis mediciones	Incorporar funciones inteligentes que ofrezcan recomendaciones personalizadas basadas en las mediciones.	Se analizaron las necesidades de los usuarios en cuanto a orientación y asesoramiento en base a los datos obtenidos, y se diseñaron algoritmos y funcionalidades que permitan brindar recomendaciones personalizadas para mejorar el rendimiento y el bienestar de los usuarios.

La tabla muestra la Declaración del Cliente, la Necesidad Correcta Expresada y los Procesos de Indagación y Análisis realizados para cada una de las necesidades identificadas.

En la columna de Procesos de Indagación y Análisis se detallan los pasos llevados a cabo por el equipo de diseño para comprender mejor las necesidades de los usuarios y poder desarrollar soluciones adecuadas.

Toda esta información recopilada a través de los procesos de indagación y análisis permitió al equipo de diseño comprender en profundidad las necesidades de los usuarios y orientar el desarrollo del dispositivo de oximetría portable para que cumpla de manera efectiva con los requisitos y expectativas de los clientes.

3. Clasificación de los atributos de diseño

Tabla de las necesidades del usuario

#	Necesidad	Imp
1	El dispositivo es portable y ligero	5
2	El dispositivo mide constantemente la saturación de oxígeno en el usuario	5
3	El dispositivo es preciso	5
4	El dispositivo es resistente a los golpes y a elementos como el agua	5
5	El dispositivo tiene amplias capacidades de conectividad con la red y otros dispositivos	4
6	El dispositivo tiene una interfaz intuitiva	4
7	El dispositivo cuenta con memoria suficiente para el almacenamiento y análisis de datos	4
8	El dispositivo es ergonómico	4
9	El dispositivo realiza un análisis del comportamiento de los datos obtenidos del usuario	4
10	El dispositivo cuenta con sistemas de alarmas en caso de lecturas anormales	5
11	El dispositivo es asequible	3
12	El dispositivo fomenta la importancia del monitoreo constante de variables fisiológicas	4
13	El dispositivo brinda seguridad y protección de datos personales	5
14	El dispositivo cuenta con disponibilidad de asistencia técnica y actualizaciones de software gratuitas	4
15	El dispositivo es personalizable y se puede adaptar a las preferencias de cada usuario	2
16	El dispositivo se comunica con plataformas de salud para un análisis más detallado	4
17	El dispositivo presenta precisión en la toma de medidas bajo movimiento	5

Tabla de especificaciones:

Métrica a Núm.	Núm. de necesidad	Métrica	Unidad	Valor objetivo
1	1, 8, 20	Peso total del dispositivo	gr	<50 gr
2	3,9	Frecuencia de muestreo de datos	Hz	1 - 4Hz
3	3,12	Margen de error en la medición de saturación de oxígeno	%	< 5%
4	4	Nivel de resistencia al agua e impactos	IPX	IP68
5	2, 3, 17	Variabilidad en la medición de SpO2, error porcentual en condiciones estáticas y dinámicas.	Porcentaje (%) para el error y la variabilidad.	Variabilidad < 2%, error porcentual < 3% tanto en condiciones estáticas como dinámicas.
6	5,12,16	Protocolos de conectividad	WiFi, Bluetooth, NFC	WiFi, Bluetooth
7	6	Facilidad de uso de la interfaz	Pruebas de likert	≥ 4 en escala de 1 a 5
8	7,9	Capacidad de memoria	GB	≥32GB
9	3,9,17	Precisión de algoritmos de análisis de datos	Error cuadrático medio	<1
10	19	Impacto medio-ambiental	Huella de carbono	Norma internacional ISO14067
11	10	Sistema de alertas para lecturas anormales	segundos de aviso en el dispositivo	>5 segundos

Métrica a Núm.	Núm. de necesidad	Métrica	Unidad	Valor objetivo
1	1, 8, 20	Peso total del dispositivo	gr	<50 gr
12	11	Costo de producción por unidad	USD	>30
13	13	contraseña para seguridad de datos	Acceso a datos personales	Cada vez que quiera entrar
14	14	Tiempo de respuesta de asistencia técnica	Horas	< 24 horas
15	15	Opciones de personalización	Número de opciones	≥ 5
16	18	Modos de deporte	Número de deportes	≥ 10
17	21	Facilidad de calibración	Tiempo y pasos	≤ 5 minutos y ≤ 5 pasos

La tabla contiene 17 métricas que se derivan de las 21 necesidades identificadas para el proyecto del dispositivo de oximetría portátil. Cada métrica tiene los siguientes elementos:

Número de métrica: Un número único que identifica cada especificación.

Número de necesidad: El o los números de las necesidades del usuario que cubre esa métrica.

Métrica: La característica o parámetro de diseño a medir.

Unidad: La unidad de medida de esa métrica.

Valor objetivo: El valor meta o deseado para esa métrica.

En general, la tabla de especificaciones objetivas establece metas cuantificables para cada uno de los requerimientos clave del usuario, abarcando aspectos como conectividad, interfaz de usuario, capacidad de memoria, análisis de datos, impacto ambiental, seguridad y personalización, entre otros. Esto permitirá evaluar el cumplimiento de las necesidades a lo largo del proceso de diseño e ingeniería del dispositivo.

3.1 Evaluación de productos competitivos y especificaciones preliminares.

Para evaluar productos competitivos, se han seleccionado tres dispositivos similares y uno disímil. A continuación, se presenta un análisis comparativo de sus características y especificaciones:

Productos Similares:

Garmin Vivosmart 4

Peso: 20.4 gramos

Frecuencia de muestreo de datos: 1 Hz

Precisión de la medición de SpO2: $\pm 2\%$

Resistencia al agua: 5 ATM

Conectividad: Bluetooth

Capacidad de memoria: 7 días de datos de actividad

Interfaz de usuario: Pantalla OLED táctil

Precio: \$129.99 USD



Fitbit Charge 4

Peso: 30 gramos

Frecuencia de muestreo de datos: 1 Hz

Precisión de la medición de SpO2: $\pm 2\%$

Resistencia al agua: 5 ATM

Conectividad: Bluetooth, NFC

Capacidad de memoria: 7 días de datos de actividad

Interfaz de usuario: Pantalla OLED táctil

Precio: \$149.95 USD



Apple Watch Series 6

Peso: 36.5 gramos

Frecuencia de muestreo de datos: 1 Hz

Precisión de la medición de SpO2: $\pm 2\%$

Resistencia al agua: 50 metros

Conectividad: Bluetooth, WiFi, NFC

Capacidad de memoria: 32 GB

Interfaz de usuario: Pantalla Retina táctil

Precio: \$399 USD



Producto Disímil:

Polar H10 Heart Rate Sensor

Peso: 60 gramos

Frecuencia de muestreo de datos: 1 Hz

Precisión de la medición de frecuencia cardíaca: $\pm 1\%$

Resistencia al agua: 30 metros

Conectividad: Bluetooth, ANT+



Capacidad de memoria: 1 sesión de entrenamiento

Interfaz de usuario: No aplica (sensor de pecho)

Precio: \$89.95 USD

Especificaciones Preliminares (Targets):

A partir del análisis de los productos competitivos y las necesidades del usuario, se establecen las siguientes especificaciones preliminares para el diseño del dispositivo:

Peso total del dispositivo: < 50 gramos

Frecuencia de muestreo de datos: 1 - 4 Hz

Margen de error en la medición de SpO2: < 5%

Nivel de resistencia al agua e impactos: IP68

Variabilidad en la medición de SpO2 en condiciones estáticas y dinámicas: Variabilidad < 2%, error porcentual < 3%

Protocolos de conectividad: WiFi, Bluetooth, NFC

Facilidad de uso de la interfaz: ≥ 4 en escala de Likert de 1 a 5

Capacidad de memoria: ≥ 32 GB

Precisión de algoritmos de análisis de datos: Error cuadrático medio < 1

Impacto medioambiental: Conforme a la norma ISO14067

Sistema de alertas para lecturas anormales: > 5 segundos

Costo de producción por unidad: \leq \$30 USD

Seguridad de datos: Acceso mediante contraseña

Tiempo de respuesta de asistencia técnica: < 24 horas

Opciones de personalización: ≥ 5

Modos de deporte: ≥ 10

Facilidad de calibración: ≤ 5 minutos y ≤ 5 pasos

4. Generación de conceptos:

Descomposición Funcional

La descomposición funcional es un proceso que divide el dispositivo en sus funciones esenciales para entender cómo cada parte contribuye al funcionamiento total. Esto ayuda a identificar y priorizar las características más importantes del diseño.

Función Principal: Medir y monitorear la saturación de oxígeno en la sangre del usuario.

Subfunciones:

Alimentación: Proveer energía al dispositivo.

Sensado: Detectar y medir los niveles de SpO2.

Procesamiento: Analizar los datos recogidos por los sensores.

Interacción: Permitir al usuario interactuar con el dispositivo y recibir información.

Comunicación: Transferir datos a otros dispositivos o a la nube.

Almacenamiento: Guardar los datos medidos para análisis posterior.

Visualización: Mostrar los datos y alertas al usuario de manera clara y comprensible.

Descomposición Funcional:



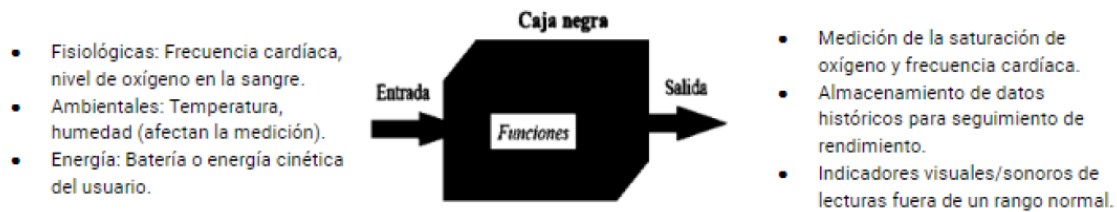
Caja Negra

La caja negra es un modelo que representa el dispositivo como un sistema completo sin descomponerlo en sus componentes internos. Se enfoca en las entradas y salidas del sistema sin detallar los procesos internos.

Entradas: Señales del usuario (como pulsaciones de botón), energía (batería o carga cinética), datos de sensores (medición de SpO2).

Salidas: Datos procesados (niveles de SpO2), alertas (sonoras, visuales, hápticas), almacenamiento de datos.

Caja negra:



Caja Gris

La caja gris descompone el dispositivo en sus principales subsistemas y componentes, proporcionando una visión más detallada de su funcionamiento interno. Muestra cómo cada componente contribuye al funcionamiento general del dispositivo.

Alimentación del Dispositivo: Batería recargable de litio, células solares integradas, carga cinética con movimientos del usuario.

Determinación de Saturación de Oxígeno: Sensor de pulsioximetría estándar, sensor avanzado de modulación de luz, sensores bioquímicos desechables.

Interacción del Usuario: Pantalla táctil OLED, interfaz de voz, aplicación móvil con Bluetooth.

Procesamiento y Análisis de Datos: Chip de procesamiento dedicado, uso de smartphone como CPU, procesamiento en la nube.

Transferencia de Datos: Conectividad Bluetooth 5.0, Wi-Fi Direct, transmisión de datos por NFC.

Visualización de Datos: Visualización LED de colores, realidad aumentada mediante app, alertas hápticas.

Guardar Registros: Almacenamiento interno flash, sincronización en tiempo real con la nube, uso de tarjeta SD externa.

Caja Gris:

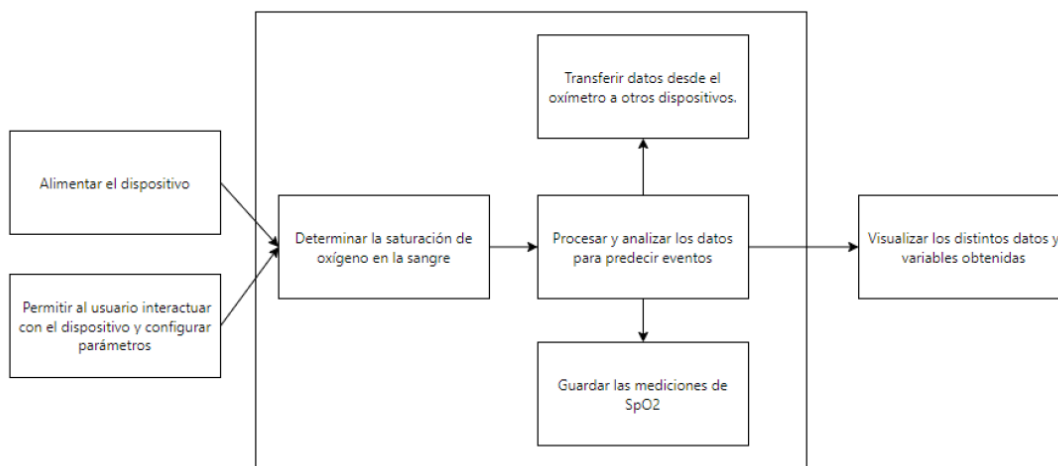


Tabla de Combinaciones de Conceptos

La tabla presentada muestra tres combinaciones diferentes de conceptos para un dispositivo de oximetría portable. Cada combinación se evalúa según varios componentes clave necesarios para su funcionamiento. A continuación, se detalla cada combinación:

Combinación	Alimentación	Determinación O2	Interacción Usuario	Procesamiento Datos	Transferencia Datos	Visualización Datos	Guardar Registros
1	Batería litio	Sensor estándar	Pantalla OLED	Chip dedicado	Bluetooth 5.0	LED colores	Almacenamiento flash
2	Células solares	Sensor avanzado	Interfaz de voz	Smartphone como CPU	Wi-Fi Direct	Realidad aumentada	Nube
3	Carga cinética	Sensores bioquímicos	App móvil	Procesamiento nube	NFC	Haptic feedback	Tarjeta SD

5. Selección de conceptos

Proceso de Selección y Evaluación de Conceptos

1. Evaluación Inicial de Conceptos:

	Conceptos		
	1	2	3
Criterios de selección	1	2	3
Facilidad de uso	+	-	+
Durabilidad	-	0	+
Ergonomía	0	0	+
Facilidad para interpretación de datos	+	-	0
Costo de producción	+	-	0
Portabilidad	0	+	0
Facilidad de manufactura	+	-	-
Suma +	4	1	3
Suma 0	2	2	3
Suma -	1	4	1
Evaluación neta	3	-3	2
Lugar	3	-3	2
¿Continuar?	3	-3	2

En la tabla, los conceptos se evaluaron según varios criterios de selección, tales como facilidad de uso, durabilidad, ergonomía, facilidad para interpretación de datos, costo de producción, portabilidad y facilidad de manufactura. Cada criterio se calificó con un signo (+, 0, -) para indicar si el concepto cumple, no afecta o no cumple con el criterio.

Conclusión: El Concepto 1 tiene la evaluación neta más alta, seguido por el Concepto 3. El Concepto 2 no se recomienda continuar debido a su evaluación negativa.

2. Evaluación Ponderada de Conceptos:

Criterios de selección	Peso	CONCEPTO			
		1 + 3		2	
		Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
Facilidad de uso	15,0%		5		2
Durabilidad	14,0%		4		3
Ergonomia	13,0%		5		3
Facilidad para interpretación de datos	16,0%		5		2
Costo de producción	13,0%		5		2
Portabilidad	17,0%		4		5
Facilidad de manufactura	12,0%		4		3
Total	100,0%		32		20
	Lugar		32		20
	Continuar?		32		20

En la segunda tabla, se realizó una evaluación ponderada combinando los conceptos 1 y 3, comparándolos con el Concepto 2. Aquí, cada criterio de selección tiene un peso específico que refleja su importancia relativa.

Recomendaciones:

Se opta por continuar con la Combinación 1 o una combinación optimizada de los conceptos 1 y 3. Estas opciones ofrecen un equilibrio adecuado entre innovación y practicidad, asegurando un producto final que es tanto funcional como accesible para los usuarios.

Combinación 2 puede ser considerada para futuros desarrollos o versiones avanzadas del dispositivo, ya que sus componentes innovadores podrían ser más viables conforme las tecnologías asociadas se vuelvan más accesibles y económicas.

6. Arquitectura de producto

Se diseña con una estructura por módulos basada en la arquitectura modular tipo bus.

Componente	Concepto ganador
Alimentación del Dispositivo	Carga cinética con movimientos del usuario
Determinación de Saturación de Oxígeno	Sensor de pulsioximetría estándar
Interacción del Usuario	Pantalla táctil OLED
Procesamiento y Análisis de Datos	Procesamiento en la nube
Transferencia de Datos	Conectividad Bluetooth 5.0
Visualización de Datos	Alertas haptic feedback.
Guardar Registros	Almacenamiento interno flash

Estructura por Módulos para un Sistema Computacional.

1. Módulo de Procesamiento Central (CPU)

- Descripción: Este módulo incluirá el procesador principal que ejecuta las instrucciones del programa, gestiona las operaciones aritméticas y lógicas, y coordina las actividades de todos los otros módulos conectados al bus.
- Conexiones: Se conectaría al bus de datos, bus de direcciones, y bus de control para comunicarse con otros módulos.

2. Módulo de Memoria.

- Descripción: Este módulo proporciona el almacenamiento volátil (RAM) y no volátil (ROM, SSD) necesario para almacenar y recuperar datos e instrucciones que utiliza la CPU.
- Conexiones: Se conectaría principalmente a través del bus de datos y bus de direcciones para permitir el acceso a la información almacenada.

3. Módulo de Comunicaciones

- Descripción: Encargado de gestionar las comunicaciones de red, como bluetooth 5 o Wi-Fi.

- Conexiones: Se conectaría al bus de datos para transmitir y recibir datos de la red, y podría tener un acceso especializado para soportar altas velocidades de transferencia.

4. Módulo de Gráfico

- Descripción: Este módulo incluiría la pantalla OLED y todos los circuitos y controladores necesarios para operar. Su función principal es mostrar los datos gráficos procesados por el módulo del sensor.
- Conexiones: Conectaría al bus de datos y podría tener un bus dedicado como PCI Express para manejar altas tasas de transferencia de datos necesarias para gráficos de alta resolución.

5. Módulo de Alimentación

- Descripción: Aunque típicamente no interactúa directamente con el bus, este módulo es crucial para proporcionar y gestionar la energía necesaria para todos los componentes del sistema.
- Conexiones: Distribuye energía a cada uno de los módulos conectados al sistema.

6. Módulo de Sensores

- Descripción: Este módulo incluiría diversos sensores, incluido el sensor de oximetría, que es fundamental en aplicaciones médicas para medir la saturación de oxígeno en la sangre de un paciente de manera no invasiva.
- Conexión: Transmite los datos recogidos y procesados del nivel de oxígeno en la sangre a la CPU, y al módulo de visualización.

LAYOUT.

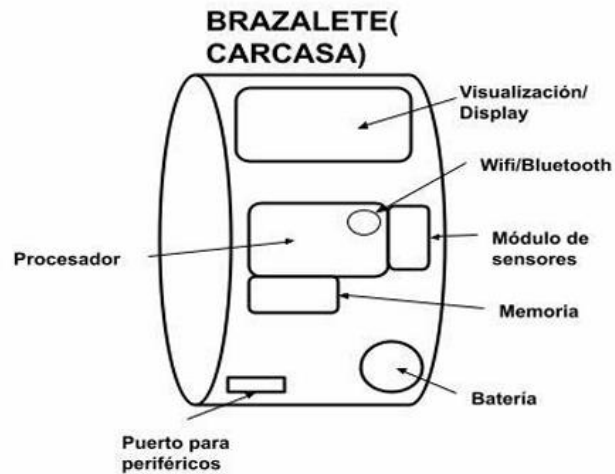


DIAGRAMA DE RELACIONES FUNCIONALES.

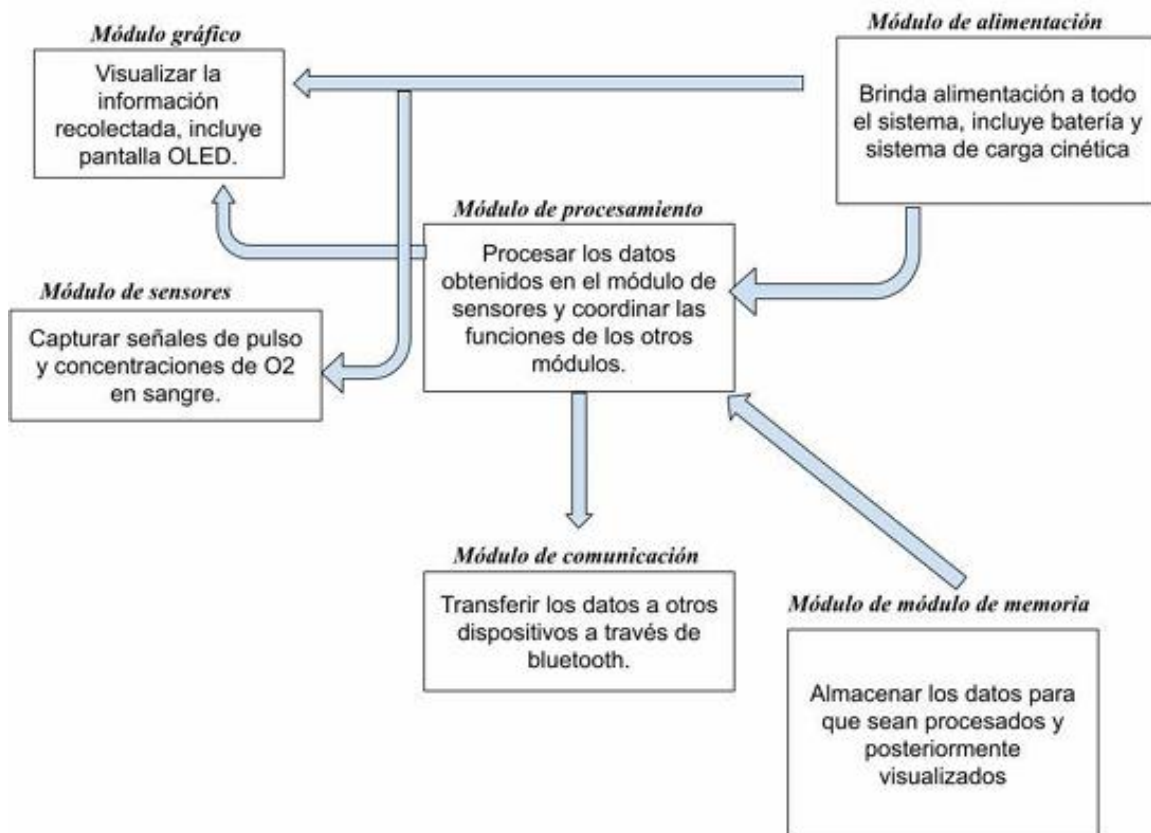
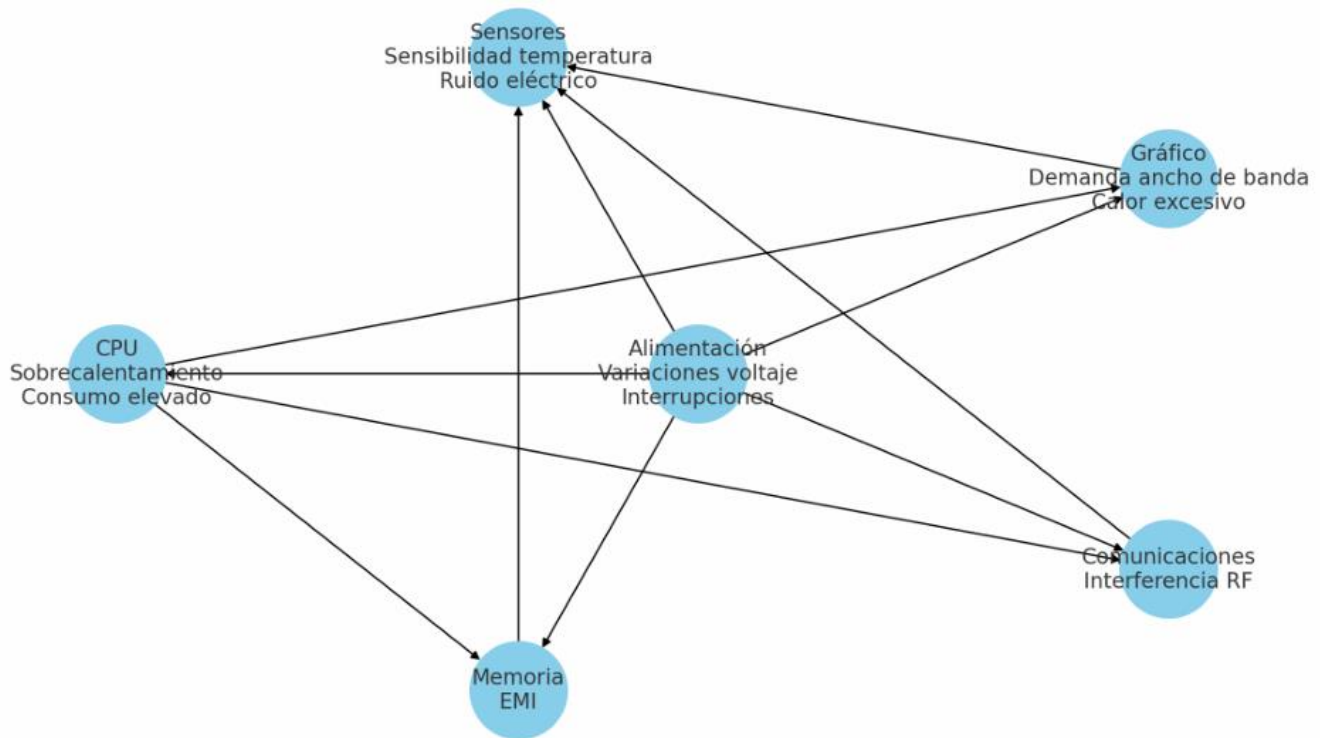


DIAGRAMA DE RELACIONES INCIDENTALES.



Soluciones y/o modificaciones para abordar las relaciones incidentales:

Sensores- Sensibilidad a la temperatura y ruido eléctrico:

- Utilizar sensores con especificaciones de alta precisión y baja dependencia a la temperatura.
- Implementar filtros de ruido tanto en el hardware como en el software para minimizar la interferencia eléctrica, filtros pasa bajo y técnicas de promediación en el software.

Gráfico- Demanda de ancho de banda y calor excesivo.

- Optimizar el código de procesamiento de datos para reducir el uso de ancho de banda.
- Utilizar técnicas de gestión térmica, como disipadores de calor en componentes que generen calor, para manejar el exceso de temperatura.

Alimentación- Variaciones de voltaje e interrupciones:

- Implementar un circuito de gestión de potencia que incluya reguladores de voltaje y un sistema de alimentación ininterrumpida (UPS) a pequeña escala para mitigar las interrupciones y variaciones de voltaje.
- Considerar el uso de baterías con mayor capacidad de retención de carga y sistemas de carga más eficientes.

Comunicaciones- Interferencia de RF:

- Utilizar materiales de blindaje electromagnético para proteger los módulos de comunicación.
- Elegir protocolos de comunicación que incluyen algoritmos robustos de corrección de errores para compensar las posibles interferencias.

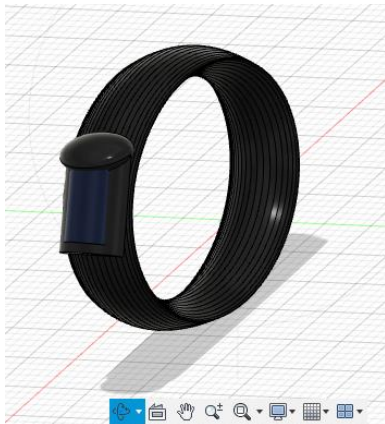
Memoria- EMI (Interferencia electromagnética):

- Implementar un blindaje adicional o usar chips de memoria que vengan con blindaje integrado.
- Asegurar que las rutas de los circuitos en la PCB minimicen la exposición a campos electromagnéticos de otras partes del dispositivo.

CPU- Sobre calentamiento y consumo elevado:

- Integrar un sistema de gestión de energía que ajuste el rendimiento del CPU según la demanda, reduciendo el consumo de energía y la generación de calor cuando no se necesite máxima potencia.
- Incorporar un sistema de refrigeración, como pequeños ventiladores o disipadores de calor más eficientes.

DISEÑO CAD (Diseño + renderizado)



7. Diseño detallado

Elementos comerciales identificados:

1. Sensor de Pulsioximetría:

- **Proveedor:** ARDOBOT - MAX30100
- **Especificaciones:** El MAX30100 necesita de dos voltajes para funcionar: 1.8V y 3.3V, por lo que este módulo incluye ambos reguladores de voltaje en placa, de ese modo solo se necesita una fuente de 5V para la alimentación. Su consumo de corriente es mínimo, por lo que es ideal para aplicaciones portátiles. Puede ser utilizado en equipos de monitoreo médico, asistentes de estado físico y wearables en general.

Características

- Voltaje de Operación: 5V DC
- Regulador de voltaje de 3.3V y 1.8V en placa
- Led rojo de 660nm
- Led infrarrojo de 920nm
- Filtro de luz entre 50 y 60Hz
- Protocolo de comunicación: I2C
- ADC delta sigma de hasta 16 bits
- Temperatura de trabajo: -40°C hasta +85°C
- Dimensiones: 14mm x 17mm
- Conexión
- VIN: 5V DC
- SCL: I2C CLOCK
- SDA: I2C DATA
- INT: Interrupción, activo a estado bajo
- IRD: cátodo led infrarrojo (No conectar)
- RD: cátodo led rojo (No conectar)
- GND: 0V

2. Pantalla OLED táctil:

Proveedor: JULPIN ELECTRONICA Y ROBÓTICA.

Especificaciones: La antigua tecnología LCD (Liquid Crystal Display) utiliza polarizadores controlados electrónicamente para cambiar la forma en que la luz pasa o no pasa a través de ellos. Esto requiere una luz de fondo externa que ilumina toda la pantalla debajo. Esto utiliza una gran cantidad de energía porque en el momento en que la pantalla

está encendida, se requiere suficiente luz para todos los píxeles disponibles. La nueva tecnología OLED sólo utiliza electricidad por píxel, debido a que cada píxel crea su propia luz, sólo los píxeles que están en uso de electricidad. Esto hace que la tecnología OLED sea muy eficiente; También, la forma en que estos tipos de OLEDs están contruidos les permite ser muy delgadas en comparación con los LCD tradicionales.

Características:

- Número de píxeles: 128 × 64
- Profundidad del color: Monocromo (blanco)
- Brillo (cd / m²): 100 (Tipo) @ 12V
- Tamaño: 35.5 * 33.6mm
- Peso: 7g

3. Módulo Bluetooth 5.0:

- **Proveedor:** YOROBOTICS
- **Especificaciones:** El módulo de transmisión transparente JDY-23 se basa en el estándar de protocolo Bluetooth 5.0, el rango de frecuencia de trabajo es de 2.4GHZ, el modo de modulación es GFSK, la potencia máxima de transmisión es de 4db, la distancia máxima de transmisión es de 60 metros, adopta un diseño de chip original importado, permite a los usuarios modificar equipo a través del comando AT Las instrucciones como el nombre y la velocidad de transmisión son convenientes y rápidas de usar.
-
- El módulo Bluetooth JDY-23 puede realizar la transmisión de datos del módulo y del teléfono móvil. De manera predeterminada, BLE Bluetooth se puede usar para la aplicación del producto sin configuración.
-
- Parámetros del producto JDY-23
- modelo JDY-23
- Frecuencia de trabajo 2.4G
- Potencia de transmisión 4db (máximo)
- Interface de comunicación UART
- Voltaje de funcionamiento 1.8V - 3.6V
- Temperatura de funcionamiento -40 º - 80 º
- antena Antena PCB incorporada
- Sensibilidad de recepción -97dbm
- Distancia de transmisión 60MT

- Maestro-esclavo apoyo Esclavo
- Tamaño del módulo 19.6 * 14.94 * 1.8 mm (Largo, ancho y alto)
- Versión de Bluetooth BLE 5.0 (Compatible con BLE4.0, BLE4.2)
- Despertar estado actual 800uA (Broadcast)
- Estado de reposo ligero actual <50uA (Broadcast)
- Sueño profundo actual 9uA (Sin transmisión)
- Guardar parámetros de instrucciones Se guardan los datos de apagado de la configuración de parámetros
- Temperatura de soldadura SMT <260 ºC
- rf-TX / RX pico de corriente 5mA

4. **Batería recargable:**

- **Proveedor:** BrightTea – Amazon.
- **Especificaciones:**

- 1). Batería recargable de iones de litio de alto volumen 500mA.
- 2). 100% nuevo. Con placa de circuito de protección.
- 3) Tiene un enchufe, ¡no necesitas ninguna habilidad de soldadura para reemplazar la batería ahora!
- 4). Tamaño del producto: 1.575 in de largo x 0.984 in de ancho x 0.193 in de alto.
- 5). Voltaje del producto: 3.7 V (nominal) y 4.2 V (voltaje completo).
- 6). Puede ser utilizado en MP3 MP4 GPS PSP PAD y una variedad de lectores electrónicos.
- 7). Puerto de conexión de carga 0.049 in 2 Pin Micro conector Plug

Sobre este artículo

- Batería recargable mini de polímero de litio
- Voltaje de salida: 3.7 V 500 mAh
- 472540 Li-ion Li-Po
- #11 llavero cámara
- Tamaño de la batería: 1.575 in x 0.984 in x 0.193 in (Plug Pin / agujero: 0.049 in-2P paso)
-

5. **Microcontrolador.**

Proveedor: TIENDATEC – ARDUINO NANO ESP32.

Especificaciones: Arduino Nano ESP32 está equipado con un chip bien conocido y eficiente, que es ESP32-S3. Combina el soporte del ecosistema Arduino con las capacidades de ESP y soporte tanto para Arduino como para MicroPython. El módulo ofrece infinitas posibilidades en la creación de proyectos IoT, gracias a la comunicación

WiFi y Bluetooth. Esta versión de la placa está equipada con conectores pre-soldados. El chip u-Blox NORA-W106 (ESP32-S3) con una velocidad de reloj de hasta 240 MHz, está equipado con 384 kB de ROM y 512 kB de SRAM. La placa también dispone de 128 MB (16 MB) de memoria Flash externa.

Principales características del Arduino Nano ESP32

- Tamaño reducido : la placa Arduino Nano ESP32 está diseñada en línea con los modelos anteriores de la familia Nano, por lo que es ideal para proyectos compactos.
 - Comunicación inalámbrica : equipada con el chip ESP32-S3 que proporciona conectividad inalámbrica WiFi y Bluetooth, es una solución ideal para proyectos IoT.
 - Soporte para Arduino y MicroPython : cambia sin problemas el lenguaje de Arduino a MicroPython en unos sencillos pasos. Para obtener más información sobre la programación con MicroPython, consulte la documentación.
 - Compatible con Arduino IoT Cloud : crea proyectos IoT de forma rápida y sencilla con unas pocas líneas de código. La aplicación Arduino IoT Cloud te mantiene seguro permitiéndote monitorizar y controlar tu proyecto IoT desde cualquier lugar.
 - Soporte HID : te permite simular un ratón y un teclado a través de USB. Esta característica te permite crear nuevas formas de interactuar con tu ordenador.
 - Depuración Plug and Play : La placa soporta depuración a través de Arduino IDE 2, sin necesidad de módulos externos.
 - Construye proyectos IoT más avanzados más rápido con el Arduino ESP32. La combinación del soporte de Arduino con las capacidades de ESP32 en una placa compacta es la solución perfecta para creadores exigentes. Da vida a tus ideas con facilidad y precisión con el Arduino Nano ESP32. La placa está equipada con 14 pines digitales, 8 pines analógicos y 5 pines PWM. Se alimenta con una tensión de 5 V a 18 V, y la tensión lógica es de 3,3 V. El rendimiento de corriente de los pines digitales es de 40 mA.
-
- Arduino Nano ESP32 especificaciones
 - Chip: u-blox NORA-W106 (ESP32-S3)
 - Velocidad de reloj: hasta 240 MHz
 - Memoria ROM 384 KB
 - Memoria SRAM 512 KB
 - Memoria Flash externa: 128MB (16MB)

- Conector: USB Tipo-C
- Pines:
- LED integrado: pin 13
- 14x entradas/salidas digitales
- 8x entradas analógicas
- 5x PWM
- Interrupciones externas en todos los pines digitales
- Conectividad inalámbrica: WiFi / Bluetooth
- Interfaces:
- UART: 1x, D0 (TX), DC (RX)
- I2C: 1x, A4 (SDA), A5 (SCL)
- SPI: D11 (COPI), D12 (CIPO), D13 (SCK), cualquier GPIO como CS
- Tensión de E/S: 3,3 V
- Tensión de alimentación: de 5 V a 18 V
- Corriente de fuente por pin de E/S 40mA
- Corriente de sumidero por pin de E/S 28 mA
- Dimensiones: 45x18mm

Elementos a diseñar en detalle:

1. Circuito de Gestión de Potencia:

- **Estrategia de Diseño:**
 - Cálculo de los requerimientos de potencia.
 - Diseño del circuito en software CAD (TinkerCAD).
 - Montaje en protoboard para pruebas iniciales.
 - Refinamiento del diseño basado en los resultados de las pruebas.
 - Fabricación y montaje de la placa de circuito impreso (PCB).

2. Interfaz de Usuario (UI) y Firmware:

- **Estrategia de Diseño:**
 - Diseño de la interfaz gráfica en software de desarrollo (e.g., Qt, JavaFX).
 - Programación del firmware en C/C++.
 - Pruebas de funcionalidad y usabilidad con usuarios reales.
 - Refinamiento del firmware y la interfaz gráfica basado en los comentarios de los usuarios.

3. Sistema de Refrigeración:

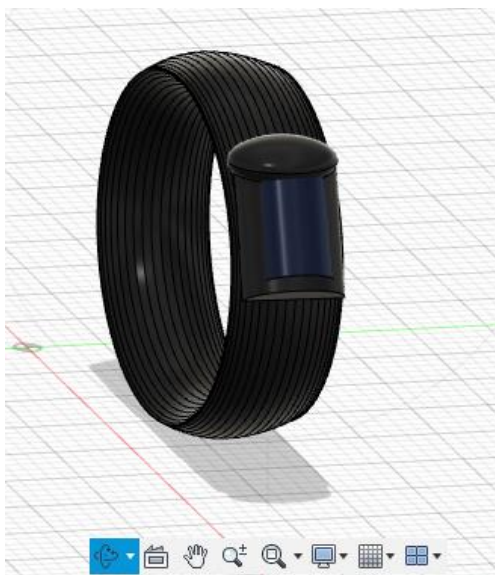
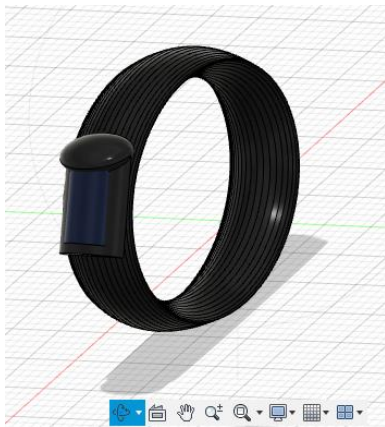
- **Estrategia de Diseño:**
 - Cálculo de la disipación de calor requerida.

- Selección y diseño de disipadores de calor y/o ventiladores.
- Pruebas térmicas para asegurar la efectividad del sistema.
- Integración del sistema de refrigeración en el diseño final del producto.

Aplicación de estándares en el diseño detallado:

- **ASME (American Society of Mechanical Engineers)** para asegurar el diseño mecánico y la fabricación.
- **ISO 9001** para asegurar la calidad del proceso de diseño y manufactura.
- **IEC 60601-1** para asegurar la seguridad eléctrica y funcional de dispositivos médicos.

DISEÑO CAD (Diseño + renderizado)



8. Factores asociados al proceso de diseño

El análisis de los factores asociados al proceso de diseño es fundamental para asegurar que los productos y sistemas desarrollados no solo cumplan con los estándares técnicos, sino que también aporten un valor positivo a la sociedad y al medio ambiente. A continuación, se presenta una conclusión sobre cada uno de los factores considerados:

8.1 Factores de Riesgo

Identificación de Factores de Riesgo y Regulaciones Asociadas:

El dispositivo de oximetría portable debe cumplir con las normativas de seguridad para dispositivos médicos, como la ISO 14971, que trata sobre la gestión de riesgos. Es esencial considerar los riesgos asociados con el uso del dispositivo en diferentes condiciones ambientales y fisiológicas. Por ejemplo, la exposición prolongada al agua o al sudor podría afectar la precisión de las mediciones. Además, se deben implementar medidas para prevenir la hipoxia no detectada, garantizando que las alertas sean rápidas y efectivas.

8.2 Factores Económicos

Consideración de Factores Económicos en el Proceso de Diseño:

El diseño del dispositivo debe ser económicamente viable para asegurar su adopción masiva. Esto incluye realizar un análisis de costos detallado, considerando tanto los costos de producción como los beneficios esperados. Un dispositivo asequible puede ser atractivo tanto para atletas individuales como para equipos y organizaciones deportivas. La estrategia de precios debe equilibrar la calidad del producto con su accesibilidad económica, asegurando que el dispositivo sea competitivo en el mercado.

8.3 Factores Ambientales

Identificación de Factores Ambientales que Influyen en el Proceso de Diseño:

El dispositivo debe ser diseñado para ser utilizado en diversas condiciones ambientales, desde piscinas hasta pistas de atletismo. Esto implica que debe ser resistente al agua y al sudor, y capaz de operar en temperaturas extremas. La selección de materiales sostenibles y la implementación de prácticas de diseño ecológico son cruciales para minimizar el impacto ambiental. Además, la durabilidad del dispositivo es esencial para reducir la frecuencia de reemplazo y, por lo tanto, su huella ecológica.

8.4 Factores Sociales

Identificación de Factores Sociales que Influyen en el Proceso de Diseño:

El dispositivo debe ser fácil de usar y accesible para una amplia gama de usuarios, desde atletas profesionales hasta amateurs. Esto incluye un diseño ergonómico que sea cómodo de llevar durante largos periodos y una interfaz de usuario intuitiva. Además, debe fomentar la conciencia sobre la importancia del monitoreo de la salud entre los deportistas. La integración con aplicaciones móviles y plataformas sociales puede aumentar su aceptación y uso, permitiendo a los usuarios compartir sus datos y progresos con entrenadores y compañeros de equipo.

Integrar los factores de riesgo, económicos, ambientales y sociales en el proceso de diseño del dispositivo de oximetría portable permite desarrollar un producto que no solo es técnicamente sólido, sino también seguro, económicamente viable, ambientalmente responsable y socialmente aceptable. Este enfoque holístico asegura que el dispositivo pueda satisfacer las necesidades de los usuarios, optimizando su rendimiento deportivo y contribuyendo positivamente a su bienestar general.

Bibliografía:

1. Catalán, D. D., Collao-Caiconte, P. O., & Martín-Escudero, P. (2024). "Exploring the Hidden Complexity: Entropy Analysis in Pulse Oximetry of Female Athletes." *Biosensors*, 14(1), 52. Disponible en: [MDPI](#)
2. Martín-Escudero, P., Cabanas, A. M., Fuentes-Ferrer, M., & Galindo-Canales, M. (2021). "Oxygen Saturation Behavior by Pulse Oximetry in Female Athletes: Breaking Myths." *Biosensors*, 11(10), 391. Disponible en: [MDPI](#)
3. CTS. "Pulse Oximetry for Athletes: Using Oxygen Saturation as a Training Tool." Trainright. Disponible en: [CTS](#)
4. Rolling Strong. "Understanding Pulse Oximetry For The Amateur Athlete." Rolling Strong. Disponible en: Rolling Strong
5. Training Peaks. "Using a Pulse Oximeter for Acclimation and Recovery." Training Peaks. Disponible en: Training Peaks
6. ABET. (2022). Criteria for Accrediting Engineering Programs. <https://www.abet.org/accreditation/accreditation-criteria/criteria-for-accrediting-engineering-programs-2022-2023/>
7. Garmin. (2023). Vivosmart 4. <https://buy.garmin.com/en-US/US/p/605739>
8. Fitbit. (2023). Charge 4. <https://www.fitbit.com/global/us/products/trackers/charge4>
9. Apple. (2023). Apple Watch Series 6. <https://www.apple.com/apple-watch-series-6/>
10. Polar. (2023). H10 Heart Rate Sensor. https://www.polar.com/us-en/products/accessories/h10_heart_rate_sensor
11. Pahl, G., & Beitz, W. (2013). *Engineering Design: A Systematic Approach*. Springer Science & Business Media.
12. Ullman, D. G. (2017). *The Mechanical Design Process*. McGraw-Hill Education.
13. Wiegiers, K., & Beatty, J. (2013). *Software Requirements*. Microsoft Press.
14. Graedel, T. E., & Allenby, B. R. (2003). *Industrial Ecology*. Prentice Hall.
15. Norman, D. A. (2013). *The Design of Everyday Things*. Basic Books.
16. Pahl, G., & Beitz, W. (2007). *Engineering Design: A Systematic Approach*. Springer.
17. ISO 14971:2019. Medical devices — Application of risk management to medical devices
18. Sensor Pulsioxímetro MAX30100. (2024). *Sensor Pulsioxímetro MAX30100*. Ardobot.co. <https://www.ardobot.co/sensor-pulsioximetro-max30100.html>
19. Pantalla OLED de 1,3 pulgadas. (2017). JLPIN Electrónica. <https://www.julpin.com.co/inicio/pantallas-leds-y-lcd/1625-pantalla-oled-de-13-pulgadas.html>
20. Modulo Bluetooth 5.0 Jdy-23 Ble Cc2541 Rango 60mt Uart Slave. (2024). Mercadolibre.com.co. https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-548228954-modulo-bluetooth-50-jdy-23-ble-cc2541-rango-60mt-uart-slave-_JM#is_advertising=true&position=2&search_layout=stack&type=pad&tracking_id=df1673bc-b53c-48e7-

[9f4d-6eba58c4e92e&is_advertising=true&ad_domain=VQCATCORE LST&ad_position=2&ad_click_id=NzI1ZmNIY2ItNWM3NS00OTlmLTlhMmEtMDZlYTM0MzEzOWFh](https://www.tiendatec.es/maker-zone/microcontroladores/2126-arduino-nano-esp32-con-pines--7630049203969.html?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwmYCzBhA6EiwAxFwfgBHCWa6z8z2sCKz3ytYY20Fcy6MtCC4xMxUK_iomuNXMZ7a2uxv2RRoC3pgQAvD_BwE)

21. ARDUINO. (2023, August 18). *ARDUINO NANO ESP32 (CON PINES)*. Tiendatec.es.
https://www.tiendatec.es/maker-zone/microcontroladores/2126-arduino-nano-esp32-con-pines--7630049203969.html?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwmYCzBhA6EiwAxFwfgBHCWa6z8z2sCKz3ytYY20Fcy6MtCC4xMxUK_iomuNXMZ7a2uxv2RRoC3pgQAvD_BwE