

SISTEMA DE MONITOREO DE VO₂ PARA DEPORTISTAS

ANDRÉS MIGUEL RAMÍREZ PALACIO

Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Biomédico

SERGIO LOPÉZ ISAZA

MSc. Ingeniería Biomédica



**UNIVERSIDAD EIA
UNIVERSIDAD CES
INGENIERIA BIOMEDICA
ENVIGADO
MEDELLIN
2018**

DEDICATORIA

A mis padres, a mi hermana y a mi novia que siempre me apoyaron y estuvieron atentos para que no me faltara nada en la realización de este proyecto

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a la Universidad EIA y Universidad CES, y a todo el personal de la Unidad Académica de Ingeniería Biomédica por su vocación para la formación de profesionales de integrales y éticos.

Un agradecimiento especial a los profesores e integrantes del laboratorio de Bioinstrumentación que ayudaron a realizar el proyecto de forma correcta realizando las correcciones y las sugerencias apropiadas. Al profesor Andrés Torres por sugerir la problemática de la que trata este proyecto. Al profesor y director del trabajo Sergio López por su constante atención y preocupación en el proyecto.

Finalmente, agradecer a todas las personas que hicieron parte de este logro y de este proceso

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. PRELIMINARES	15
Planteamiento del problema.....	15
Objetivos del proyecto.....	16
1.1 1.2.1 Objetivo General	16
1.2 1.2.2 Objetivos Específicos.....	16
1.3 Marco de referencia	17
1.3.1 Antecedentes.....	17
1.4 Marco teórico	19
1.4.1 Deporte.....	19
1.4.2 Sistema Respiratorio.....	21
1.4.3 Instrumentación	26
2.1 2. METODOLOGÍA	29
Selección de técnica a utilizar para la medición de VO ₂ máximo	29
2.1.1 Entrevistas a expertos.....	29
2.1.2 Técnicas de Medición de VO ₂ máx. por bibliografía	30
2.1.3 Selección de la técnica de medición	30
2.2 Procedimiento para el desarrollo mecánico.....	31
2.2.1 Diseño conceptual de sistema.....	31
2.2.2 Realizar el diseño de sistema	32
2.3 Procedimiento para el desarrollo electrónico.....	32
2.3.1 Establecimiento de requerimientos	33

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

	2.3.2	Selección de componentes	33
	2.3.3	Diseño de esquemáticos	33
	2.3.4	Simulación de los esquemáticos	34
	2.3.5	Pruebas de funcionamiento.....	34
	2.3.6	Diseño de circuitos impresos	34
	2.3.7	Implementar una interfaz gráfica	34
	2.3.8	Calibración del sistema de instrumentación	34
	2.3.9	Caracterización y pruebas de funcionamiento.....	35
3.	RESULTADOS.....		36
		Selección de técnica de medición	36
3.1	3.1.1	Reporte de entrevistas a expertos.....	36
	3.1.2	Bibliografía de técnicas de medición de VO ₂ máximo	38
	3.1.3	Selección de técnica de medición	41
3.2		Desarrollo mecánico	41
	3.2.1	Diseño conceptual de sistema.....	41
	3.2.2	Diseño CAD de sistema	58
3.3	3.2.3	Diseño físico del sistema.....	60
		Procedimiento para el desarrollo electrónico	62
	3.3.1	Establecimiento de requerimientos	62
	3.3.2	Selección de componentes	62
	3.3.3	Diseño de esquemáticos	65
	3.3.4	Simulación de esquemáticos.....	68
	3.3.5	Pruebas de funcionamiento.....	68
	3.3.6	Diseño de circuitos impresos	69

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

	3.3.7	Implementar una interfaz gráfica	70
	3.3.8	Calibración del sistema de instrumentación	71
	3.3.9	Caracterización y pruebas de funcionamiento	72
		Evaluación de Funcionalidad.....	73
	4.	DISCUSIÓN	75
		Discusión de Metodos de Medición	75
3.4		Discusión de resultados fisicos	75
4.1	4.1.1	Máscara	75
4.2	4.1.2	Dispositivo electrónico	76
		Discusión de los resultados electronicos	76
4.3	4.2.1	Instrumentación	76
	4.2.1	Caracterización	77
4.4		Discusión del sistema.....	78
	5.	CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES	80
	6.	REFERENCIAS.....	82
	7.	LISTA DE ANEXOS	89

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Información Básica Entrevistados.....	30
Tabla 2: Técnicas de medición indirecta.....	38
Tabla 3: Tabla comparativa de mediciones de VO ₂	41
Tabla 4: Lista de necesidades.....	42
Tabla 5: Listas de Requerimientos Técnicos	42
Tabla 6: Matriz de medidas y necesidades.....	43
Tabla 7: Definición de Funciones	44
Tabla 8: Alternativas de solución para encender el dispositivo.....	45
Tabla 9: Alternativas de solución para la medición de la señal.....	45
Tabla 10: Alternativas de Solución para la regulación del voltaje	47
Tabla 11: Alternativas de Solución para acondicionar la señal	48
Tabla 12: Alternativas de solución para el envío de la señal.....	48
Tabla 13: Alternativas de solución para el procesamiento de la información	49
Tabla 14: Alternativas de solución para la visualización de la información	50
Tabla 15: Alternativas de solución para alimentar los circuitos.....	51
Tabla 16: Alternativas de solución para ajustar el dispositivo.....	52
Tabla 17: Alternativa de solución para el ajuste de máscara.....	52
Tabla 18: Matriz Morfológica de Conceptos	53
Tabla 19: Selección de conceptos.....	55
Tabla 20: Criterios de selección para el concepto	57
Tabla 21: Matriz de Selección de concepto	58
Tabla 22: Requerimientos de Componentes electrónicos.....	62
Tabla 23: Criterios de selección para sensor.....	63

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Tabla 24: Tabla de Selección de Sensores	63
Tabla 25: Componentes seleccionados para el sistema de instrumentación	64
Tabla 26: Variables ambientales	64
Tabla 27: Tabla para curva de calibración.....	71
Tabla 28: Valores prueba de respuesta en frecuencia.....	73
Tabla 29: Evaluación de funcionalidad del sistema de monitoreo.....	74
Tabla 30: Comparación de proyecto con productos comerciales.....	79
Tabla 31: Tabulación para Respuesta en frecuencias	96

pág.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa Conceptual de Marco teórico.....	19
Figura 2: Clasificación de las capacidades físicas condicionales (Nanclares Duque & Serna Cordoba, 2018)	21
Figura 3: Volúmenes y capacidades pulmonares	23
Figura 4: Representación esquemática del intercambio gaseoso entre los tejidos y el ambiente (Levitzky, 2013).....	24
Figura 5: Grafica VO ₂ Máx. en hombres y mujeres.....	25
Figura 6: Grafica de Umbral Anaeróbico (Ghosh, 2004).....	26
Figura 7: Diagrama de bloques de la composición de un biosensor (Strehlytz, 2017)	27
Figura 8: Funcionamiento del sensor galvanométrico (Senko, 2013).	28
Figura 9: Metodología elegida para diseño conceptual.....	31
Figura 10: Procedimiento para el desarrollo del sistema de instrumentación.....	33
Figura 11: Procedimiento para pruebas de caracterización de los sistemas de instrumentación.	35
Figura 12: Resultados sobre parámetros que afectan el rendimiento deportivo.....	36
Figura 13: Gráfica sobre técnica más confiable.....	37
Figura 14: Opinión de expertos sobre el proyecto	38
Figura 15: Caja Negra de Funciones.....	43
Figura 16: Caja Transparente de Funciones.....	44
Figura 17: Diseño CAD de la Máscara. Vista Isométrica	58
Figura 18: Diseño CAD de la Máscara. Vista frontal.....	58
Figura 19: Diseño CAD de la máscara. Vista Posterior	59
Figura 20: Vista Lateral CAD Dispositivo Electrónico	59
Figura 21: Vista Superior CAD Dispositivo Electrónico	60

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Figura 22: Vista Isométrica CAD Dispositivo Electrónico	60
Figura 23: Máscara física	61
Figura 24: Dispositivo electrónico físico. Cerrado	61
Figura 25: Dispositivo electrónico físico. Abierto	61
Figura 26: Diagrama de bloques para el diseño de esquemáticos.....	65
Figura 27: Adquisición de la señal.....	65
Figura 28: Diagrama de bloques circuito analógico	66
Figura 29: Diagrama de bloques del Arduino.....	66
Figura 30: Algoritmo de Procesamiento digital de la señal	67
Figura 31: Respuesta en frecuencia de simulaciones.....	68
Figura 32: Circuito implementado en protoboard para las pruebas iniciales	69
Figura 33: Diseño PCB del dispositivo electrónico realizado en Altium Designer. 1. cara superior de la tarjeta diseñada en 3D. 2. cara inferior de la tarjeta diseñada en 3D. 3. cara superior de la tarjeta diseñada en 2D. 4. cara inferior de la tarjeta	69
Figura 34: Interfaz Gráfica del Sistema	70
Figura 35: Interfaz gráfica. Prueba inicial	71
Figura 36: Grafica de Prueba al escalón	72
Figura 37: Gráfica de respuesta en frecuencia	73

RESUMEN

El deporte es uno de los temas que más influencia tiene a nivel mundial en los medios y en la industria debido a su capacidad para mover dineros y gente. Lo que un deportista quiere es alcanzar sus metas y poder obtener reconocimiento e incrementar su valor, para poder lograrlo es necesario modificar ciertos parámetros físicos, técnicos o tácticos constantemente. Uno de los parámetros más importantes a la hora de hablar de rendimiento deportivo es el VO_2 Máximo o el consumo máximo de oxígeno. Durante este trabajo se desarrolló un sistema de monitoreo de VO_2 para estimar el VO_2 Máximo luego del ejercicio. El sistema se compone de dos partes principalmente (Dispositivo electrónico y Mascara).

Metodología: Primero, se realizaron unas entrevistas a unos expertos en deporte siguiendo un formato previamente diseñado. Para el diseño conceptual del sistema se implementó la metodología de (Ulrich & Eppinger, 2015). Luego se realizaron dos diseños en detalle: El diseño electrónico y el diseño físico para su posterior implementación. Por último, se realizaron las pruebas de caracterización para verificar el funcionamiento electrónico del dispositivo.

Resultados: De acuerdo con los resultados obtenidos en las entrevistas, se definieron los parámetros y las necesidades importantes para la conceptualización del producto. El sistema logro tener de forma física los dos componentes más importantes, la máscara gracias a una donación y el dispositivo impreso en 3D. Sobre el dispositivo electrónico, se logró obtener un circuito analógico que puede medir la concentración de oxígeno en el ejercicio con componentes previamente seleccionados y que puede mandar los datos de forma inalámbrica a un computador para el procesamiento digital de la información y la respectiva visualización de sus variables en una interfaz gráfica creada. Los resultados de la caracterización y las pruebas finales resultaron salir de forma correcta y como se esperaban.

Conclusión: El sistema fue implementado de forma correcta y el proyecto cumplió con los objetivos planteados. Sin embargo, existen muchas posibilidades de mejora para trabajos futuros.

Palabras clave: Oxígeno, Deportista, Instrumentación, Respiración, Portátil.

ABSTRACT

Sport is one of the most influential issues worldwide in the media and in the industry due to its ability to move money and people. What an athlete wants is to achieve their goals and get recognition to increase their value, to achieve this it is necessary to modify certain physical, technical or tactical parameters constantly. One of the most important parameters when talking about sports performance is the VO_2 max or the maximum oxygen consumption. During this work, a VO_2 monitoring system was performed to estimate the VO_2 max after the exercise. The system consists of two parts mainly (electronic device and Mask).

Methodology: First, interviews were conducted with some sports experts following a previously designed format. For the conceptual design of the system, the methodology of (Ulrich & Eppinger, 2015) was implemented. Then two designs in detail were made: The electronic design and the physical design for its later implementation. Finally, the characterization tests were carried out to verify the electronic functioning of the device.

Results: According to the results obtained in the interviews, the parameters and important needs for the conceptualization of the product were defined. The system has physically the two most important components, the masks due to a donation and the device printed in 3D. On the electronic device, it was possible to obtain an electronic circuit that can measure the concentration of oxygen in the exercise with previously selected components and that can send the data wirelessly to a computer for the digital processing of information and the respective visualization of its variables in a created graphic interface. The results of the characterization and the final tests came out correctly and as expected.

Conclusion: The system was implemented correctly, and the project met the objectives set. However, there are many possibilities for improvement for future work.

Keywords: Oxygen, Sports Man, Instrumentation, Respiration, Hand-held

INTRODUCCIÓN

El deporte según la RAE es una actividad física ejercida como juego o competición y cuya práctica supone un entrenamiento, sujeto a ciertas normas (RAE, 2018). Según estudios realizados en la Universidad de los Andes, el deporte tiene muchas implicaciones en la sociedad y el individuo como: promover el desarrollo e integración social, generar sentido de pertenencia, formarse en valores y virtudes, ayuda a la convivencia, estimula el cerebro, eleva la autoestima, forja la disciplina y finalmente reduce el estrés (Carrusel, 2015).

De acuerdo con (Woods, 2017) se puede evidenciar que el 19,5% de la población en EE. UU. practica alguna actividad física regularmente y que la edad donde más se practica la actividad física esta entre 15 y 24 años con un 26%. Los principales deportes que se practican en EE. UU. son béisbol, basquetbol, futbol americano y futbol. En Colombia, en cuanto a las principales ciudades de Colombia como Bogotá se estima que el 85% de las personas que viven en esta ciudad practican un deporte o actividad recreativa (Bogotá mejor para todos, 2014).

Según (Portafolio.com, 2015), el deporte se ha vuelto un negocio muy rentable teniendo un valor de la industria de 1,5 billones de dólares, estando en el top 10 de las industrias más poderosas y en franco crecimiento debido a la popularidad que tienen sus principales actores hasta el punto de volverse celebridades tales como Lionel Messi (Soccer), Rafael Nadal (Tenis), Lebron James (Basquetbol), Usain Bolt (Atletismo), entre muchos más. Según (Johancruyffinstitute, 2017), los dispositivos portátiles en la industria del deporte es la mayor tendencia en el mercado profesional y amateur y se prevé que para 2020 se alcancen 213,6 millones de unidades vendidas con ganancias superiores a los 25.000 millones de dólares. Esto es interesante ya que quiere decir que el dispositivo que se piensa crear va a tener una gran acogida en el mercado nacional puesto que se desarrolló especialmente para colombianos debido a que los otros dispositivos que existen en el mercado son importados y tienen un precio muy elevado, un funcionamiento muy técnico y son más grandes.

En el ámbito deportivo es imprescindible que los jugadores de cualquier deporte mejoren en técnica, táctica o forma física para poder sobresalir y con esto obtener algún logro. En la actualidad existen diferentes formas de monitoreo de deportistas de las variables fisiológicas más importantes involucrada en el rendimiento físico. Una opción de las más eficientes son los sistemas de monitoreo que se encuentran principalmente disponibles para los deportes más practicados a nivel mundial tales como ciclismo, futbol o baloncesto. Sin embargo, para los deportistas de cualquier edad, es muy difícil medir con exactitud ciertas variables fisiológicas que pueden mostrar la mejoría en el rendimiento físico, una de las más importantes es el VO_2 máx. debido al alto costo y la poca portabilidad que tienen los dispositivos.

El presente trabajo muestra el desarrollo completo para el diseño e implementación de un sistema de monitoreo de VO_2 en los deportistas, en donde se busca estimar una valor de consumo máximo de oxígeno o VO_2 máx., a través de la medición de la concentración de oxígeno en la espiración a lo largo de un ejercicio establecido.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

En el capítulo 1 se realizaron los preliminares de trabajo en donde se desarrolla el planteamiento del problema, los objetivos y el marco de referencia, subdividido en el marco teórico y antecedentes. En el capítulo 2 se plantea la metodología empleada en el desarrollo del proyecto en su parte electrónica y física. El capítulo 3 se presentan los resultados obtenidos en todo el proceso de ingeniería para la sinergia de la mecánica y electrónica. Además, se muestran todos los resultados de evaluación realizados al sistema. El capítulo 4 muestra la discusión realizando un análisis detallado de los resultados. Especialmente se hace una discusión del sistema como un todo. El capítulo 8 presenta las conclusiones y consideraciones finales.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

1. PRELIMINARES

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 A lo largo de la historia, las personas han buscado mejorar el rendimiento de sus actividades diarias, ya sea rendimiento académico, laboral o deportivo. El término rendimiento se refiere a cumplimiento o aceptación de una actividad, pero en el ámbito deportivo se define como una acción motriz, cuyas reglas fija la institución deportiva, que permite al sujeto expresar sus potencialidades físicas y mentales. Por lo tanto, el rendimiento deportivo varía dependiendo del deporte y las variables que se necesitan en cada tipo de deporte (Billat, 2002).

En muchas ocasiones no se logra diferenciar los términos de condición física y de rendimiento físico. El rendimiento físico se refiere más a cumplir con la actividad asignada y para eso se necesita tener condición física, que es la suma de las capacidades físicas que tiene un individuo. Normalmente, lo que se busca es mejorar el rendimiento deportivo optimizando la relación entre las capacidades físicas (Rodríguez Camacho, 2013). La condición física se clasifica de diferentes tipos dependiendo del tiempo y de la intensidad con la práctica, la actividad física o el deporte (Prat & Coll, 1987).

En el ámbito del entrenamiento deportivo se define la resistencia aeróbica como el tiempo que puede ser mantenido un esfuerzo de una determinada intensidad, cuando la energía necesaria para poder llevarlo a cabo es suministrada principalmente por procesos metabólicos aeróbicos. La capacidad aeróbica será tanto mayor cuanto más elevada sea la cantidad de energía que pueda suministrar el metabolismo aeróbico. A la cantidad máxima de energía que puede suministrar el metabolismo aeróbico por unidad de tiempo, se la denomina potencia aeróbica máxima o VO_2 máx. Son numerosos los estudios que confirman que los mejores atletas de resistencia tienen en general elevados valores de VO_2 máx. (VO_2 máx. > 70 ml/kg/min) (FUNES, 2014).

La potencia aeróbica máxima (PAM) a través del consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx..) está considerada como el indicador más fiable para determinar la condición física a nivel cardiovascular y respiratorio de cualquier deportista. Si hablamos de esfuerzos interválicos, la capacidad de recuperación será la que nos permita afrontar nuevos esfuerzos con garantías de éxito (Alvarez Medina, Gimenez Salillas, Manonelles Marqueta, & Corona Virón, 2001).

Para el ámbito práctico deportivo se utilizan diferentes procedimientos evaluativos para estimar variables aeróbicas de forma indirecta con diversos porcentajes de error mayores en comparación con valoraciones de las variables de forma directa. Mientras diversos estudios sugieren correlaciones a partir de procedimientos directos en condiciones de laboratorio, existe poca evidencia de valoraciones bajo condiciones específicas o próximas al juego. Por lo tanto, para tener una mayor precisión de las variables aeróbicas es necesaria la utilización de tecnología que mida de forma directa, en el campo y en condiciones de juego al deportista (Antivero & Vargas, 2007).

Una prueba de esfuerzo –llamada también ergoespirometría– permite conocer la relación entre el aparato cardiovascular, el respiratorio y el sanguíneo, y está especialmente indicada para

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

evaluar el efecto que causa sobre el corazón el ejercicio físico que la persona en cuestión realiza. Con esta prueba se pueden medir diversos parámetros, entre los más destacados son el consumo de oxígeno, frecuencia cardiaca, potencia en watts y velocidad del deportista. Además, se puede medir la condición física de una persona y el VO_2 máx. de una persona de forma indirecta. (Martinez San Juan, 2017)

Sin embargo, para la medición del VO_2 máx. de una forma más precisa y directa en deportistas se utilizan dispositivos que analizan gases en la respiración y analizan el metabolismo anabólico que tiene la persona.

Debido a la alta influencia que tiene el deporte en la actualidad y la cantidad de deportistas de alto rendimiento que existen tanto a nivel nacional como a nivel mundial, se hace necesario un dispositivo con la capacidad de monitorear de forma continua y de forma inalámbrica la concentración de oxígeno y así estimar el VO_2 Máximo de un deportista. Con el objetivo de presentar información relevante que presenta esta variable y con un potencial uso en campo siendo lo menos intrusivo posible y con esto mostrar el rendimiento físico real.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2

1.2.1 Objetivo General

Desarrollar un dispositivo para la medición en campo de VO_2 máximo, para el monitoreo continuo del rendimiento en deportistas a partir de estrategias de instrumentación electrónica.

1.2.2 Objetivos Específicos

Seleccionar una técnica a utilizar para la medición de VO_2 máximo por medio de metodología establecida.

Desarrollar un sistema de instrumentación electrónica que permita medir el VO_2 máximo combinando estrategias de software, hardware y firmware.

Implementar un mecanismo que permita el acople del sistema de instrumentación al deportista.

Caracterizar el sistema de instrumentación por medio de un protocolo de pruebas en un ambiente controlado.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

1.3 MARCO DE REFERENCIA

1.3.1 Antecedentes

El presente trabajo busca medir y evaluar una de las variables fisiológicas más importantes en el rendimiento de los deportistas que es el VO_2 Máximo por medio de un dispositivo programable. Por lo anterior se considera pertinente mostrar los diferentes estudios y productos comerciales relacionados con el trabajo. Además, se hará una breve descripción de cada uno.

Los trabajos de (Iaiche, Toraa, & Friemel, 1996) y de (Maiolo, Melchiorri, Iacopino, Masala, & De Lorenzo, 2003) hicieron comparaciones sobre los sistemas de análisis de telemetría o análisis de gases tales como K2 Cosmed con los métodos tradicionales e indirectos descritos posteriormente con el objetivo de encontrar la validez de los dos tipos de métodos y encontrar la mayor confiabilidad.

En la patente (United States Patente nº 6.026.320, 2000) buscaron una forma alternativa para identificar el VO_2 Máximo de una forma no invasiva, rápida y sin tener que utilizar diferentes mascaros o dispositivos electrónicos. Esta patente encontró una relación directa que hay entre el ritmo cardiaco y esta variable, entre otras variables respiratorias.

En el experimento de (Garatachea & de Paz Fernandez, 2001) mostraron la fiabilidad que tiene el método de encontrar el VO_2 máximo a partir de la frecuencia cardiaca, los resultados dieron que el porcentaje medio de error era de 1,47%. Por lo que puede ser utilizado para deportistas aficionados. Sin embargo, para deportistas profesionales y elite el error debe tender a 0.

En el estudio (Boraita, y otros, 2010) utilizaron una caminadora, una bicicleta y un ergoespirometro para que por medio de un análisis de flujo de gases y de ventilación pulmonar, se pudiera obtener diferentes parámetros como lo son el VO_2 máximo absoluto y el VO_2 máximo relativo al peso.

Actualmente en el mercado, se cuentan con diferentes dispositivos para la medición directa del VO_2 máximo:

- Ergoespirometro LABTECH: es un dispositivo alámbrico que mide diferentes variables fisiológicas como flujo espiratorio, VO_2 máximo, volumen corriente, presión arterial entre otros. Además, tiene diferentes modos de ejercicio y modos de medida dependiendo de lo que necesita cada paciente (Twister Medical, 2014).
- K5 Wearable Metabolic Technology: es la última generación del sistema electrónico portátil desarrollado por la empresa Cosmed para medir el metabolismo en campo y en pruebas clínicas de una forma sencilla y amigable para los usuarios. Con un error de precisión muy pequeño para que las mediciones sean mejores a pesar del movimiento. También puede ser enlazado de forma inalámbrica con diferentes dispositivos (Cosmed, 2018).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Ergo espirómetro CORTEX: se utiliza en los ámbitos de la medicina, el deporte o *fitness* y se desarrollan con el objetivo de ofrecer un equipo de sencillo manejo, pero con las máximas prestaciones del mercado. Tiene diferentes modelos dependiendo de las necesidades, las condiciones que se tiene y las variables que se quiere medir (Aemedi, 2018).
- Ergo espirómetro Ergostik Geratherm®: el sistema utiliza un software de Blue Cherry y un diseño de sensor de ergoespirometría único. Con esto puede hacer diferentes pruebas como: espirometría lenta, curvas flujo-volumen, máxima ventilación voluntaria, pruebas de esfuerzo BxB. Además, se puede disponer de un EKG de 12 canales (Geratherm, 2018).
- Espirómetro de ordenador Care Fusion Vyntus® SPIRO: el dispositivo de Ergoespirometría de la marca alemana Care Fusion® consiste en un transductor de flujo y de volumen con lo que pueden ser medidas diferentes variables. Una de sus características principales es la fácil configuración para computador y que es portátil.

Después de una búsqueda realizada sobre los diferentes ergo espirómetros o de dispositivos similares al planteado en el proyecto, se encontró que no existe en Colombia, alguna empresa o proyecto que los fabrique o lo esté desarrollando. Además, en Colombia existen muy pocos equipos de medición de VO_2 máximo de forma directa debido a sus altos costos, su difícil importación al país o incluso por el desconocimiento de estos.

1.4 MARCO TEÓRICO

La descripción del marco teórico para abordar el tema de investigación comienza con un acercamiento sobre el deporte y sobre el sistema cardiorrespiratorio, pasando por la variable de interés con la finalidad de construir un marco teórico que oriente al desarrollo de la investigación. Por último, se dan detalles sobre la instrumentación. La Figura 1 representa el mapa conceptual de las temáticas que serán abordadas y su interrelación.

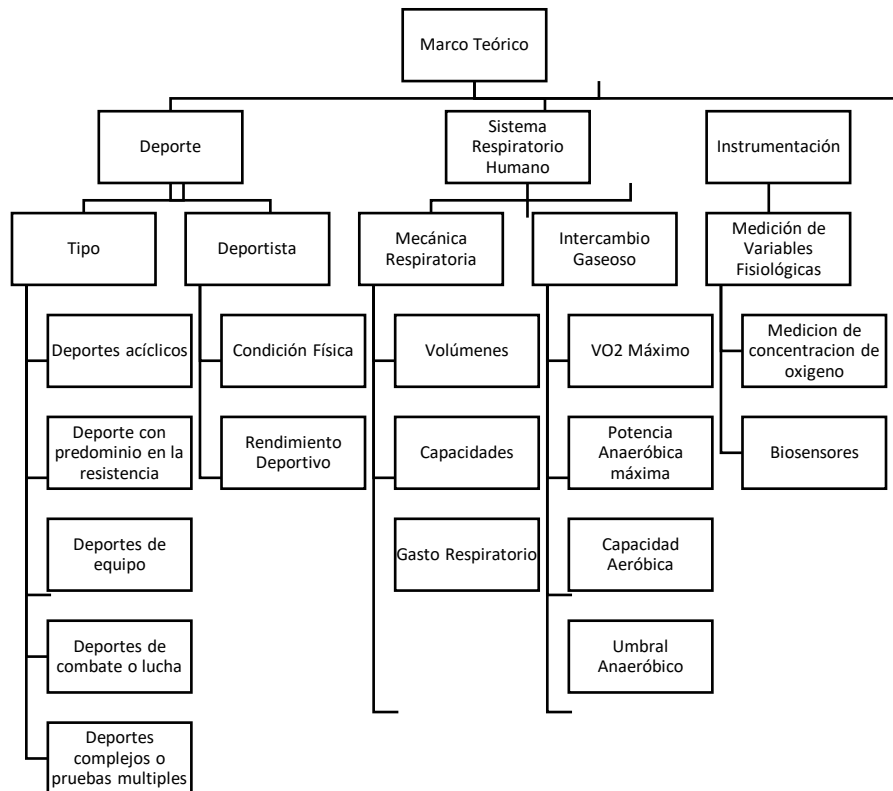


Figura 1: Mapa Conceptual de Marco teórico

1.4.1 Deporte

El deporte se define como una actividad física, básicamente de carácter competitivo y que mejora la condición física del individuo que lo practica cuya práctica requiera de entrenamiento y seguir ciertas normas (Concepto definicion, 2014). Una actividad física se considera cualquier movimiento corporal producido por los músculos esqueléticos que exija gasto de energía. Sin embargo, el ejercicio es una variedad de actividad física planeada, estructurada, repetitiva y realizada con un objetivo relacionado con la mejora o el mantenimiento de uno o más componentes de la aptitud física (OMS, 2017). Existen múltiples criterios para acotar el deporte que son: competición, aceptación del reglamento, búsqueda de la excelencia, igualdad de oportunidades, esfuerzo, actividad física, "fair play", la existencia de una federación deportiva, entre otros. (Riera Riera, 1997)

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

A partir de una búsqueda bibliográfica sobre los diferentes tipos de deportes, una de las clasificaciones que se obtuvo fue la propuesta soviética de (Matveev, 1975) que consistió en lo siguiente:

- Deportes acíclicos
- Deporte con predominio de la resistencia
- Deportes de equipo
- Deportes de combate y lucha
- Deportes complejos y pruebas múltiples

Deportista

A. Un deportista es una persona que practica de forma consistente un deporte o una actividad para mejorar su condición física. El deportista utiliza el medio para sustentarse y desplazarse. Además, en la mayoría de las modalidades, el deportista dispone de ayudas, soportes, vehículos y protecciones para mejorar su adaptación al medio (Riera Riera, 1997). Las características físicas y biológicas como la fuerza explosiva, la fuerza máxima, la fuerza prolongada, la flexibilidad, la dominancia lateral, la altura y el peso contribuyen a la adaptación al medio y a responder con precisión, rapidez y con intensidad adecuada a los requerimientos del entorno deportivo (Riera Riera, 1997).

➤ **Capacidades físicas**

Según con (Guio Gutierrez, 2010), las capacidades físicas se definen como las características individuales de la persona, determinantes en la condición física, se fundamentan en las acciones mecánicas y en los procesos energéticos y metabólicos de rendimiento de la musculatura voluntaria. Las capacidades físicas son las más observables y se caracterizan porque se pueden medir y se pueden desarrollar con el entrenamiento y la práctica sistémica y organizada del ejercicio físico.

Capacidades físicas condicionales

Están determinadas por factores energéticos que se liberan en el proceso de intercambio de sustancias en el organismo humano, producto del trabajo físico. Estas son capacidades energético-funcionales del rendimiento, que se desarrollan producto de las acciones motrices consiente del individuo (Nanclares Duque & Serna Cordoba, 2018)

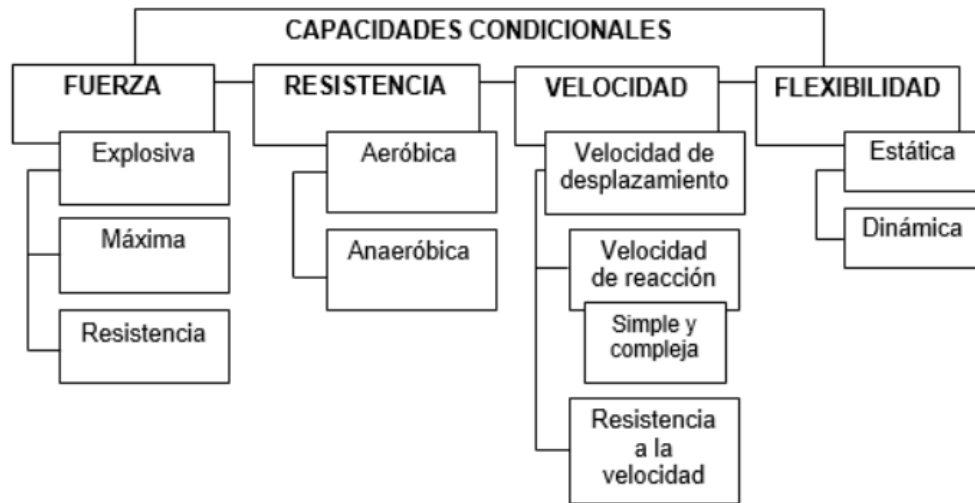


Figura 2: Clasificación de las capacidades físicas condicionales (Nanclares Duque & Serna Cordoba, 2018)

Capacidades físicas coordinativas

Según (Alvarez Soto, 2009), Las capacidades coordinativas o también denominadas motrices se interrelacionan entre sí, y solo son efectivas a través de una unión entre las demás capacidades coordinativas, es decir, para la ejecución de una acción motriz, el individuo tiene que ser capaz de aplicar un conjunto de capacidades para que esta acción se realice con un alto nivel de rendimiento. Entre sus capacidades principales se encuentran la reacción, el ritmo, el equilibrio, la orientación, la adaptación, la diferenciación y la sincronización o acoplamiento.

Rendimiento deportivo

De acuerdo con (Gale, 2007), el rendimiento deportivo es una mezcla compleja de funciones biomecánicas, factores emocionales y técnicas de entrenamiento. El rendimiento en un contexto atlético tiene una connotación popular de representar la búsqueda de la excelencia, donde un atleta mide su desempeño como una progresión hacia la excelencia o el logro.

El rendimiento deportivo tiene cuatro aspectos que incluyen factores neuromusculares, la relación entre el sistema nervioso y sus dimensiones y el sistema musculoesquelético; control mental y factores psicológicos; condiciones ambientales; y entrenamiento y apoyo externo para el atleta (Gale, 2007).

1.4.2 Sistema Respiratorio

De acuerdo con (Levitzky, 2013), El sistema respiratorio está compuesto por los pulmones, las vías aéreas, las partes del sistema nervioso central que controlan los músculos respiratorios y la pared torácica. Según (Plowman & Smith, 2011), el sistema respiratorio consiste en dos grandes porciones: La zona conductiva y la zona respiratoria.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Las principales funciones del sistema respiratorio incluyen intercambio gaseoso, balance ácido-base, fonación, defensa pulmonar y metabolismo (Levitzky, 2013).

Mecánica Respiratoria

Capacidades y Volúmenes

- A. Según (Levitzky, 2013) y (West, 2012), la mecánica respiratoria se compone de volúmenes y capacidades, presiones, músculos y la influencia del tórax en la respiración y la interacción entre ellas para el proceso de respirar e intercambio gaseoso. Además, existen fuerzas durante el proceso tales como la resistencia, la compliance y la viscoelasticidad.

La respiración externa está dividida en inspiración y espiración, se modifica el volumen pulmonar total al entrar y salir el volumen de aire de los pulmones que se muestra en Figura 3 (Tortora & Derrickson, 2013). Entre ellos están:

- Volumen tidal o volumen corriente (VT): el volumen tidal es la cantidad de aire que entra y sale de la nariz o la boca por respiración. Durante una respiración en reposo o eupnea, el volumen corriente de un adulto de 70kg es aproximadamente de 500ml por respiración.
- Volumen inspiratorio de reserva o volumen complementario (IRV): Es el volumen adicional que puede entrar en la inspiración máxima, generalmente 3000 ml (Martin Cuenca, 2006). Está determinada por la fuerza de contracción de los músculos inspiratorios, el retroceso elástico interno del pulmón y la pared torácica, y el punto de partida, que es el FRC más el VT (Levitzky, 2013).
- Volumen espiratorio de reserva (ERV): es el volumen que puede expulsarse en una espiración máxima, generalmente 1200 ml (Martin Cuenca, 2006). Por lo tanto, es determinado por la diferencia entre la capacidad funcional residual y el RV (Levitzky, 2013).
- Volumen residual (RV): el que permanece en los pulmones después de la espiración máxima (Martin Cuenca, 2006). Según (Levitzky, 2013), Está determinada por la fuerza generada por los músculos de la espiración y el retroceso elástico interno de los pulmones, ya que se oponen al retroceso elástico externo de la pared torácica. El volumen residual para una persona sana de 70 kg es aproximadamente de 1.5L y es importante porque previene el colapso de los pulmones bajo presiones muy bajas.
- Capacidad vital (VC): es el volumen máximo que puede ser espirado después de una inspiración máxima, aproximadamente de 4500 ml (Martin Cuenca, 2006). La capacidad vital puede ser determinada de dos maneras, la TLC menos la RV o la suma de VT con la IRV y la ERV (Levitzky, 2013).
- Capacidad de inspiración (IC): volumen que es inhalado en los pulmones después de una inspiración máxima y que empieza luego de una espiración normal (FRC). Se

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

determina por la suma de VT con la IRV, en un adulto sano promedio es de aproximadamente 3 L (Levitzky, 2013).

- Capacidad funcional residual (FRC): volumen que queda en el pulmón tras una espiración normal. Aproximadamente 2400 ml (Martin Cuenca, 2006). Debido a que tradicionalmente se asumió que ningún músculo de la respiración se contrae al final de una espiración normal, se suele considerar que el FRC representa el punto de equilibrio entre el retroceso elástico interno de los pulmones y el retroceso elástico externo de la pared torácica (Levitzky, 2013).
- Capacidad pulmonar total (TLC): volumen en el pulmón tras una inspiración máxima, para un adulto sano de 70 kg es aproximadamente 6000 ml (Martin Cuenca, 2006). Está determinada por la fuerza de contracción de los músculos inspiratorios y el retroceso elástico interno de los pulmones y la pared torácica. Consiste en los cuatro volúmenes del pulmón: El RV, el VT, el IRV y el ERV (Levitzky, 2013).

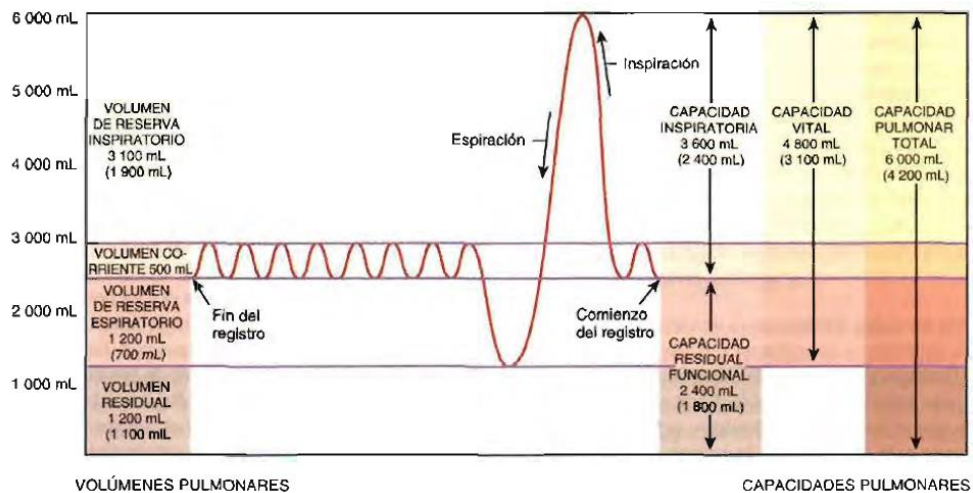


Figura 3: Volúmenes y capacidades pulmonares

Gasto Respiratorio

- B. También llamado Ventilación es el volumen de gas inspirado o espirado durante un tiempo determinado. Generalmente para un adulto promedio es de 7L/minuto. Sin embargo, cuando se realizan trabajos corporales o actividad física el volumen respiratorio por minuto aumenta considerablemente (Martin Cuenca, 2006).

Intercambio Gaseoso

El intercambio gaseoso es el proceso el cual se realiza un cambio de gases entre oxígeno que se adquiere en el aire y el dióxido de carbono resultado del metabolismo celular para la producción de energía en el cuerpo (West, 2012).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

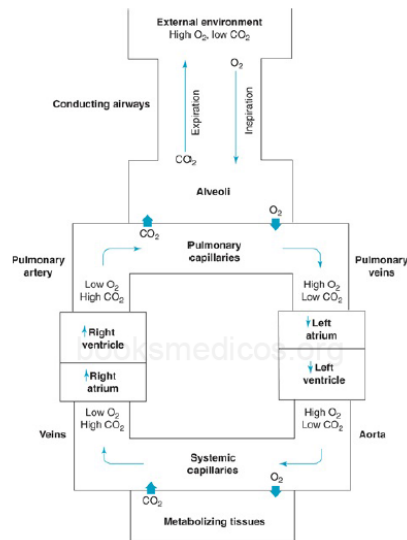


Figura 4: Representación esquemática del intercambio gaseoso entre los tejidos y el ambiente (Levitzky, 2013)

El proceso de intercambio gaseoso en el organismo se divide en tres pasos básicos (Tortora & Derrickson, 2013) :

1. Ventilación Pulmonar: Es la inspiración y espiración de aire entre la atmosfera y los alveolos pulmonares (Plowman & Smith, 2011).
2. Respiración Externa: Es el intercambio gaseoso entre los alveolos pulmonares y la sangre de los capilares pulmonares (Plowman & Smith, 2011).
3. Respiración Interna (celular): Es el intercambio gaseoso entre la sangre en capilares sistémicos y las células tisulares (Plowman & Smith, 2011).

VO₂ Máximo

VO₂ Máximo es un factor de medida utilizado para cuantificar el rendimiento de un deportista. Estrictamente se define como la cantidad (volumen) de oxígeno que consumes mientras realizas una actividad deportiva a alta intensidad. Se expresa en milímetros de oxígeno utilizados en un minuto por kg de peso corporal. (Colomer, 2013). El VO₂ Máximo depende de varios factores fisiológicos: la ventilación pulmonar, la capacidad difusora de los pulmones, el tamaño del corazón, la capacidad de la sangre para transportar el oxígeno, la utilización muscular del oxígeno y el tipo de fibras musculares (MountainBike.es, 2016). La gráfica de VO₂ máx. en hombres y mujeres se muestra Figura 5 extraída de (PersonalRunning.com, 2017).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

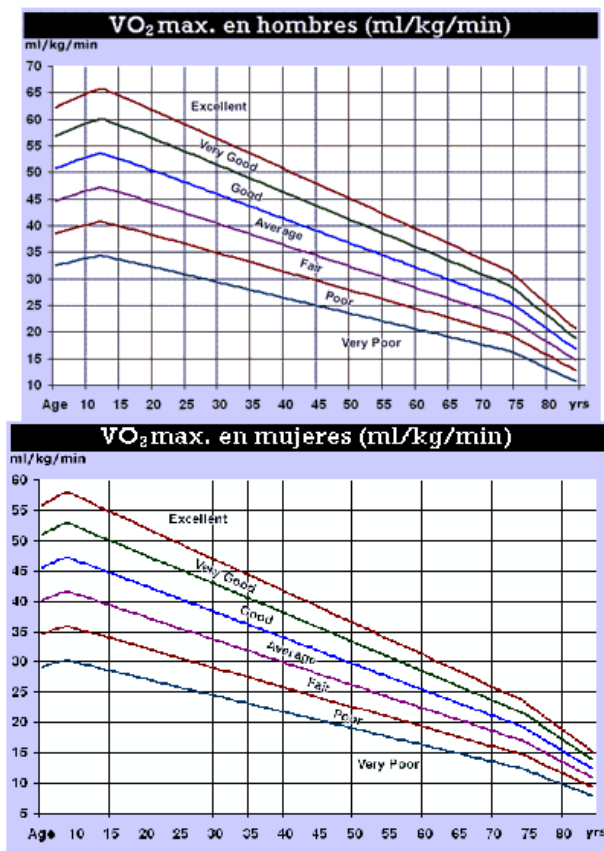


Figura 5: Grafica VO₂ Máx. en hombres y mujeres

➤

Potencia Aeróbica Máxima

La potencia anaeróbica máxima es la cantidad máxima de energía aeróbica que puede generar un sujeto (deportista) por unidad de tiempo, que se sitúa lo más cercano posible a el umbral anaeróbico. Es la potencia alcanzada al momento de llegar al VO₂ Máximo. Este parámetro se mide en Watts. (Vela, 2015)

Capacidad Aeróbica

Capacidad que tiene un individuo para consumir oxígeno y poder producirlo intracelularmente con el objetivo de producir energía durante actividades de exigencia física rigurosa y de larga duración. La capacidad aeróbica ha sido considerada como la medida fisiológica más importante para pronosticar el rendimiento físico de un individuo en actividades de larga duración. Los factores orgánicos que la afectan son: aparato ventilatorio, sangre, corazón, vasos sanguíneos, metabolismo intracelular, sistema endocrino, sistema neuromuscular, entre otros. Los factores externos que la afectan son: medio ambiente, sexo, edad, entrenamiento físico y herencia (Martinez, 1985).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Umbral Anaeróbico

El umbral anaeróbico se refiere al punto o zona de transición entre el metabolismo aeróbico y el metabolismo anaeróbico, es decir, es la zona de transición entre una intensidad en la que la obtención de energía es aeróbica y otra intensidad del ejercicio más alta en la que la obtención de energía necesita del metabolismo anaeróbico láctico (Gutierrez Vargas, 2006).

- Según Wasserman, es la intensidad de ejercicio o trabajo físico, por encima de la cual empieza a aumentar de forma progresiva la concentración de lactato en sangre, a la vez que la ventilación se intensifica también de una manera desproporcionada con respecto al oxígeno consumido (Biolaster, 2017). Según (Ghosh, 2004), el concepto del umbral anaeróbico o umbral de lactato fue introducido para definir el punto cuando la acidosis metabólica y los cambios asociados al intercambio gaseoso ocurren durante el ejercicio. La Figura 6 de Figura 6: Grafica de Umbral Anaeróbico muestra los cambios de del consumo de oxígeno de acuerdo con la ventilación espiratoria.

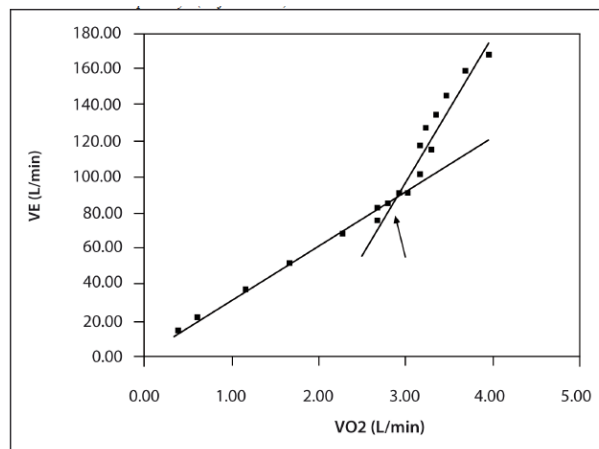


Figura 6: Grafica de Umbral Anaeróbico (Ghosh, 2004)

1.4.3 Instrumentación

De manera general, la instrumentación es la técnica de utilizar aparatos de medición con el propósito de identificar el valor de ciertas variables, físicas o químicas y frecuentemente con el propósito de mantener esas variables dentro de limitaciones específicas (Dulhoste, 2008). En este proyecto lo que se busca es medir una variable importante en el sistema cardiorrespiratorio como lo es la concentración de oxígeno de la espiración a partir de un análisis de gases con un tiempo y ejercicio específico para poder estimar el valor máximo de consumo para los deportistas y así lograr conocer un parámetro importante de su rendimiento físico.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

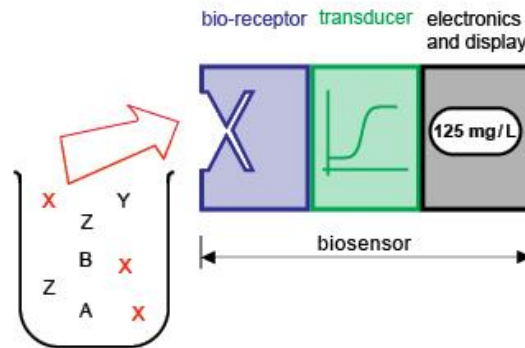
Medición de variables fisiológicas respiratorias

Para la medición de variables fisiológicas del sistema respiratorio, se realizan diferentes medidas como presión, flujo, volumen, concentración, entre otras más. Para este proyecto se necesitaba realizar una medición de la concentración de gases (O₂) en especial la concentración de oxígeno en la espiración utilizando sensores especializados para este fin.

A.

Biosensor:

De acuerdo con (Merriam Webster, 2018), es un dispositivo que se compone de un componente biológico (como una enzima o una bacteria) que reacciona con la sustancia objetivo y un componente electroquímico o óptico que detecta los productos y emite una señal eléctrica. Es un dispositivo autónomo de receptor-transductor integrado, capaz de proporcionar información analítica cuantitativa o semicuantitativa selectiva y que utiliza un elemento de reconocimiento biológico (receptor biológico) y un transductor en contacto espacial directo (Strehlitz, 2017).



➤ **Figura 7: Diagrama de bloques de la composición de un biosensor (Strehlitz, 2017)**

Medición de concentración de gases

El análisis de la composición de la mezcla de gases es uno de los principales métodos para obtener información sobre la función del pulmón. Los dispositivos para mediciones en un gas varían en complejidad y capacidades como el espectrómetro de masas, el analizador infrarrojo y el sensor paramagnético de oxígeno (Webster, 2010).

Medición de concentración de oxígeno

Para la medición de la concentración de oxígeno en gases no se pueden utilizar instrumentos de emisión y absorción de infrarrojo como la fotopleletismografía. Sin embargo, existen otros métodos como los espectrómetros de masa, sensores polarográficos, sensores galvánicos, sensor de celda de combustible y sensor paramagnético (Webster, 2010). Los principios de

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

funcionamiento de las celdas de oxígeno están explicadas en (Webster, 2010) que son los siguientes:

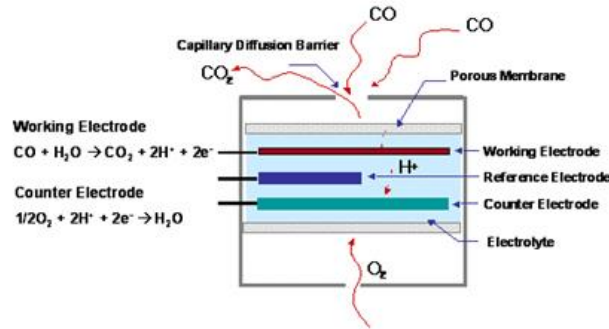


Figura 8: Funcionamiento del sensor galvanométrico (Senko, 2013).

a. Sensor Galvánico de oxígeno

Las celdas galvánicas comprenden dos electrodos de metales diferentes en una solución electrolítica. El electrolito es una solución básica como el hidróxido de potasio que puede estar en forma de un gel. A medida que el oxígeno se difunde hacia la celda, el ánodo genera el potencial electroquímico requerido para reducir el oxígeno a iones hidroxilo en el cátodo. Los iones hidroxilo oxidan la base del ánodo produciendo electrones que, si los electrodos están conectados por un conductor externo, viajan al cátodo y se pueden medir como una corriente (Webster, 2010).

b. Sensores de oxígeno de celda de combustible

Una celda de combustible que ha encontrado aplicaciones respiratorias utiliza una membrana de circonio calentada para separar un gas de referencia de un gas de prueba que contiene oxígeno. Los electrodos de platino se depositan en cada lado de la membrana y se conectan entre sí a través de un circuito externo. La diferencia de potencial entre los dos lados de la membrana viene dada por la ecuación de Nernst y está relacionada con el logaritmo de la proporción de concentración de O₂ en cada lado de la membrana. Por lo tanto, si la presión total de los gases es la misma en ambos En los lados de la membrana, el voltaje de salida no se verá afectado por los cambios en la presión ambiental (Webster, 2010).

c. Sensores paramagnéticos de oxígeno

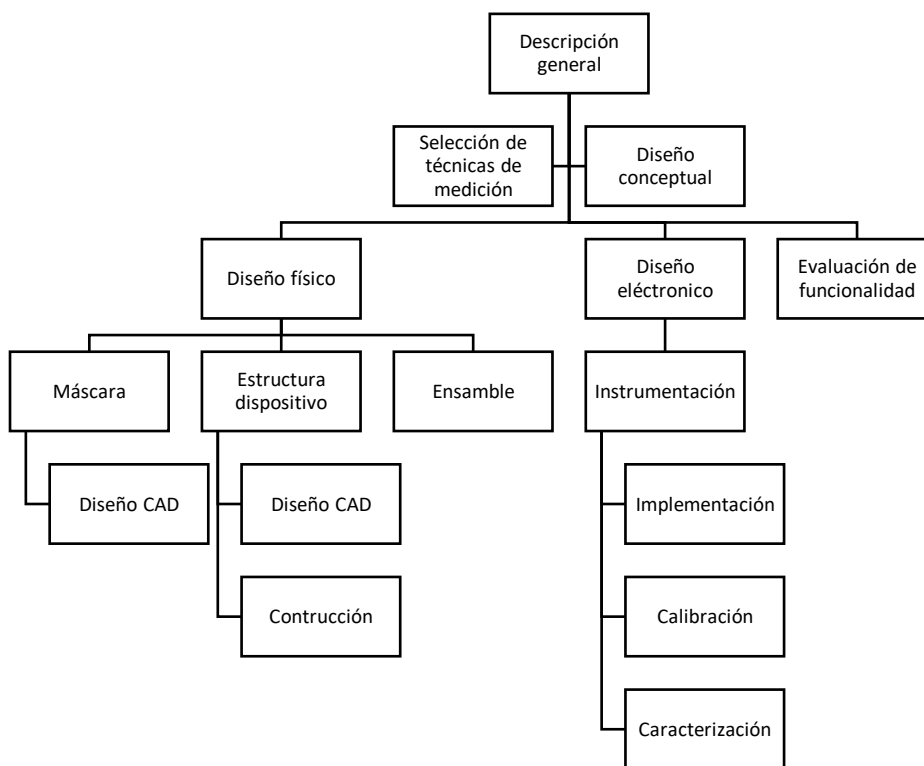
El paramagnetismo se caracteriza por una susceptibilidad magnética positiva. La alta susceptibilidad magnética del hierro, el ferromagnetismo, es un caso especial de paramagnetismo. La mayoría de los gases son diamagnéticos, rechazados por un campo magnético y, por lo tanto, presentan susceptibilidades negativas (Webster, 2010).

2. METODOLOGÍA

PROCEDIMIENTO

En este proyecto se abordó la investigación desde dos frentes. La Figura 9 presenta una descripción general de los contenidos desarrollados durante el transcurso de este trabajo. Se consideran el desarrollo mecánico y el desarrollo electrónico como subsistemas del desarrollo global del Sistema de monitoreo de VO₂ para deportistas.

2.1



2.2

Figura 9: Descripción general del proyecto

SELECCIÓN DE TÉCNICA A UTILIZAR PARA LA MEDICIÓN DE VO₂ MÁXIMO

2.2.1 Entrevistas a expertos

Durante el desarrollo del proyecto se hicieron siete entrevistas a siete expertos en el deporte entre ellas dos entrenadores de gimnasio, cuatro médicos deportólogos y un profesor de biomecánica sobre el rendimiento deportivo, el VO₂ máximo, las técnicas de medición y por último, la opinión sobre el dispositivo que se va a desarrollar. Estas fueron realizadas en el lugar de trabajo de cada persona.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Los expertos entrevistados se enlistan en la Tabla 1:

Tabla 1: Información Básica Entrevistados

<i>Nombre Completo</i>	<i>Ocupación</i>
José Ricardo Duque	Medico Deportólogo y Profesor de fisiología y fisiología deportiva en la Universidad Ces
José Gabriel Rodríguez	Entrenador de gimnasio Universidad EIA
Juan Carlos Quinto	Entrenador de gimnasio Be Smart Gym
Felipe Eduardo Marino	Médico especialista de la actividad
Carlos Alberto Agudelo Velásquez	Coordinador del pregrado en Entrenamiento Deportivo UdeA
José David García	Médico especialista en medicina deportiva
Andres Torres Velásquez	Profesor de biomecánica Universidad EIA

Cada encuesta consistió en siete preguntas abiertas y tres preguntas de información básica para validar la entrevista.

El formato de entrevista se puede ver con más detalle en el ANEXO 4

Además de estas entrevistas, en los laboratorios de UdeA y de Indeportes se habló directamente con los encargados de los dispositivos similares al que se va a desarrollar en el trabajo que son K4 Cosmed y Oxycon Delta respectivamente. De acuerdo con esto, se clarificaron los conceptos para el desarrollo del dispositivo electrónico y el sistema de monitoreo porque se explicó el funcionamiento de cada uno de los dispositivos y los componentes que tienen.

2.2.2 Técnicas de medición de VO₂ máx. por bibliografía

A partir de las respuestas que fueron entregadas por los expertos sobre las diferentes técnicas que existen actualmente, se realizó una búsqueda bibliográfica en páginas web certificadas y en libros. Se buscó sobre las técnicas de medición mencionadas en las entrevistas, en qué consistían, que equipos necesitaban y que formulas utilizaban para adquirir el VO₂ máx.

2.2.3 Selección de la técnica de medición

La selección de la técnica de medición se hizo a partir de la información extraída de la búsqueda bibliográfica y la respuesta de la pregunta 6 de la entrevista sobre confiabilidad en las técnica.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Para la realización de la comparación se realizó una tabla de cumplimiento entre la técnica directa e indirecta de acuerdo con factores fundamentales escogidos por el autor. Los factores fueron bajo costo, precisión alta, confiabilidad, portabilidad, número de materiales para el desarrollo y si puede afectar al deportista durante la actividad.

De acuerdo con la tabla, se escogió la técnica más adecuada para la medición de concentración de oxígeno en deportistas.

2.3 PROCEDIMIENTO PARA EL DESARROLLO MECÁNICO

2.3.1 Diseño conceptual de sistema

Para el diseño conceptual fueron planteadas varias soluciones basadas en ideas propias y en mejoras de sistemas existentes, basados en el método propuesto por los autores (Ulrich & Eppinger, 2015) como se puede ver en la Figura 10.

Para la realización de las actividades en esta sección se utilizó una metodología basada en la que brinda (Ulrich & Eppinger, 2015). Como este trabajo se hace partiendo de la necesidad planteada anteriormente en el anteproyecto, se empieza desde la lista de necesidades del problema.

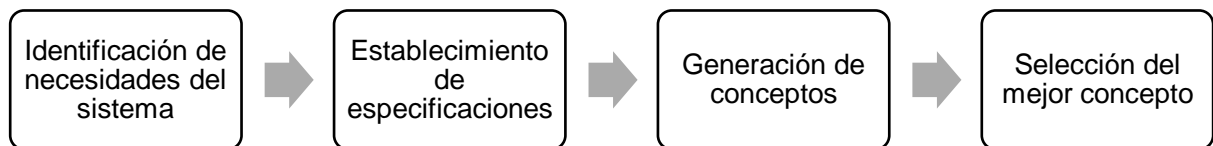


Figura 10: Metodología elegida para diseño conceptual

La lista de necesidades se llenó a partir de las explicaciones y las conversaciones tenidas con los deportólogos expertos en el tema, sobre las sensaciones de los deportistas y la de los entrenadores mientras se ejercían las pruebas y como se podían mejorar. Se definió su importancia relativa (entre 1 – 5, siendo 5 el valor máximo y 1 el valor mínimo) de acuerdo con las respuestas de los expertos y la experiencia propia.

Para realizar las listas de especificaciones se utilizó como base las máscaras y las hojas de datos de los dispositivos Oxycon Delta y K5 Cosmed. Para esto se realizó una lista de métricas.

A partir de la lista de necesidades y de los requerimientos establecidos, se realizó una matriz de acuerdo con un análisis sobre el funcionamiento y sobre lo que se espera del sistema.

Una vez identificadas las necesidades y requerimientos del dispositivo se realiza la lista de criterios de selección de los conceptos y del producto, la cual facilitó la labor de escoger entre las diversas posibilidades existentes. Los criterios fueron utilizados para la selección del concepto de acuerdo con el porcentaje de importancia.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Inicialmente se representó el producto de manera global como una caja negra donde se tienen entradas y salidas de energía, movimientos mecánicos y señales. La caja negra se diseñó con los conocimientos previos que se tenía de los sistemas de instrumentación deportiva.

Luego se procedió a realizar la caja transparente de funciones con el fin de explicar lo que pasa adentro de la caja negra a partir de un diagrama de bloques y como de las entradas se obtienen las salidas. Después, se enlistaron y se enumeraron las funciones.

A partir de las funciones definidas anteriormente, se generaron diferentes alternativas de solución para cada función con una matriz morfológica.

Por último, se desarrolló una matriz de selección con las calificaciones de forma objetiva que se le dio a cada de las funciones evaluándolas con los porcentajes de importancia anteriormente definidos para cada necesidad.

2.3.2 Diseño CAD de sistema

A partir del software Siemens Solid Edge®, se realizó un CAD que incluía todos los aspectos definidos anteriormente en la lista de necesidades. Además, se tuvieron en cuenta otros aspectos como la posibilidad de acople entre la máscara y el dispositivo, la ubicación más óptima del dispositivo. Se realizaron diferentes CAD de acuerdo con los partes físicos que podían influir en el diseño tales como la máscara, la estructura, la PCB, la batería, el botón y sus respectivos tornillos para ajustar todo.

2.3.3 Diseño físico de sistema

Utilizando los diseños CAD que se realizaron previamente en el software correspondiente, se decidió imprimir la estructura del dispositivo electrónico en el laboratorio de Metalmecánica de la Universidad EIA utilizando los requerimientos correspondientes. En cuanto a la máscara, se decidió utilizar una máscara comercial recomendada y donada por un experto en máscaras de oxígeno en la ciudad de Medellín.

2.4 PROCEDIMIENTO PARA EL DESARROLLO ELECTRÓNICO

Durante esta fase se siguieron los siguientes pasos presentados en la Figura 11

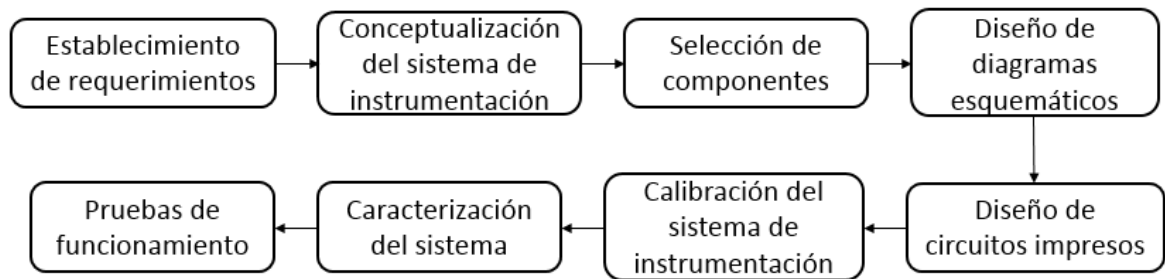


Figura 11: Procedimiento para el desarrollo del sistema de instrumentación.

2.4.1 Establecimiento de requerimientos

Este proceso sigue la metodología propuesta por (Ulrich & Eppinger, 2015) de forma indirecta. El establecimiento de requerimientos y la conceptualización del sistema de instrumentación parten de las necesidades establecidas en la fase de desarrollo mecánico, además de integrar las necesidades específicas del desarrollo electrónico como son: la conceptualización de las entradas y salidas de los circuitos, los requerimientos de alimentación, aislamiento, comunicación, procesamiento, digital y analógico, y conectividad.

2.4.2 Selección de componentes

Para la selección de el sensor y los componentes electrónicos más adecuados para el sistema se siguieron los siguientes pasos:

Primero, se realizó una búsqueda bibliográfica en páginas web donde comercializan componentes electrónicos, en tiendas de electrónica en Medellín y Colombia; y a partir de recomendaciones de gente con conocimientos en el tema se sacó una lista de sensores que se acomodaban a las necesidades, los requerimientos técnicos y al presupuesto del trabajo.

Luego, se obtuvo una lista de criterios técnicos con su respectivo porcentaje de importancia en el trabajo para poder evaluar y seleccionar el sensor más apropiado. La matriz consistió en evaluar cada parámetro de los sensores con una puntuación de 1 a 5, siendo 5 el mejor y 1 el peor. De acuerdo con las calificaciones finales de la matriz de selección, el sensor con mayor calificación final fue elegido para utilizarlo en el trabajo.

Por último, se eligieron los componentes electrónicos (Resistencias, Capacitores, Amplificadores) que mejor se acomodaban a las necesidades y a las características que pedía el mismo proyecto.

2.4.3 Diseño de esquemáticos

A partir de las necesidades, los requerimientos y la selección, se realizaron los cálculos teóricos para cada una de las fases que iban a componer el sistema. Luego de que se realizaron las pruebas iniciales y se tuvo una idea general del sistema de medición, se procedió

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

al diseño de los esquemáticos en el software Altium Designer®. Fue de gran importancia tener claro los componentes a usar, los requerimientos de alimentación y la manera de adquisición de las señales.

2.4.4 Simulación de los esquemáticos

Luego de realizar los esquemáticos se procedió a la simulación del circuito electrónico, utilizando el software Altium Designer® para verificar el funcionamiento de los filtros y de la electrónica. Luego se guardaron los datos en una matriz numérico que fue graficada en Matlab®

2.4.5 Pruebas de funcionamiento

A partir de la verificación del funcionamiento de la electrónica en simulación, se realizaron las pruebas de funcionamiento del circuito utilizando fuentes de voltajes y realizando el montaje en una protoboard. Las pruebas se realizaron midiendo la señal de entrada y la señal de salida con un osciloscopio.

2.4.6 Diseño de circuitos impresos

El siguiente paso fue el diseño de los circuitos impresos, los cuales fueron desarrollados igualmente en el software Altium Designer®. El circuito impreso representó la consolidación del sistema de medición. Para esto se consideran, además, ciertas características importantes como: cantidad de corriente, consumo total, separación y ubicación de los componentes, entre otras.

2.4.7 Implementar una interfaz gráfica

Se utilizó el software NI LabVIEW para desarrollar un programa donde se pueden visualizar los resultados de la prueba del deportista y las principales variables que se quieren medir que son la concentración de oxígeno y el consumo máximo de oxígeno (VO_2 máximo).

Los factores que se tuvieron en cuenta para el diseño del interfaz fueron los dichos en la sección de la lista de necesidades tales como facilidad de comprensión y de utilización.

2.4.8 Calibración del sistema de instrumentación

Una vez se tienen los circuitos impresos, se realizaron protocolos de calibración y caracterización del sistema, con el fin de comprobar su correcto funcionamiento.

En la calibración se utilizó la máquina de anestesia del laboratorio de Ingeniería clínica de la Universidad EIA marca Mindray A5 recién calibrada en los valores de oxígeno en 21% y 100% en el modo CMV o controlado por volumen. El procedimiento para obtener las curvas de calibración del sensor de concentración de oxígeno consistió en verificar los valores de ambiente y de un circuito cerrado que simulaba el 100% utilizando una configuración de mangueras.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

2.4.9 Caracterización y pruebas de funcionamiento

Las pruebas de caracterización son utilizadas para determinar el desempeño de los dispositivos electrónicos diseñados y fabricados considerando características tales como: frecuencias, ganancia, fases, consumo de potencia, linealidad, relación señal a ruido, entre otras. Con base en los resultados obtenidos de estas mediciones, es posible validar los diseños y/o sugerir modificaciones a los dispositivos electrónicos para mejorar su funcionalidad.

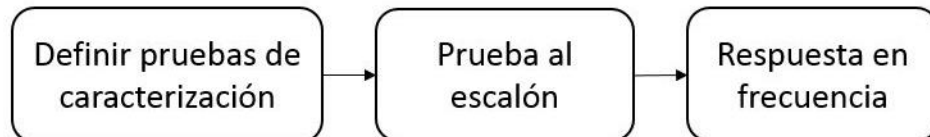


Figura 12: Procedimiento para pruebas de caracterización de los sistemas de instrumentación.

A partir del momento que se desarrolló el dispositivo electrónico, se hizo una revisión sobre algunas de las pruebas de caracterización de sistemas electrónicos y de instrumentación. Debido a los parámetros que se querían validar, se seleccionaron dos técnicas de caracterización del dispositivo analógico que fueron la prueba al escalón y la medición de la respuesta en frecuencia. Para la realización de las dos pruebas se siguió el protocolo desarrollado en el ANEXO 3 y sacando sus conclusiones que fueron descritas en la discusión del documento.

3. RESULTADOS

SELECCIÓN DE TÉCNICA DE MEDICIÓN

3.1.1 Reporte de entrevistas a expertos

3.1 Para el reporte de las entrevistas se realizó una aproximación de la definición de los conceptos que fueron contestados en las preguntas de definición y en las preguntas subjetivas lo que se reporta son las veces que fue contestada la misma respuesta.

Para usted ¿Qué es el rendimiento deportivo?

El rendimiento deportivo es la medición de la respuesta que tiene un deportista debido a las adaptaciones de sus capacidades físicas y habilidades, al sometimiento de cargas y al proceso de entrenamiento para obtener un resultado en el deporte que practica.

¿Qué parámetros afectan o pueden afectar al rendimiento?

En la Figura 13, se pueden visualizar los parámetros que más se consideran importantes a la hora de evaluar el rendimiento físico que son el proceso de entrenamiento deportivo (técnica y táctica) y las capacidades físicas (resistencia, potencia, fuerza muscular, velocidad). El VO₂ máximo hace parte de las capacidades físicas que tiene un organismo debido a que este parámetro aumenta directamente con la resistencia física.

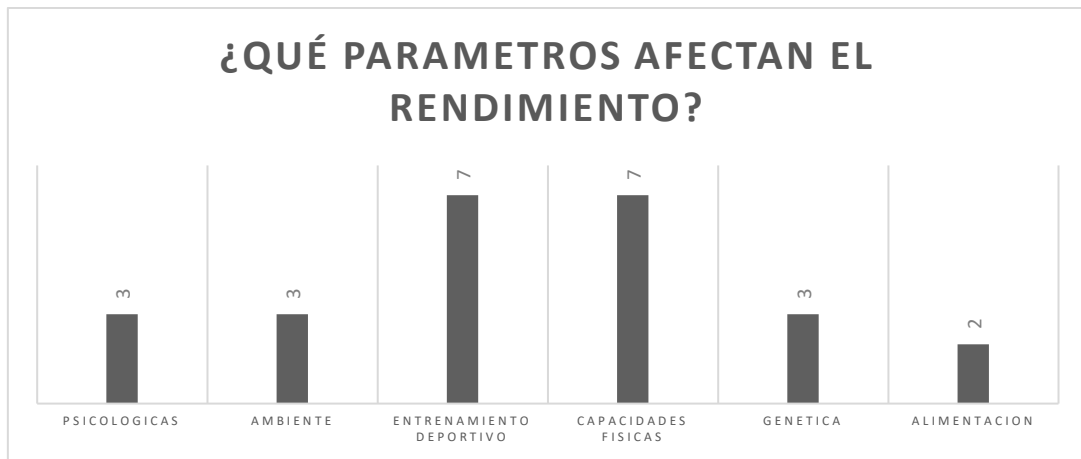


Figura 13: Resultados sobre parámetros que afectan el rendimiento deportivo

¿Conoce usted el VO₂ máximo? ¿Qué es?

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

El VO_2 máximo es la máxima cantidad de oxígeno por unidad de tiempo que un individuo puede captar, difundir, transportar y utilizar para producir energía que es utilizada en la práctica del deporte o para cumplir adecuadamente la exigencia de un trabajo de entrenamiento.

¿Qué técnicas conoce para la medición del VO_2 máximo, qué opinión tiene respecto a ellas?

Las técnicas que más se conocen en el medio y se reafirmaron en las entrevistas son las técnicas de medición indirectas tales como test de Cooper y la prueba de Rockport, porque hacerlas cuesta poco, sin embargo, no son las más precisas. Por otro lado, existen las técnicas de medición directas, que utilizan máscaras y dispositivos electrónicos para medir el VO_2 máx. de forma más precisa en el principio que se basa este trabajo, además, son más costosas y no cualquier persona lo puede adquirir.

¿Cuál es la técnica que cree más confiable y en qué consiste?

De acuerdo con la Figura 14, según los expertos la técnica que utiliza un sistema de monitoreo electrónico para medir el VO_2 máximo es la más confiable debido a que se mide la concentración de O_2 directamente en la persona mejorando la precisión, además no se hace una aproximación de parámetros como lo hacen en los métodos indirectos.

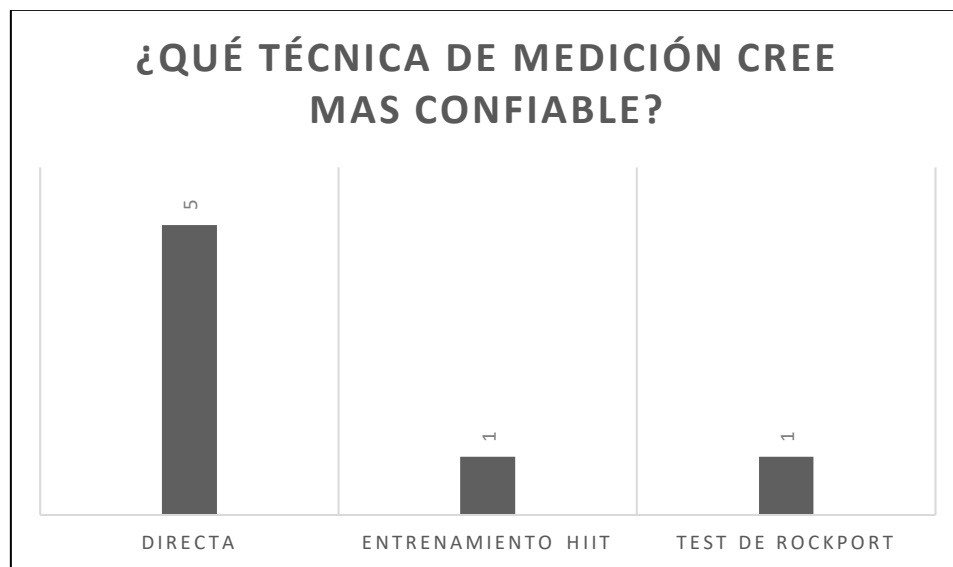


Figura 14: Gráfica sobre técnica más confiable

¿Qué piensa del desarrollo de un dispositivo electrónico para la medición de VO_2 máximo de forma automática y en campo?

Por último, se le pidió la opinión a cada experto sobre el desarrollo del trabajo de grado, con esto, saber la importancia, la pertinencia y la necesidad que existe.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

De acuerdo con lo que se pudo extraer que a todos los encuestados les pareció excelente que se desarrollara y se ejecutara el proyecto. A tres de los expertos les pareció una necesidad en Colombia, a dos expertos le pareció importante que todas las instituciones de salud y del deporte en Colombia tuvieran, aunque sea un dispositivo así. Además, tres expertos dieron sus recomendaciones para el dispositivo tales que sea de bajo costo y a futuro hacerlo para cada deporte en particular.

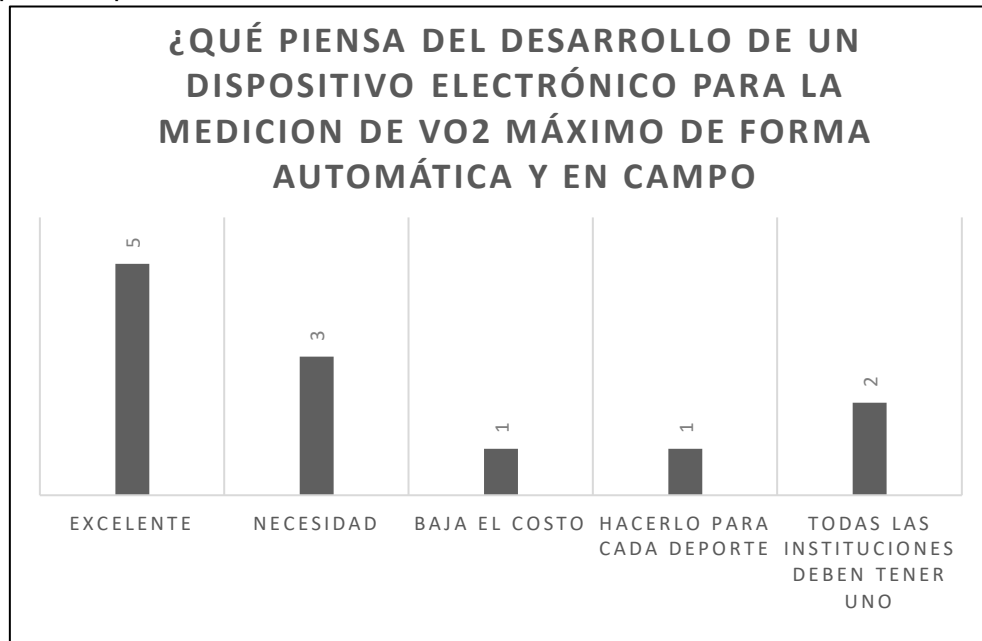


Figura 15: Opinión de expertos sobre el proyecto

3.1.2 Bibliografía de técnicas de medición de VO₂ máximo

Con base en las respuestas de los expertos de la sección 3.1.1, se procedió a realizar una referenciación en libros, artículos científicos y páginas web sobre los métodos de medición de la concentración de oxígeno y consumo máximo de oxígeno que son utilizados actualmente. La búsqueda se dividió en dos fases medición indirecta y medición directa.

Tabla 2: Técnicas de medición indirecta

TÉCNICAS DE MEDICIÓN INDIRECTAS

TEST DE LOS 2000 METROS

TEST DE COOPER

TEST DE RUFFIER DICKINSON

TEST DE COURSE NAVETTE

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Test de los 2000 metros

Consiste en realizar una caminata de 2000 metros en el menor tiempo posible.

La prueba, nos indica por medio de un valor, si nuestra capacidad cardiorrespiratoria es adecuada.

- A. El valor "100" corresponde al valor medio. Por ejemplo, si el índice es de 90 nos indica que la condición física es ligeramente inferior a la media, en cambio, un valor de 110 nos indicaría que estamos ligeramente por encima de la media (Universidad de Murcia, 2018).

El índice que la prueba aporta "Walk Index" se determina con los siguientes parámetros: edad del sujeto, estatura, peso, tiempo invertido en 2000 metros y ritmo cardíaco al final de la prueba. La prueba ha sido diseñada para personas sanas con edades comprendidas entre 16 y 65 años (Universidad de Murcia, 2018)

La prueba de marcha de 2 km, en el que es necesario registrar el tiempo empleado en cubrir dicha distancia andando de prisa (pero sin correr), así como las pulsaciones alcanzadas al final del ejercicio. Como se muestra en

$$\begin{aligned} \text{Hombres: } VO_2\text{max} &= 184.9 \\ &- 4.65 \times \text{tiempo} \\ &- 0.22 \times RC \\ &- 0.26 \times \text{Edad} \\ &- 1.05 \times IMC \end{aligned} \quad \text{ECUACIÓN 1}$$

$\begin{aligned} \text{Mujeres: } VO_2\text{max} &= 116.2 \\ &- 2.98 \times \text{tiempo} \\ &- 0.11 \times RC \\ &- 0.14 \times \text{Edad} \\ &- 0.39 \times IMC \end{aligned}$	ECUACIÓN 2
---	------------

- B. Se emplea un cronómetro para controlar el tiempo de ejecución y un pulsómetro para el registro de la frecuencia cardíaca (Castillo Garzon, y otros, 2011).

Test de Cooper

Esta es una prueba de distancia que se puede realizar fuera de un escenario de laboratorio controlado, es decir, es una prueba de campo que no requiere instrumentos ni aparatos especializados. Está diseñada para estimar la tolerancia cardiorrespiratoria o aeróbica de los deportistas. La misma se fundamenta sobre investigaciones que han demostrado que la distancia que se puede recorrer en 12 minutos posee una alta correlación con la capacidad del organismo humano para utilizar y transportar grandes cantidades de oxígeno (Cooper, 1980). Prueba para medir la resistencia aeróbica del aspirante y consiste en correr durante un período de doce (12) minutos la mayor distancia posible en un espacio plano y con una distancia delimitada (pista de atletismo). Los aspirantes serán organizados en grupos de números no

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

superior a 10 personas. Cada sujeto, a indicación del controlador, se colocará detrás de la línea de salida. La salida tendrá lugar tras la señal efectuada por el controlador (Gobierno de Canarias, 2009)

Test de Ruffier - Dickson

El índice de Ruffier-Dickson aporta una valoración de la adaptación cardiovascular al esfuerzo, así como de la recuperación cardíaca después de dicho esfuerzo. Este índice se obtiene mediante un sencilla prueba, que consiste en:

- c.
- 30 flexiones en 45 segundos a ritmo constante en varones.
 - 20 flexiones 30 segundos a ritmo constante en mujeres.

Se emplea un metrónomo para controlar el ritmo de ejecución y un pulsómetro para el registro de la frecuencia cardíaca.

Con estas tres tomas de frecuencia cardíaca resolvemos la siguiente ecuación:

- P1: FC en reposo (basal)
- P2: FC al acabar el esfuerzo (adaptación)
- P3: FC al minuto de terminar el esfuerzo (recuperación)

INDICE DE RUFFIER DICKSON:

$$VO_2max = [(P2 - 70) + (P3 - P1)]/10 \quad \text{ECUACIÓN 3}$$

(Castillo Garzon, y otros, 2011)

D.

Test de Course Navette o de Leger Lambert

La prueba de Course Navette de acuerdo con (Universidad Tecnológica de Pereira, 2012) consiste en determinar la potencia aeróbica máxima y el VO₂ máximo a partir de una prueba de resistencia. La prueba consiste en realizar 20 metros en forma continua al ritmo que marca el magnetófono (según el protocolo que corresponda). Al iniciar la señal el atleta deberá correr hasta la línea contraria (20 metros), pisarla y esperar escuchar la segunda señal para volver a desplazarse, el deportista debe intentar seguir el ritmo que marca el magnetófono que progresivamente irá incrementando el ritmo de carrera. El test finalizará en el momento que el ejecutor no pueda pisar la línea en el momento que lo marque el magnetófono. A cada período rítmico lo denominaremos "palier" o "período" y tiene una duración de 1 minuto

$$VO_2max = 5.857 \times v \left[\frac{km}{h} \right] - 19.458 \quad \text{ECUACIÓN 4}$$

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Directo

El método directo consiste en obtener el valor del VO₂ Máximo a partir de diferentes algoritmos que utilizan como parámetros de entrada los valores de concentración de O₂, frecuencia cardiaca, respiración, entre otras variables y así implementarla en un sistema especializado de acuerdo con las necesidades que se tienen (Duque, 2018).

E. 3.1.3 Selección de técnica de medición

De acuerdo con lo consultado en la web sobre las técnicas de medición indirectas y directas del VO₂ Máximo y la información extraída de las entrevistas hechas a expertos en el deporte, se realizó una tabla comparativa sobre las necesidades que tienen a la hora de medir la variable. De acuerdo con los resultados de la Tabla 3, se llegó a la conclusión que la técnica de medición en este proyecto será la medición directa, de forma inalámbrica y obteniendo la información de VO₂ Máximo a partir de un algoritmo desarrollado que procesa datos de una celda de oxígeno y se obtienen los datos de VO₂.

Tabla 3: Tabla comparativa de mediciones de VO₂

<i>Características</i>	<i>Medición Directa</i>	<i>Medición Indirecta</i>
Bajo Costo	No cumple	Cumple
Precisión alta	Cumple	No cumple
Confiabilidad	Cumple	No cumple
Portabilidad	Cumple	Cumple
Numero de materiales	Cumple	Cumple
Afecta al deportista	Cumple	Cumple

3.2

DESARROLLO MECÁNICO

3.2.1 Diseño conceptual de sistema

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Lista de Necesidades

Tabla 4: Lista de necesidades

<i>Numero</i>	<i>Necesidad</i>	<i>Importancia</i>
1	Que sea portátil	5
2	Bajo costo con respecto a tecnología existentes	3
3	Es fácil de usar	4
4	Que sea ergonómico	5
5	Que sea no invasivo	5
6	Confiable en los resultados	3
7	Reproducibilidad	3
8	Medición Continua	5
9	Que sea seguro	5
10	Fácil Limpieza y Desinfección	4
11	Comunicación efectiva	4
12	No es irritable a la piel	5
13	Fácil de Guardar	3
14	Es de larga duración	3
15	Fácil de Mantenimiento	3
16	Ruido Mínimo	4

A.

Listas de especificaciones

Tabla 5: Listas de Requerimientos Técnicos

<i>Número</i>	<i>Número de Necesidad</i>	<i>Medida</i>	<i>Importancia</i>	<i>Valor estimado</i>	<i>Unidad</i>
1	9, 12	Produce efectos secundarios en el paciente	5	No	Si/No
2	1	Rango amplio de cobertura	5	>10	m ²
3	14	Pruebas de durabilidad	3	5	Años
4	2,1	Precio	3	<3000	USD
5	3,11	Requiere conocimientos para utilización	4	No	Si/No
6	4,5	Ajustable al paciente	5	Si	Si/No
7	6,7	Error en la medición	5	<5%	%
8	8	Tiempo en línea	4	>90%	%
9	10	Tiempo de limpieza	3	<15	min
10	13	Tiempo de ensamble/ desensamble	3	5-10	min
11	15	Tiempo de mantenimiento	3	5-10	min
12	17	Ruido Mínimo	4	<200dB	dB

B.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Tabla 6: Matriz de medidas y necesidades

Produce efectos secundarios en el paciente	Produce efectos secundarios en el paciente	Rango amplio de cobertura	Tensión de rotura	Pruebas de durabilidad	Precio	Requiere conocimientos para utilización	Ajustable al paciente	Error en la medición	Uptime	Tiempo de limpieza	Tiempo de ensamble/desensamble	Tiempo de mantenimiento
Que sea portátil		■			■							
Bajo Costo					■							
Es fácil de usar						■					■	
Que sea ergonómico							■					
Que sea no invasivo							■					
Confiabilidad								■				
Reproducibilidad								■				
Medición Continua									■			
Que sea seguro	■											
Fácil Limpieza y Desinfección										■		
Comunicación efectiva						■						
No es irritable a la piel	■											
Fácil de Guardar											■	
Es de larga duración				■								
Fácil de Mantenimiento												■
Resistente a Golpes			■									

C.

Caja Negra de Funciones

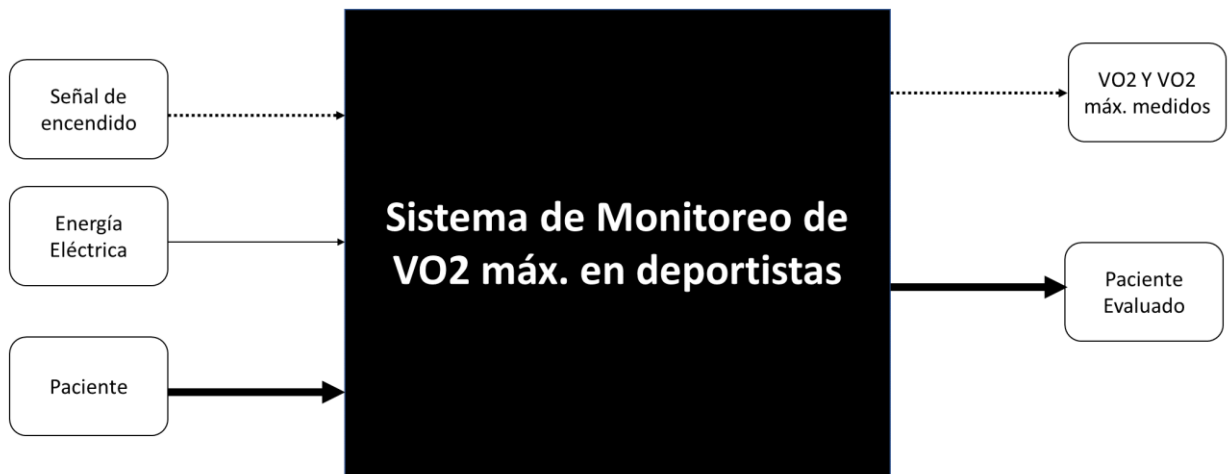


Figura 16: Caja Negra de Funciones

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Caja Transparente de Funciones

D.

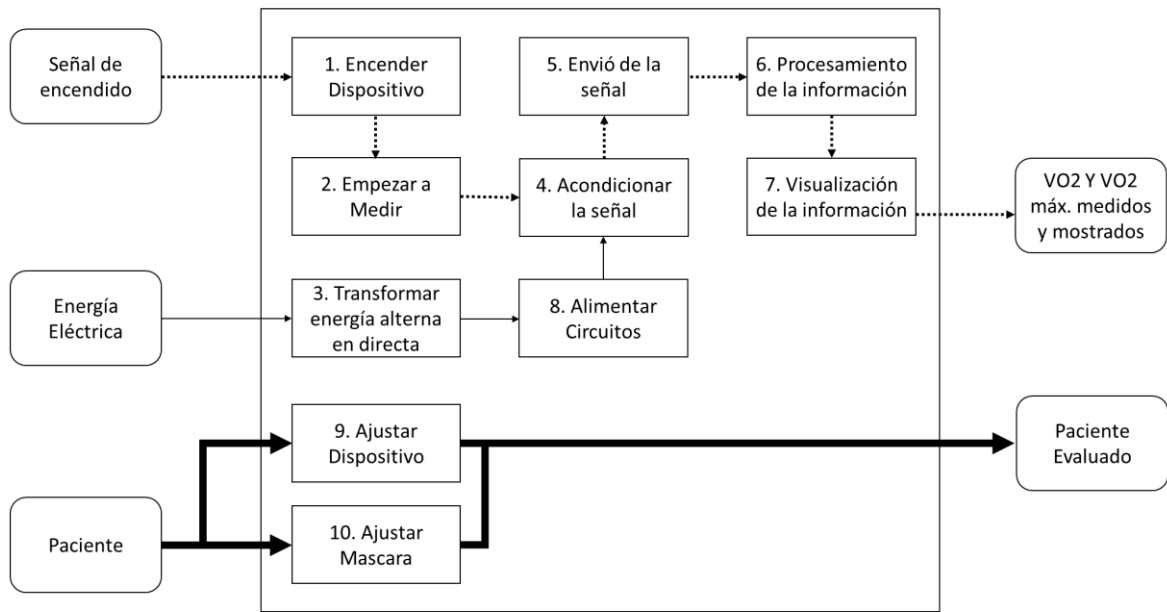


Figura 17: Caja Transparente de Funciones

E.

Definición de Funciones

Tabla 7: Definición de Funciones

<i>Función</i>	<i>Descripción</i>
Función 1	Encender Dispositivo
Función 2	Medición de la señal
Función 3	Convertir AC/DC
Función 4	Acondicionar la señal
Función 5	Envió de la Señal
Función 6	Procesamiento de la información
Función 7	Visualización de la información
Función 8	Alimentar Circuitos
Función 9	Ajustar Dispositivo
Función 10	Ajustar Mascara




La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Definición de conceptos

➤ Encender dispositivo


Tabla 8: Alternativas de solución para encender el dispositivo

F.

<i>Alternativa de Solución</i>	<i>Definición</i>	<i>Imagen</i>
Rocker Switch	Un Rocker Switch es un interruptor que cambia al ser presionado, lo que significa que un lado del switch sobresale mientras que el otro está en nivel con la superficie.	 (Didacticas Electronicas, 2018)
Toggle Switch	El Toggle switch es un interruptor eléctrico caracterizado por la presencia de una manija que permite controlar el flujo eléctrico desde una batería hacia el dispositivo.	 (RockerShack, 2018)
Botón	Es un dispositivo de control manual que al oprimirse cambia de estado entreabierto o cerrado.	 (BricoGeek, 2018)

➤ Medición de la señal

Tabla 9: Alternativas de solución para la medición de la señal

<i>Alternativa de Solución</i>	<i>Definición</i>	<i>Imagen</i>
Sonda Lambda	La sonda lambda, o también llamada sensor de oxígeno en algunos países, mide la concentración de oxígeno en los gases de escape de los carros. Por regla general, la medición determina la cantidad de oxígeno que hay en la mezcla, por lo que por ejemplo la sonda detecta una alta concentración de oxígeno en los gases de escape, envía la	 (Aliexpress, 2018)



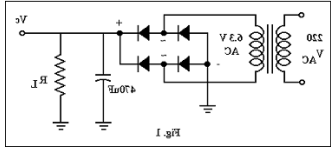
La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

<p>Foto pletismografía</p>	<p>señal correspondiente a la acción para hacer más rica la mezcla. (Alvarez, 2010)</p> <p>La oximetría de pulso es un método no invasivo que permite la estimación de la saturación de oxígeno de la hemoglobina arterial. El oxímetro de pulso o pulsioxímetro usa la espectrofotometría basada en que la oxihemoglobina u hemoglobina oxigenada (HbO₂) y la desoxihemoglobina o hemoglobina reducida (Hb) absorben y transmiten determinadas longitudes de onda del espectro luminoso para la luz roja (640-660nm) y la luz infrarroja (910-940nm). La HbO₂ absorbe más la luz infrarroja y permite el paso de la luz roja; por el contrario, la Hb absorbe más la luz roja (R) y permite el paso de la luz infrarroja (IR). El ratio de la absorción de la luz R e IR mide el grado de oxigenación de la hemoglobina (Mejia Salas & Mejia Suarez, 2012).</p> <p>En esta técnica de análisis, el oxígeno difunde a través de una membrana y de un líquido electrolítico a un cátodo, que comunica a través del electrolito con el ánodo. Se genera una corriente eléctrica entre ambos polos que es proporcional a la cantidad de oxígeno. Es un método de análisis en el que la respuesta es más lenta que en otros métodos, pero por el contrario es un método suficientemente</p>	 <p>(Pimper, 2018)</p>
<p>Celda de Oxigeno</p>	<p>En esta técnica de análisis, el oxígeno difunde a través de una membrana y de un líquido electrolítico a un cátodo, que comunica a través del electrolito con el ánodo. Se genera una corriente eléctrica entre ambos polos que es proporcional a la cantidad de oxígeno. Es un método de análisis en el que la respuesta es más lenta que en otros métodos, pero por el contrario es un método suficientemente</p>	 <p>(CablesandSensors, 2018)</p>

preciso (entre un 2 y un 3%, en función de los aparatos)




➤ **Regular voltajes**

Tabla 10: Alternativas de Solución para la regulación del voltaje

Alternativa de Solución	Definición	Imagen
Regulador de Voltaje	Es un dispositivo electrónico que tiene la capacidad de regular voltaje positivo de 5V a 1A de corriente, con la mayoría de los desarrollos con Arduino o con programadores PIC estamos obligados a mantener una fuente de tensión constante a oscilaciones en los niveles de tensión.	 <p>(Tostatronic, 2018)</p>
Fuente Medica Regulada	Una fuente de voltaje médica regulada es aquella que es apropiada para la regulación de voltajes en ambientes hospitalarios.	 <p>(Allied, 2018)</p>
Circuito regulador	Estos convertidores o rectificadores son circuitos electrónicos de potencia, su función es la de transformar una tensión de entrada alterna con una determinada frecuencia en una salida de tensión continua en el tiempo. Estos circuitos son mucho más económicos que otros sistemas más modernos (Alvarez Acevedo, 2016)	 <p>(Alvarez Acevedo, 2016)</p>

➤ **Acondicionar la señal**

Tabla 11: Alternativas de Solución para acondicionar la señal

<i>Alternativa de Solución</i>	<i>Definición</i>	<i>Imagen</i>
Circuito analógico	Circuito que acepta corriente analógica y voltaje en su entrada y reproduce a la salida una señal analógica relacionada.	
NI LabVIEW	El software LabVIEW es una herramienta de programación gráfica ideal para la adquisición y visualización de señales. Es desarrollado por National Instruments®, lo que lo hace ideal para trabajar en conjunto con las demás herramientas desarrolladas por NI.	
Arduino	Arduino es un dispositivo que integra las funciones de un microcontrolador además de tener ciertas características integradas, Se caracteriza por ser más fácil de implementar y usar que un microcontrolador común.	


(Seabrookwindows, 2018)

(Jimenez, 2017)

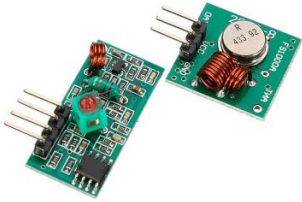

(Arduino, 2018)

➤ **Envío de la señal**

Tabla 12: Alternativas de solución para el envío de la señal


<i>Alternativa de Solución</i>	<i>Definición</i>	<i>Imagen</i>
Modulo Bluetooth	El módulo de bluetooth presenta características de maestro y de esclavo. funciona a partir de un Arduino o un microcontrolador. Tiene un rango de cobertura de entre 10 y 30 metros.	

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.


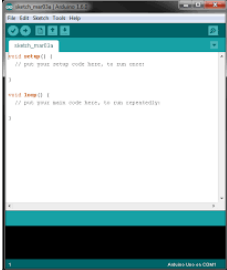
<p>Radiofrecuencia</p>	<p>(Geekbotelectronics, 2018)</p> <p>Los módulos de RF pueden ser utilizados tanto en Arduino como en microcontroladores. Tienen un alcance aproximado de 60 metros y con una frecuencia de operación de entre 250 y 450 MHz.</p>  <p>(AFEL, 2018)</p> <p>El cable USB Tipo A está compuesto de dos extremos, el que se conecta al dispositivo receptor –un computadora, por ejemplo– y que lleva el nombre de conector macho Tipo A, por lo que, el puerto receptor lleva el nombre de puerto A femenino.</p>  <p>(Electronilab, 2018)</p> <p>Este cable en su extremo tiene un conector tipo B estándar en el otro extremo y es muy útil para conexión de impresoras. También se usa ampliamente en la conexión del popular Arduino UNO. (Electronilab, 2018)</p>
------------------------	---

➤ **Procesamiento de la información**

Tabla 13: Alternativas de solución para el procesamiento de la información



<i>Alternativa de Solución</i>	<i>Definición</i>	<i>Imagen</i>
<p>Matlab</p>	<p>Matlab es un lenguaje de programación avanzado para computación numérica, simulación y visualización de información. Se puede usar para un alto rango de aplicaciones: procesamiento de señales, procesamiento de imágenes, sistemas de control, entre otros.</p>	

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.


<p>NI LabVIEW</p>	<p>El software LabVIEW es una herramienta de programación gráfica ideal para la adquisición y visualización de señales. Es desarrollado por National Instruments, lo que lo hace ideal para trabajar en conjunto con las demás herramientas desarrolladas por NI.</p>	<p>(Mathworks, 2015)</p>  <p>(Jimenez, 2017)</p>  <p>(Fuente Propia)</p>
	<p>La plataforma Arduino permite la recepción y visualización de datos recibidos desde alguno de los dispositivos desarrollados por esta misma empresa, que reciben el mismo nombre.</p>	

➤ **Visualización de la información**

Tabla 14: Alternativas de solución para la visualización de la información



<i>Alternativa de Solución</i>	<i>Definición</i>	<i>Imagen</i>
<p>Matlab GUIDE</p>	<p>GUIDE es un entorno de programación visual disponible en MATLAB para realizar y ejecutar programas que necesiten ingreso continuo de datos. Tiene las características básicas de todos los programas visuales como Visual Basic o Visual C++.</p> <p>https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10740/11/MATLAB_GUIDE.pdf</p>	 <p>(Mathworks, 2015)</p>
<p>NI LabVIEW</p>	<p>El software LabVIEW es una herramienta de programación gráfica ideal para la adquisición y visualización de señales. Es desarrollado por National Instruments, lo que lo hace ideal para trabajar en conjunto con las</p>	 <p>(Jimenez, 2017)</p>

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Visual Basic	<p>demás herramientas desarrolladas por NI.</p> <p>Visual Basic consiste en un editor de código (programa donde se escribe el código fuente), un depurador (programa que corrige errores en el código fuente para que pueda ser bien compilado), un compilador (programa que traduce el código fuente a lenguaje de máquina), y un constructor de interfaz gráfica o GUI (es una forma de programar en la que no es necesario escribir el código para la parte gráfica del Programa, sino que se puede hacer de forma visual).</p>	 <p>(Microsoft, 2016)</p>
--------------	--	--

➤ **Alimentar Circuito**




Tabla 15: Alternativas de solución para alimentar los circuitos

<i>Alternativa de Solución</i>	<i>Definición</i>	<i>Imagen</i>
Baterías Alcalinas	<p>Una pila alcalina se fundamenta en la reacción de oxidación reducción que se da entre el zinc metálico y el dióxido de manganeso en medio básico. Una pila alcalina basada en esta reacción Zn/MnO₂ en medio básico tiene una fuerza electromotriz o potencial estándar de 1,5V</p>	 <p>(Symnet, 2018)</p>
Baterías recargables	<p>Las pilas tienen dos electrodos. La reacción que se realiza por medio de sustancias químicas conocidas como electrolitos se llama tensión y genera voltajes y corrientes para poner a funcionar. La diferencia de las pilas tradicionales es que sobreviven más de un ciclo por lo que se pueden cargar a través de corriente alterna.</p>	 <p>(TecnoEdu, 2018)</p>

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.


➤ **Ajustar el dispositivo**

Tabla 16: Alternativas de solución para ajustar el dispositivo.



<i>Alternativa de Solución</i>	<i>Definición</i>	<i>Imagen</i>
Arnés	Consiste en un arnés de parte superior que va a estar amarrado el dispositivo al cuerpo para su fijación y evitar el movimiento.	 (NewPaint, 2018)
Amarraderas	Consiste en que se hará un saco como de un morral exclusivamente para el soporte.	 (Jump for you, 2018)
Soporte	Como los soportes que existen actualmente para realizar ejercicio para los celulares. Se adaptará al cuerpo a partir de velcro o ajustes especiales.	 (MercadoLibre, 2018)

➤ **Ajustar la Mascara**

Tabla 17: Alternativa de solución para el ajuste de máscara

<i>Alternativa de Solución</i>	<i>Definición</i>	<i>Imagen</i>
Velcro	Dos tiras de velcro se utilizarán, para amarrarse detrás de la cabeza y fijar la máscara.	 (Cinertools, 2018)







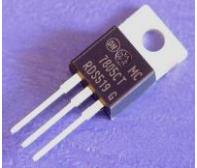

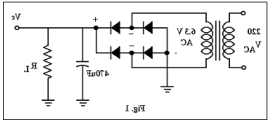
La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Gel adhesivo	Un gel biocompatible alrededor de la máscara para adherir la máscara a la piel. tiene que ser un gel que sea fácil de quitar y que no incomode al deportista	 (Gonick, 2016)
Amarraderas	Se utilizarán unas agarraderas tipo casco de bicicleta para que haya una fijación de la cabeza lo menos incómoda posible.	 (Jump for you, 2018)





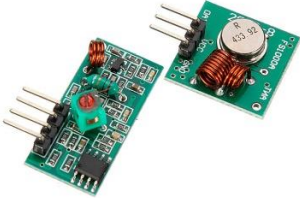












Matriz morfológica

Tabla 18: Matriz Morfológica de Conceptos

G.

<i>Función</i>	<i>Solución 1</i>	<i>Solución 2</i>	<i>Solución 3</i>
1. Encender Dispositivo			
2. Medición de la señal			
3. Regular voltaje			

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

<p>4. Acondicionar la señal</p>			
<p>5. Envío de la señal</p>			
<p>6. Procesamiento de la información</p>			
<p>7. Visualización de la información</p>			
<p>8. Alimentar Circuitos</p>			
<p>9. Ajustar el dispositivo</p>			

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

<p>10.</p> <p>Ajustar la Mascara</p>			
--------------------------------------	---	--	---

Tabla 19: Selección de conceptos



La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Solución 1: Como se puede observar en la Tabla 19, esta solución cuenta con un sensor electroquímico tipo celda para la medición del oxígeno, esta es una técnica fácil de realizar y además de ser asequible. Además, es la técnica más utilizada para la medición de la concentración de oxígeno en el mercado.

Cuenta también con un interruptor tipo Rocker para el encendido del dispositivo, unas pilas alcalinas de 9V para la alimentación de los circuitos y un regulador de voltaje para que el voltaje siempre se mantenga en 5V.

Para el acondicionamiento de la señal, se seleccionó un circuito análogo ya que se tiene mucha información de cómo es el funcionamiento, además es posible implementarlo con los conocimientos que se tienen actualmente. Para el envío de la señal se cuenta con un módulo de bluetooth debido a su fácil utilización, alto rango de utilización, voltaje de operación similar al utilizado al circuito analógico y debido al tipo de comunicación serial con los microcontroladores y sistemas de desarrollo.

Para el procesamiento y la visualización de la información se utiliza el programa NI LabVIEW, que entre sus principales características están el intuitivo lenguaje de programación con su entorno de programación gráfico y sus variedad de herramientas de desarrollo y librerías.

Para el ajuste del sistema, se cuenta con un soporte sujeto al cuerpo para el dispositivo y disminuir el movimiento, y se cuenta con unas amarraderas de velcro para la sujeción de la máscara y evitar fugas.

Solución 2: Como se puede observar en la Tabla 19, esta solución cuenta con un sensor de medición por fotopleletismografía, esta es una técnica se utiliza para estimar la concentración de oxígeno directamente de las arterias.

Cuenta también con un botón para el encendido del dispositivo, unas pilas recargables de 3V para la alimentación de los circuitos y un circuito analógico con diodos para regular el voltaje.

Para el acondicionamiento de la señal, se seleccionó el software NI LabVIEW, la señal se adquiere con una tarjeta de adquisición de datos DAQ y se manipula la misma señal con un algoritmo creado en el lenguaje del software. Para el envío de la señal se cuenta con un módulo de Radio Frecuencia que cuenta como ventaja el amplio rango para el envío de datos, su comunicación simplex o comunicación con un solo canal y su buena compatibilidad con sistemas de desarrollo y microcontroladores.

Para el procesamiento y la visualización de la información se utiliza el programa Matlab utilizando la programación especial de Matlab y su aplicación de GUIDE.

Para el ajuste del sistema y de la máscara, se cuenta con amarraderas de fijación, para el cuerpo se las amarraderas van a ajustar de forma manual el dispositivo al cuerpo en la espalda y para la cara, las amarraderas van a ajustar la máscara de forma manual.

Solución 3. Como se puede observar en la Tabla 19, esta solución cuenta con un sensor de oxígeno utilizado en los carros, que funciona similar a la celda electroquímica con diferentes compuestos.

Cuenta también con un interruptor tipo Toggle para el encendido del dispositivo, unas pilas recargables para la alimentación de los circuitos y una fuente regulada de voltaje.

Para el acondicionamiento de la señal, se seleccionó el sistema de desarrollo Arduino se le ingresan valores a analógicos a un puerto especial y su propio conversor analógico – digital convierte la señal en digital para su manipulación, es decir, para amplificar y filtrar la señal con procesamiento. Para el envío de la señal se utilizan los mismos cables USB que proporciona el sistema.

Para el procesamiento y la visualización de la información se utiliza la aplicación de Arduino para modificar y procesar la información. Para la visualización de la información se cuenta con el software Visual Basic de Microsoft que es una herramienta de programación en C y a partir de la implementación de una interfaz poder adquirir la señal. Debido al cambio de aplicaciones, no es posible una medición continua y en tiempo real.

Para el ajuste del sistema, se cuenta con un arnés para que el dispositivo se fije al cuerpo y disminuir el movimiento, y se cuenta con un gel adhesivo para la sujeción de la máscara y evitar fugas.

H.

Selección de concepto

➤ Criterios de Selección

Tabla 20: Criterios de selección para el concepto

<i>Criterio</i>	<i>Descripción</i>	<i>%</i>
Facilidad de Manejo	No presenta dificultad alguna a la hora de su utilización	20%
Buen desempeño	Realiza la actividad esperada	15%
Seguridad	No presenta riesgos, daños o peligros para el usuario	20%
Durabilidad	El dispositivo no se daña o desgasta con facilidad.	15%
Portabilidad	Es fácil de guardar y transportar.	20%
Estética	El prototipo es estético	10%

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

➤ **Matriz de Selección**

Tabla 21: Matriz de Selección de concepto

Criterio	Porcentaje	Concepto 1		Concepto 2		Concepto 3	
		Valor	Ponderada	Valor	Ponderada	Valor	Ponderada
Manejo	20%	4	0.8	4	0.8	4	0.8
Desempeño	15%	4.5	0.675	4	0.6	3.5	0.525
Seguridad	20%	5	1	4	0.8	3	0.6
Durabilidad	15%	4	0.6	3	0.45	3	0.45
Portabilidad	20%	4	0.8	5	1	4	0.8
Estetica	10%	5	0.5	5	0.5	5	0.5
Total	100%	4.38		4.15		3.68	

3.2.2 Diseño CAD de sistema

Máscara

A.



Figura 18: Diseño CAD de la Máscara. Vista Isométrica



Figura 19: Diseño CAD de la Máscara. Vista frontal

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Figura 20: Diseño CAD de la máscara. Vista Posterior

A partir de una revisión bibliográfica y analizando máscaras de oxígeno tradicionales se obtuvo una aproximación de las medidas aproximadas de la cara de los deportistas y con la muestra de las máscaras que se utilizan en este momento para las pruebas de esfuerzo en los gimnasios y centros de alto rendimiento, se realizó el CAD de la máscara para su implementación posteriormente. El CAD se realizó en el Software Solid Edge. En la Figura 18, en la Figura 19 y en la Figura 20: Diseño CAD de la máscara. Vista Posterior se puede visualizar al final como quedó donde se pueden ver aspectos importantes como los huecos donde se va a conectar la manguera y donde se van a poner las amarraderas.

B.

Dispositivo electrónico

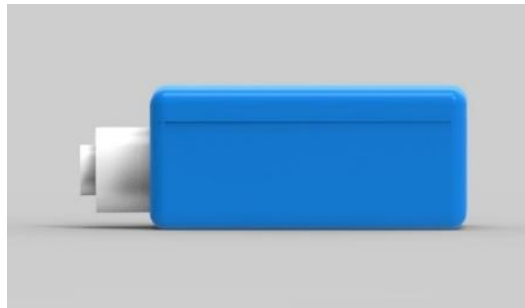


Figura 21: Vista Lateral CAD Dispositivo Electrónico

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

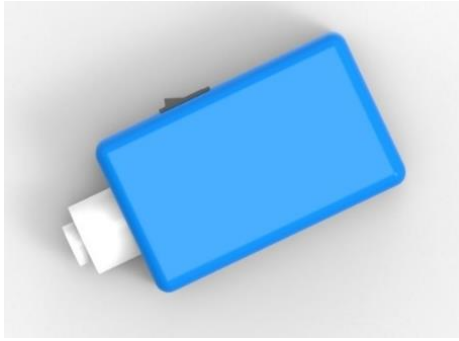


Figura 22: Vista Superior CAD Dispositivo Electrónico



Figura 23: Vista Isométrica CAD Dispositivo Electrónico

Para el dispositivo electrónico se utilizaron las medidas del PCB, del sensor, de la batería y del botón, para realizar un diseño CAD lo más portátil posible. En la Figura 21, la Figura 22 y la Figura 23 se pueden ver diferentes vistas de lo que se quería lograr para su implementación.

A.

3.2.3 Diseño físico del sistema

Máscara

Para el primer intento, de acuerdo con el diseño CAD realizado por el autor y descrito en Máscara, se le encontraron varias falencias con los objetivos propuestos en la lista de necesidades por lo que se decidió recurrir a obtener una máscara comercial.

Se recibió la donación de la máscara del proyecto por parte de la empresa OxiRental ubicada en la ciudad de Medellín y se calificó con que la máscara cumplía con las necesidades.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Figura 24: Máscara física

Dispositivo electrónico

- B. Para la implementación del CAD del dispositivo electrónico se imprimió en 3D con ABS como material y se verificó que cumpliera con las especificaciones dadas y que todas las partes estuvieran de manera correcta con respecto al ensamble simulado.



Figura 25: Dispositivo electrónico físico. Cerrado



Figura 26: Dispositivo electrónico físico. Abierto

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

PROCEDIMIENTO PARA EL DESARROLLO ELECTRONICO

3.3.1 Establecimiento de requerimientos

3.3 Partiendo de la lista de necesidades extraídas de la sección 3.2.1 con el objetivo de cumplir con dichas características, se definieron unos requerimientos electrónicos específicos para el sistema de medición. Esto permitió diseñar un dispositivo que permita medir las variables de concentración de oxígeno y concentración de oxígeno máximo.

La Tabla 22: Requerimientos de Componentes electrónicos muestra los requerimientos del sistema de instrumentación como dispositivo analógico, que permite realizar las mediciones de la concentración de VO_2 y la estimación del VO_2 máximo.

Tabla 22: Requerimientos de Componentes electrónicos

<i>Tipo de requerimiento</i>	<i>Variable</i>	<i>Requerimiento</i>
Técnica de medición	Oxígeno	Análisis de Gases
Entradas y salidas	Oxígeno	Entrada: Concentración de Oxígeno Salida: Voltaje 0 - 3.8V
Alimentación	Oxígeno	Sistemas de alimentación "single supply". (0-5V)
Procesamiento analógico	Oxígeno	➤ Sensor Electroquímico ➤ Filtrado pasa bajas (2Hz) ➤ Filtrado pasa bajas (0.001 Hz) ➤ Amplificación: $A_v=15$
Visualización	Oxígeno	➤ Visualización en la pantalla de un computador ➤ Gráficas para cada variable ➤ Indicadores numéricos para las 2 variables (Concentración de oxígeno y VO_2 máx.)

3.3.2 Selección de componentes

A. Búsqueda bibliográfica

Para medir la concentración de oxígeno, se buscó información en diferentes hojas de datos para encontrar la celda de oxígeno que más se acomodaba al presupuesto y a las necesidades del sistema.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

B. Lista de criterios

Tabla 23: Criterios de selección para sensor

Sensor	% de criterio
Rango de medición	10%
Tiempo de respuesta	20%
Salida de voltaje	20%
Precisión	20%
Precio	30%

C. Matriz de selección

Para la matriz de selección se utilizaron los criterios escogidos anteriormente en la Tabla 23 con el fin de calificar de forma objetiva y así escoger el sensor óptimo para utilizar. Los resultados se pueden visualizar en la Tabla 24 donde se escogió el sensor de oxígeno marca BINMED.

Tabla 24: Tabla de Selección de Sensores

SENSOR	RANGO DE MEDICION		TIEMPO DE RESPUESTA		SALIDA DE VOLTAJE		PRECISION		PRECIO		CALIFICACIONES
	VALORES	CALIFICACION	VALORES	CALIFICACION	VALORES	CALIFICACION	VALORES	CALIFICACION	VALORES	CALIFICACION	
KE-25 FIGARO	0-100%	5	aprox 15 s	3	10.0-15.5mV	4	2%	5	70.80 euros	3	3.8
SOUTHLAND SENSING PO2- 160 PERCENT OXYGEN SENSOR	0-100%	5	aprox 7s	5	38-74.4uA	3	2%	5	No se encontro	0	3.1
B1 OXUGEN SENSOR TELEDYNE	0-100%	5	7s	5	462 + 170 uA	3	2%	5	No se encontro	0	3.1
FIGARO OXYGEN SENSOR SK-25F	0-30%	4	15 s	3	5.5 - 8.5 mV	4.2	2%	5	52.40 Euros	3.8	3.98
ME2-02 GAS SENSOR	0-25%	3	15 s	3	0.250 +05mA	3	2%	5	24.69 Euros	5	4
SENSOR DE OXIGENO BINMED	0-100%	5	13 s	4	3.5 - 5.5 mV	4.2	2%	5	224.000 COP	3	4.04

D. Elección de componentes electrónicos

La Tabla 25 muestra una recopilación de los principales componentes escogidos para el desarrollo del sistema de instrumentación, basados en los requerimientos establecidos y la conceptualización del sistema.

Una vez se preseleccionaron los componentes se realizaron montajes electrónicos preliminares y así determinar el procesamiento analógico necesario para la señal objetivo que era la concentración de oxígeno. La Tabla 26 presenta los valores considerados de variables ambientales donde se realizaron las mediciones y las calibraciones.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Tabla 25: Componentes seleccionados para el sistema de instrumentación

Componente necesario	Componente seleccionado	Razones de selección
Celda de Oxígeno	MAX 48	<ul style="list-style-type: none">• Es analógico, se alimenta a 9V y presenta un montaje sencillo.• Relación calidad/precio/disponibilidad.
Amplificadores operacionales	OPA 2333	<ul style="list-style-type: none">• Operación en Alimentación sencilla• Apto para usar en instrumentos médicos
Amplificador de instrumentación	INA 333	<ul style="list-style-type: none">• Alto CMRR• Confiabilidad• Rango de Voltaje
Reguladores de Voltaje	LM2937	<ul style="list-style-type: none">• Protección de caída de voltaje.
Módulo de Bluetooth	RN- 42	<ul style="list-style-type: none">• Gran Alcance• Variedad de Cadena Serie

Tabla 26: Variables ambientales

Variable	Valor
Humedad relativa	57 %
Densidad del aire	0.9826 kg/m ³
Temperatura	25 °C
Presión atmosférica	84.5 bar

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

3.3.3 Diseño de esquemáticos

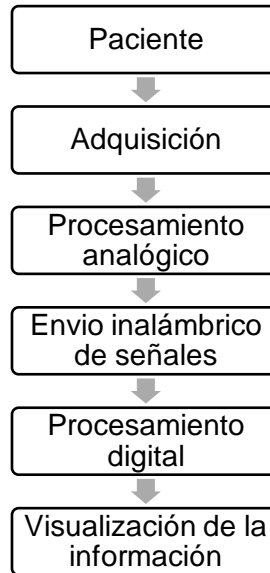


Figura 27: Diagrama de bloques para el diseño de esquemáticos.

A. Adquisición

Para la adquisición de la señal se utilizó una configuración de divisor de voltaje entre la fuente de voltaje y el sensor. El circuito de adquisición puede ser visto en Figura 28.

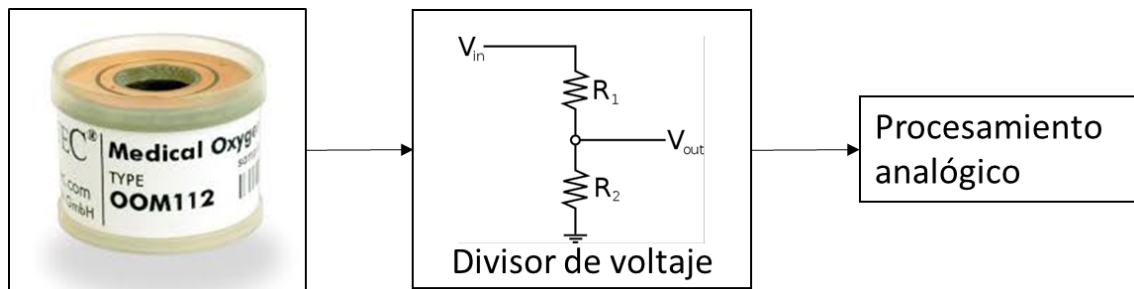


Figura 28: Adquisición de la señal

B. Procesamiento analógico

Para el procesamiento analógico se siguió con las siguientes fases para la lectura óptima de la señal: Seguidor, filtrado, restador y amplificación. En la Figura 29 desarrollada por el autor se puede ver con más detalle las fases que contiene el circuito analógico y sus características

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

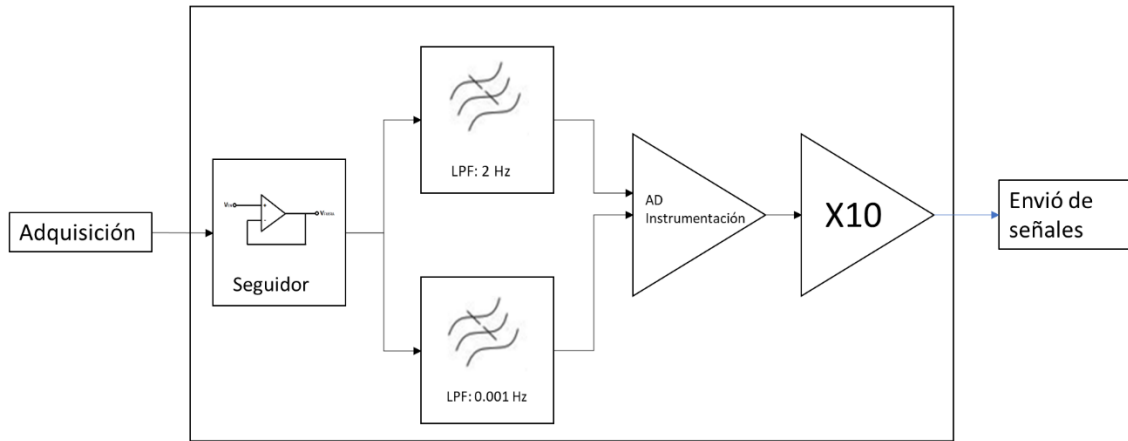


Figura 29: Diagrama de bloques circuito analógico

C. Envío de información

Para el envío de información, se escogió que desde un Arduino UNO se mandan la información hacia un módulo de Bluetooth y esta será adquirida por el puerto virtual serial de Bluetooth del computador. El Arduino actúa en este caso como interprete ya que adquiere la señal analógica y manda una señal digital por los puertos seriales RX/TX como se puede ver en la Figura 30 es decir, el Arduino se convierte en el convertor analógico-digital para el envío de las señales.

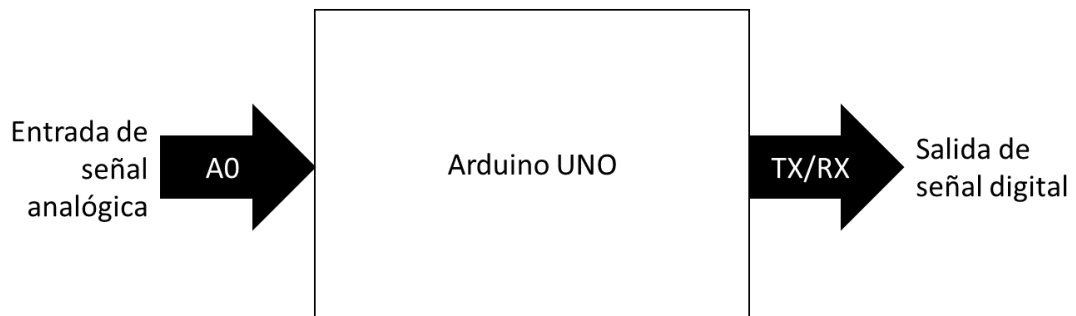


Figura 30: Diagrama de bloques del Arduino

D. Procesamiento digital de señales

Para el procesamiento de señales, después de la adquisición de las señales mandadas por el bluetooth serán mandadas a un software realizado por LabVIEW. En la Figura 31 se puede ver el algoritmo que se utilizó para leer las señales adquiridas del bluetooth, mostrar diferentes

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

indicadores como el tiempo, la concentración de oxígeno y el VO_2 máximo Además, las señales llenan un vector para la visualización en una gráfica.

El algoritmo consiste en varios pasos secuenciales. Primero, el programa verifica si se ingresó un peso, si no se ha ingresado el programa se parará automáticamente. Luego, se necesita ingresar un puerto serial virtual de acuerdo con el asignado previamente por el PC para el módulo bluetooth. A partir de ese momento se puede empezar a hacer el ejercicio y los datos de voltaje serán recibidos por el programa. Los datos se convierten de tipo String a tipo número para poder procesarlos. De acuerdo con una calibración hecha en la sección 3.3.8 se realizó la conversión del número adquirido de voltaje para pasarlo a concentración de oxígeno. Luego se almacenan los datos en un vector, con el objetivo de que luego de que pasa cada min del ejercicio se hace un promediado de valores. El promedio se utiliza para un algoritmo de obtención del VO_2 máximo o consumo máximo de oxígeno. El valor máximo se compara con el valor anterior y si es mayor se almacena como el nuevo máximo.

Al final del ejercicio, se obtienen los valores de tiempo, de consumo máximo de oxígeno y de la concentración de oxígeno que se obtuvo a lo largo del ejercicio en un vector.

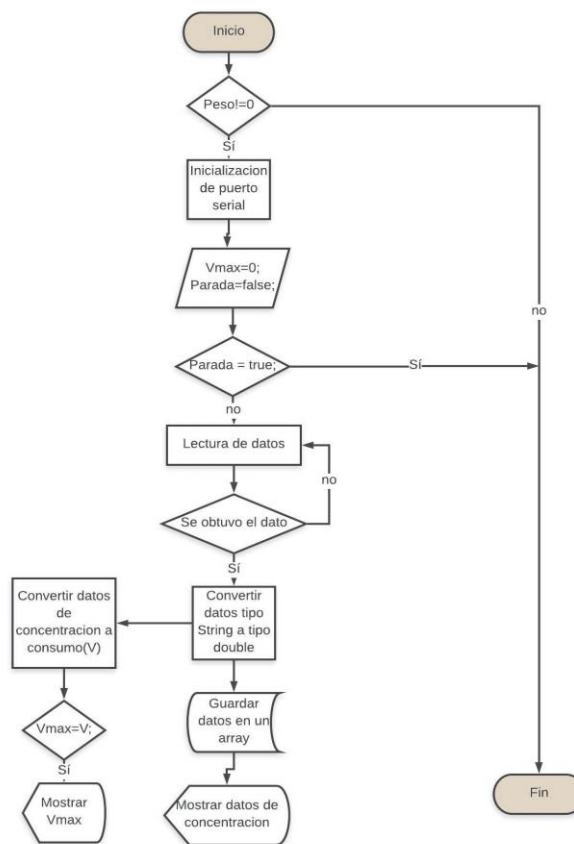


Figura 31: Algoritmo de Procesamiento digital de la señal

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

3.3.4 Simulación de esquemáticos

Para la simulación de los esquemáticos, se utilizó una fuente senoidal como reemplazo a la señal del sensor, y se empezaron a variar las respuestas entre 0.1 y 15Hz con el fin de estimar el correcto funcionamiento del circuito analógico. A partir de los resultados mostrados en la Figura 32, se puede observar como la amplitud de la señal disminuye a medida que aumenta la frecuencia. Teniendo en cuenta que las frecuencias de corte fueron de 2Hz y de 0.001Hz, se puede afirmar el correcto funcionamiento de los filtros planteados.

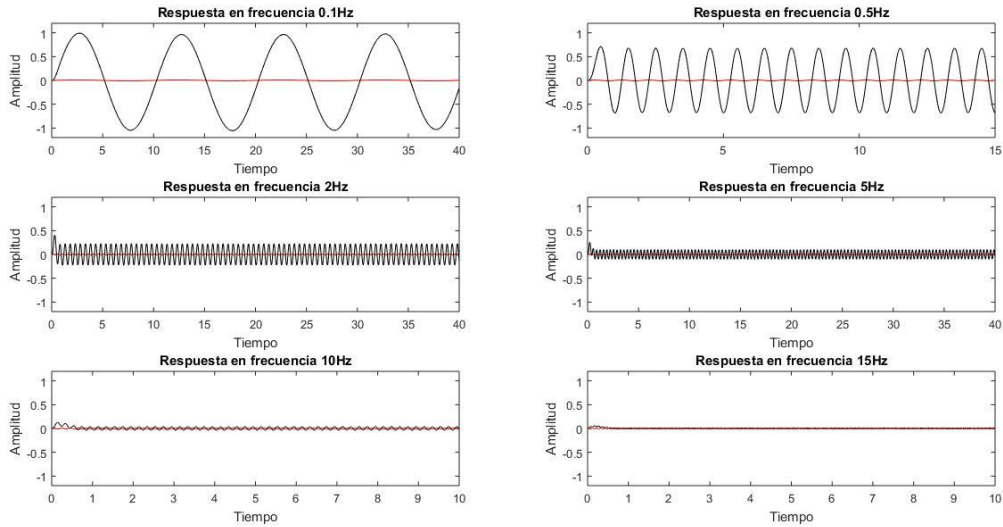


Figura 32: Respuesta en frecuencia de simulaciones

3.3.5 Pruebas de funcionamiento

Para las pruebas iniciales de funcionamiento se utilizaron diferentes componentes electrónicos como: el amplificador de instrumentación AD620 de Texas Instruments y TL072 de Texas Instruments con los mismos capacitores y las mismas resistencias calculadas en el paso anterior 3.3.3. Para estas pruebas se utilizó la protoboard tradicional y la configuración se puede visualizar en la Figura 33. Para las pruebas se utilizó un AD620 para reemplazar el amplificador de instrumentación escogido debido a sus características parecidas y porque las pruebas iniciales se realizaron con doble alimentación de 5V.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

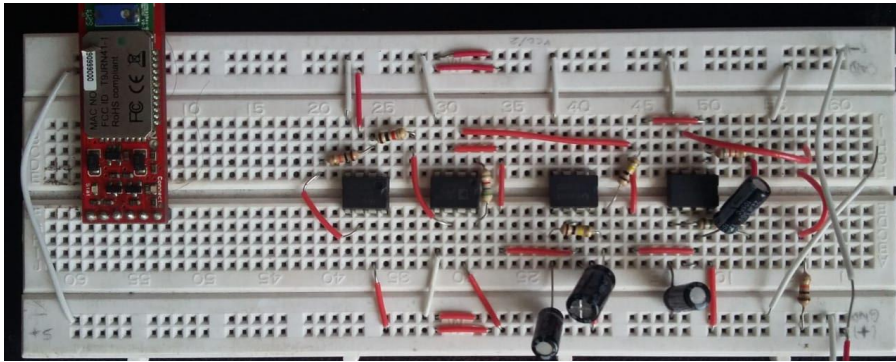


Figura 33: Circuito implementado en protoboard para las pruebas iniciales

3.3.6 Diseño de circuitos impresos

El diseño de los circuitos impresos fue pensado para que fuera compacto y fácil de implementar. Siguiendo las reglas básicas del diseño de PCB, el circuito se diseñó con dos capas y su distribución hacen fácil el entendimiento del circuito para su mantenimiento posterior. Por lo tanto, la capa superior es del circuito analógico y la capa posterior es del circuito de alimentación.

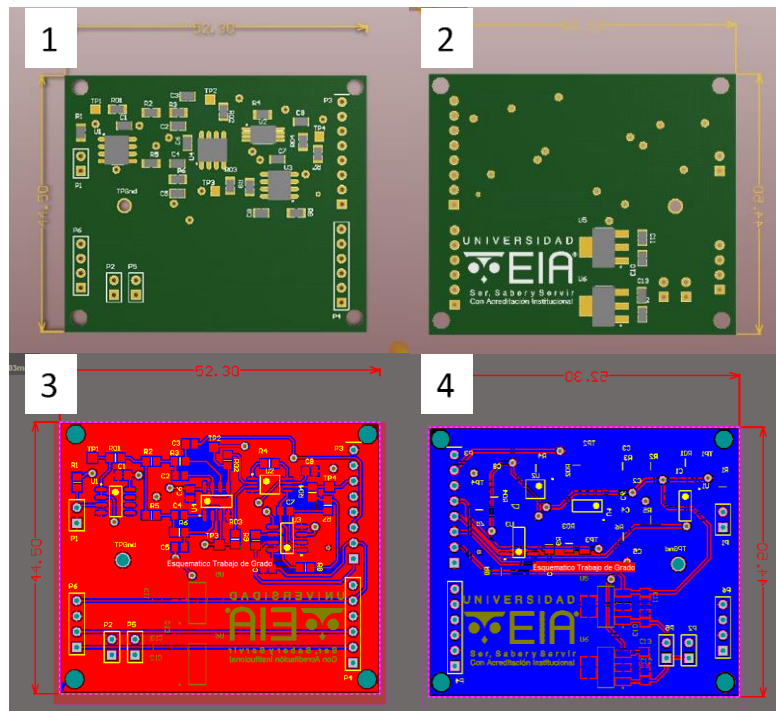


Figura 34: Diseño PCB del dispositivo electrónico realizado en Altium Designer. 1. cara superior de la tarjeta diseñada en 3D. 2. cara inferior de la tarjeta diseñada en 3D. 3. cara superior de la tarjeta diseñada en 2D. 4. cara inferior de la tarjeta

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

3.3.7 Implementar una interfaz gráfica

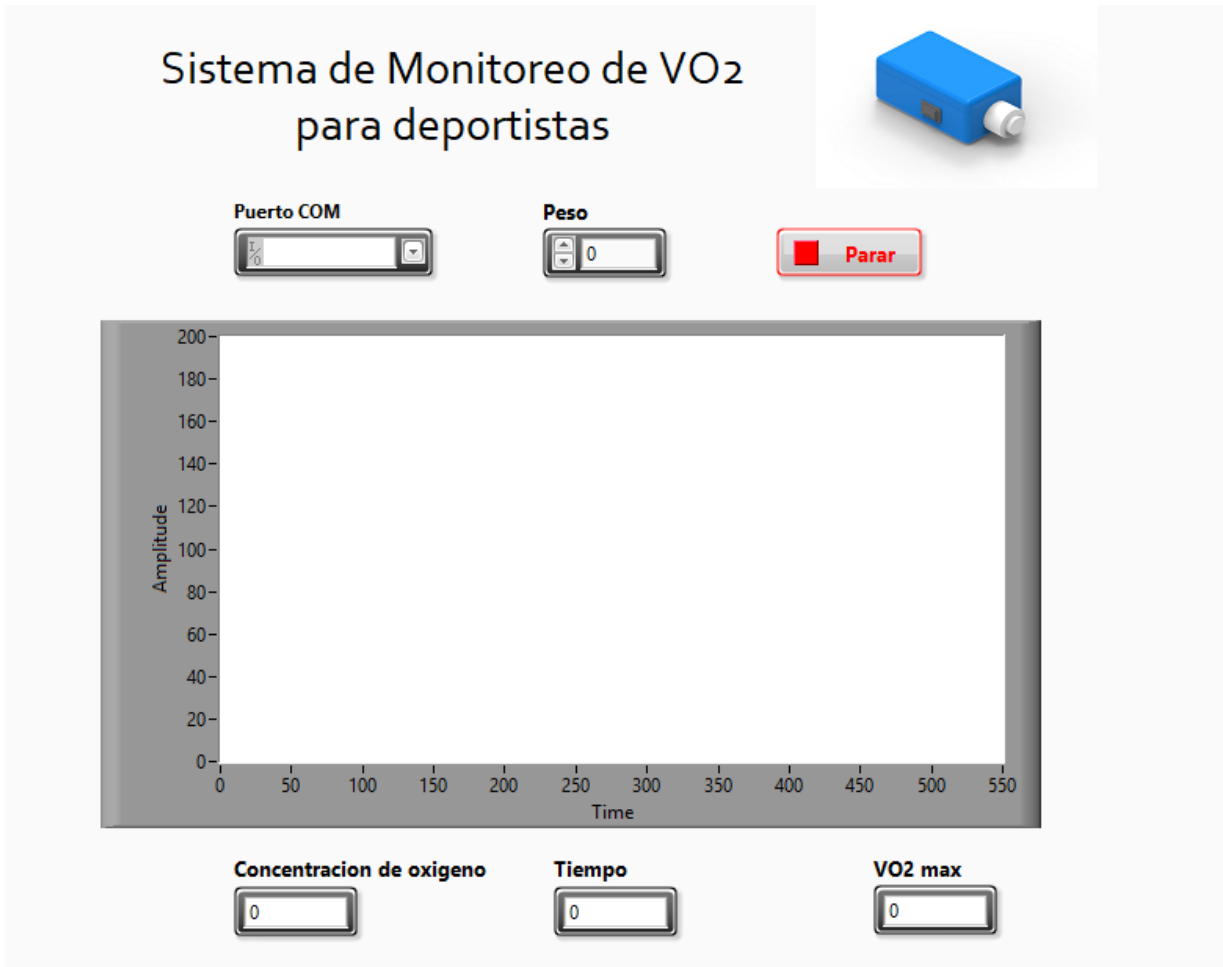


Figura 35: Interfaz Gráfica del Sistema

La interfaz fue desarrollada en el software NI LabVIEW® con el objetivo de ofrecer una facilidad de entendimiento, visualización clara de variables y ser intuitiva. Consiste en un botón de Inicio y un botón de parada, una gráfica que va a mostrar la concentración de oxígeno a través del tiempo, tres indicadores de valores que son VO₂ Máximo, concentración de oxígeno y el tiempo transcurrido en la prueba y dos controles de peso y del puerto serial virtual.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

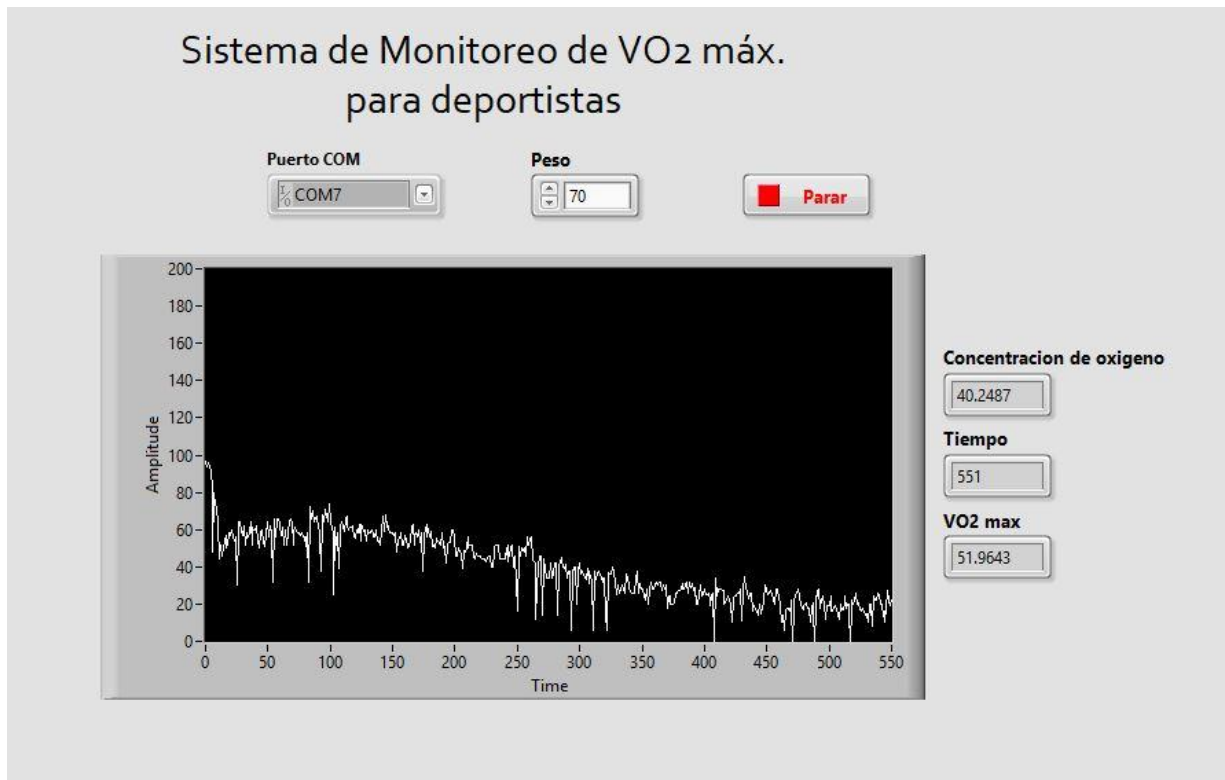


Figura 36: Interfaz gráfica. Prueba inicial

3.3.8 Calibración del sistema de instrumentación

Para la calibración se utilizaron dos valores, que fueron el valor de aire en el ambiente y el valor con la concentración de oxígeno en 100%. Para el 100% se utilizó la máquina de anestesia como validación y fuente de oxígeno regulada. La Tabla 27 muestra los valores en mV que arroja el circuito.

Tabla 27: Tabla para curva de calibración

<i>Amplitud(mV)</i>	<i>% de concentración de oxígeno</i>
248	21
352	100

La Ecuación 5, es la fórmula que se utilizó para la calibración del algoritmo y encontrar valores reales de concentración de oxígeno.

$y = 1.3165x + 220.35$	ECUACIÓN 5
------------------------	------------

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

3.3.9 Caracterización y pruebas de funcionamiento

A. Pruebas de caracterización

➤ Prueba al escalón

La prueba del escalón se realizó a partir de conectar el osciloscopio en la entrada de circuito (incluyendo el sensor) y medir desde el momento que se le conectaba 5V en la entrada. En la Figura 37 se pueden observar las dos señales, la amarilla es el resultado de la salida medida por el osciloscopio y la azul es la señal de entrada que en este caso sería 5V.

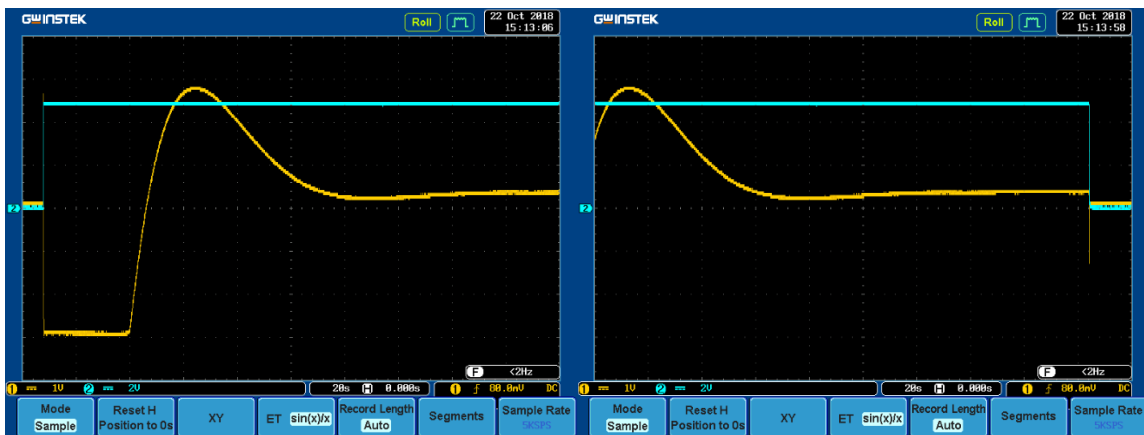


Figura 37: Grafica de Prueba al escalón

➤ Respuesta en frecuencia

Para la gráfica en frecuencia se quería verificar el funcionamiento de los filtros, para esto se fue variando la frecuencia desde 2Hz en adelante y así se obtuvo la Figura 38 en Microsoft Excel. Como parámetro para tener en cuenta es que se utilizó como amplitud inicial en toda la prueba de 500mV. Se inicio desde 2Hz debido a que, la frecuencia de corte principal está en 2 Hz y a partir de ahí iba a tener un cambio significativo como se mostró en las simulaciones de la sección 3.3.4.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

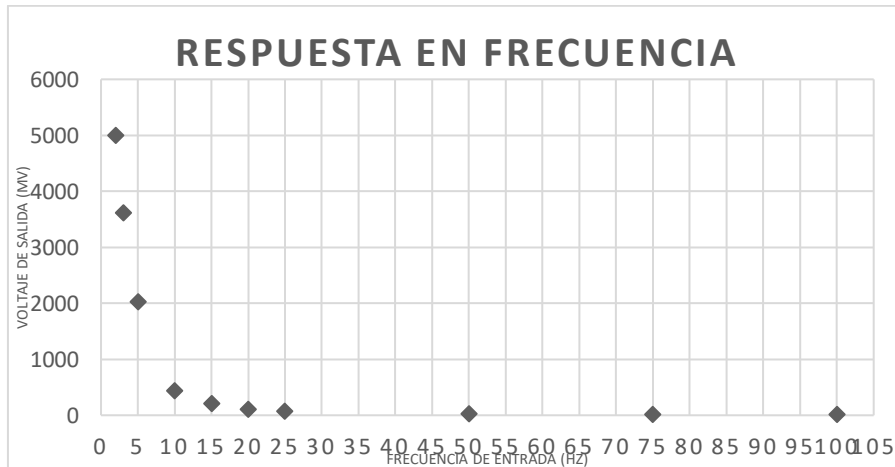


Figura 38: Gráfica de respuesta en frecuencia

Tabla 28: Valores prueba de respuesta en frecuencia

<i>Frecuencia entrada (Hz)</i>	<i>Amplitud Inicial</i>	<i>Amplitud Salida (mV)</i>
2	0.5 V	5000
3	0.5 V	3615
5	0.5 V	2030
10	0.5 V	445.5
15	0.5 V	208
20	0.5 V	115
25	0.5 V	82
50	0.5 V	31.8
75	0.5 V	24.3
100	0.5 V	21.6

3.4

EVALUACIÓN DE FUNCIONALIDAD

En esta sección se muestra la evaluación de funcionalidad del sistema. Para esto se crea una tabla para cada categoría de las necesidades establecidas en la sección 0

Como se puede observar, se muestra la calificación de cada necesidad y además se justifica desde la visual del investigador del proyecto.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Tabla 29: Evaluación de funcionalidad del sistema de monitoreo

Necesidad	Calificación	Justificación
1	5.0	El sistema puede ser considerado como portátil debido a su tamaño pequeño, bajo peso, su ajuste al cuerpo del deportista y que funciona con baterías.
2	5.0	El costo total del proyecto no paso de 500 USD, por lo tanto, es un bajo costo comparado con los dispositivos que se encuentran en el mercado.
3	4.0	El dispositivo cuenta con un solo botón para su fácil utilización por parte del deportista y la interfaz gráfica se puede inferir su funcionamiento.
4	4.0	La máscara se acopla a la cara de manera correcta, sin embargo, el diseño del dispositivo puede no ser el más ergonómico.
5	5.0	El sistema no es invasivo debido a que el sistema no compromete de forma física ningún órgano, es decir, no daña ni rompe los órganos del cuerpo.
6	3.0	Como no se calibro con un sensor completamente nuevo, los resultados pueden variar y no ser exactos.
7	3.0	Se utilizaron componentes comunes por lo que se puede reproducir fácilmente.
8	5.0	Desde el momento que se prende el dispositivo electrónico, empieza a medir de forma continua los valores
9	5.0	Debido al bajo amperaje que se maneja es completamente seguro el sistema.
10	4.0	Los materiales que se utilizaron son fáciles de limpiar y desinfectar.
11	4.0	El interfaz muestra los resultados que necesita saber el entrenador o el deportista.
12	5.0	No irrita la piel de ninguna forma.
13	5.0	Debido a sus dimensiones similares a las de un teléfono celular es fácil de guardar.
14	4.0	El dispositivo físico puede durar entre dos y tres años, el sensor y las baterías toca cambiarlas cada 6 meses aproximadamente como mantenimiento
15	5.0	Mantenimiento es sencillo por los componentes electrónicos fáciles de encontrar, superficies fáciles de llegar y mascara con materiales lavable y esterilizable.
16	3.5	Puede presentar algunas alteraciones de ruido de baja frecuencia.

A continuación, se muestra el promedio acumulado de la calificación y finalmente un total que permitirá dar una idea de la evaluación del sistema.

Promedio Total:4.4

Con un promedio superior a 4 se puede decir que el proyecto cumple con las expectativas y las necesidades planteadas inicialmente por lo que se da una evaluación positiva.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

4. DISCUSIÓN

La discusión planteada se realizará en tres partes: discusión física, discusión electrónica y discusión del sistema como un todo. Con el fin de evaluar resultados por separado y poder sacar conclusiones al respecto.

DISCUSIÓN DE METODOS DE MEDICIÓN

4.1 A partir de los resultados de las entrevistas y de la revisión bibliográfica, se puede decir que se obtuvo una respuesta positiva sobre el método de medición propuesto en el trabajo. Aunque la muestra de encuestados fue pequeña, se logró obtener los resultados esperados en sus respuesta y con esto poder segmentar la bibliografía para buscar de manera más asertiva los métodos en la literatura. La Figura 14, muestra que la mayoría de entrevistados le dan un visto bueno al método directo, lo que apoya la hipótesis del trabajo sobre este tipo de medición y le dio el aval para continuar con la investigación. Además, las Figura 13 y Figura 15 se puede evidenciar la importancia que piensas los expertos de la medición de VO_2 máximo y el desarrollo de un dispositivo electrónico en Colombia con esas características, principalmente porque lo ven como una necesidad y que todas las instituciones tanto de deporte como de salud deben tener uno igual. Para una posterior investigación, se podría consultar con más personas involucradas en el deporte a nivel nacional tanto deportólogos, como empresarios en la industria deportiva y a los mismos deportistas.

4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS FISICOS

4.1.1 Máscara

La máscara se desarrolló en el software Siemens Solid Edge® debido a los buenos conocimientos que se tenía sobre sus herramientas para el diseño en 3D. Luego, se quiso imprimir en 3D para su implementación en el sistema, sin embargo, el diseño no cumplía con los requerimientos adecuados tales como hermeticidad, fácil limpieza y desinfección, biocompatibilidad y ergonomía al cuerpo. Por lo tanto, se decidió buscar otras opciones, entre ellas, implementar el diseño en un material como Silicona o algún plástico que cumpliera con los requerimientos, el problema encontrado fue el alto costo para la compra de materiales y la poca experiencia que se tenía con este tipo de materiales, por lo que se decidió buscar una máscara comercial.

Luego de una búsqueda en tiendas de salud en la ciudad de Medellín. Se le presentó el proyecto a la IPS OxiRental y la necesidad de una máscara para su cotización, pero la empresa decidió donar la que mejor cumplía con las especificaciones de la sección 3.2.1. La máscara donada se decidió implementarla en el sistema físico y dejarla para las pruebas. Para un proyecto futuro, es necesario rediseñar la máscara para una posterior fabricación y no depender de donaciones para las pruebas y tener una máscara determinada para el sistema. Aunque el diseño en CAD cumplía con los requerimientos planteados, la posterior

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

implementación no fue la adecuada y no cumplió con los resultados esperados, por lo que es necesario, cambiar materiales e implementarlo de manera correcta. A pesar de todo se pudo acoplar la máscara donada al sistema de manera correcta para un cumplimiento de los objetivos.

4.1.2 Dispositivo electrónico

Para la estructura del dispositivo electrónico, primero se realizó un diseño CAD en el software Siemens Solid Edge, las principales características que se tuvieron en cuenta fueron la ubicación del sensor, la ubicación de la PCB y de la batería. Para esto se realizó el diseño óptimo de espacio para que todas las partes pudieran tener un lugar, También se pensó en el diseño exterior para poder transportarlo en su soporte. Los resultados de la impresión 3D, sufrieron unos leves cambios por la impresión que afectaron el posicionamiento de las cosas mínimamente. Aunque cumplió con su objetivo principal, el sensor fue ubicado afuera para facilidad de cambio sostenido por el soporte. El tamaño resulto ser más pequeño de lo que se esperaba debido a que se pensaba que fuera similar al de un celular. Lo único que puede mejorar es la altura que es de 60 mm superior a un celular. En cuanto al material, se decidió implementarlo inicialmente en ABS por su facilidad de impresión en 3D, sin embargo, es un material poco resistente.

Aunque la estructura del dispositivo electrónico es funcional y contiene todos los componentes electrónicos de manera organizada, para trabajos futuros, es necesario una estructura más pequeña o algo que pueda tener el sensor para evitar golpes y daños en el sistema. Como primer prototipo, fue bien utilizado y cumplía con los objetivos de acoplar el sistema físico desde el sensor electrónico hasta la máscara para la obtención de los datos de concentración.

4.3

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS ELECTRONICOS

Luego de obtener los resultados de la electrónica en cuanto a esquemáticos, PCB y pruebas funcionales , se debe hacer un análisis importante sobre lo obtenido. Por esto, la discusión se hará a partir de dos componentes: la instrumentación y la caracterización. Con esto se pretende dar una mirada objetiva a lo obtenido durante el proyecto.

4.2.1 Instrumentación

El sistema de instrumentación del sistema de monitoreo es un componente fundamental para el proyecto. Con este se logra obtener datos de concentración de oxígeno con respecto a las variables respiratorias que tiene cada paciente y como cambia a lo largo del tiempo con el fin de la estimación de VO_2 máximo o consumo máximo de oxígeno por minuto.

Para desarrollar un sistema de apropiado, en el proyecto se realiza en primer lugar, un módulo para la medición de concentración de oxígeno de manera analógica. Con este circuito se pueden adquirir valores de voltaje relacionados con la entrada. Como se mostró en los resultados, el circuito es diseñado e implementado con éxito y permite realizar el monitoreo continuo de la concentración. Los circuitos son pequeños, de fácil cambio y reparación,

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

alimentados con una sola fuente de 5 V y entregan su respuesta de 0-2V. Además, el fabricante Maxtec en la hoja de datos del sensor expresa que el error que presenta es menor o igual al 2% en condiciones de operación normal. Para las pruebas iniciales que se realizaron con la protoboard el sistema de monitoreo funcionaba como se esperaba y se podía medir la concentración de oxígeno con el sensor y llegaba la información para su visualización en la interfaz gráfica, sin embargo, al momento de realizar el paso de protoboard a PCB se sufrieron cambios de valores en las resistencias y en los capacitores que no se tuvieron en cuenta inicialmente, lo que provocó un cambio en la salida del voltaje y una variación en el funcionamiento del circuito analógico y los valores de calibración previamente obtenidos. A pesar de todo él envió de las señales y el procesamiento analógico siguió funcionando. Es necesario una mejor implementación de los circuitos para que el cambio no afecte los resultados. Se debe tener en cuenta que el sensor escogido debido al presupuesto no es el más adecuado debido a su respuesta lenta y su error mayor al 1%, lo que afecta los resultados de los deportistas en el campo.

El objetivo del desarrollo del dispositivo electrónico se cumplió debido a que se realizaron las actividades de manera correcta solo que al momento de la implementación se cambiaron varias componentes que hicieron una variación el funcionamiento. Las pruebas en la protoboard prueban el correcto funcionamiento del dispositivo electrónico desde su fase de adquisición hasta el procesamiento digital y la visualización de la información como se puede observar en la Figura 36. Algo que se debe tener en cuenta es que la calibración de 2 puntos entre 21% y 100% como se explica en la sección 3.3.8 puede producir un error mayor al 10%.

Con respecto a la interfaz gráfica, se logró una interfaz gráfica donde se digita el peso de forma manual y al final del ejercicio muestra un valor de consumo máximo. Sin embargo, en el algoritmo de estimación del VO_2 máximo se utiliza un valor constante de respiración como lo dice (Levitzky, 2013), asumiendo un volumen corriente de 500 ml por respiración y una estimación de 12 respiraciones por minuto. Otro aspecto para tener en cuenta es el tiempo de muestreo, debido a que el del sensor es de aproximadamente 13 s y puede afectar en las mediciones posteriores porque se puede estar produciendo unos falsos resultados.

Para futuros trabajos, se deben mejorar diferentes características del sistema para que pueda ser implementado con pacientes. Primero, se requiere mejorar el circuito analógico y el funcionamiento de la PCB. Segundo, conseguir un sensor de oxígeno con mayor resolución y un tiempo de muestreo menor a 13 segundos y un error menor o igual a 1%. Por último, es necesario mejorar el algoritmo para la estimación del VO_2 principalmente en un método para la medición de la respiración por minuto.

4.2.1 Caracterización

Para la validación del funcionamiento del circuito analógico se realizaron dos pruebas de caracterización escogidas por las necesidades del proyecto y los conocimientos previos que se tenían. Para la primera prueba, la respuesta en escalón, en la Figura 37 se evidencia que la gráfica se comporta como un circuito sub amortiguado. Esta respuesta no afecta el resultado debido a que dura 2 min en estabilizarse la salida, por lo que se debe tener en cuenta y se puede decir en las especificaciones, luego se obtiene una señal que varía dependiendo de la

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

concentración de oxígeno. Este tiempo, puede afectar la medición debido a que, en las gráficas se produce un voltaje alto y bajo que el algoritmo no puede soportar. De acuerdo con el máximo sobre impulso y el tiempo de estabilización, entre otras características, se puede realizar una primera aproximación de la función de transferencia de la respuesta para unos futuros trabajos.

Para la prueba de respuesta en frecuencia, según la Figura 38, la caída de voltaje que se presenta a medida que se aumenta la frecuencia luego de 2Hz en adelante, con esto puede decir que los filtros planteados y calculados funcionan de manera correcta, que el rechazo a ruido del modo común es muy alto y esto lleva a tener una mayor resolución en la adquisición de las señales. Teniendo en cuenta estos resultados, se pudo comprobar que a partir de la frecuencia de corte de 2Hz en adelante, se tiene una caída de amplitudes de voltaje significativa y prueba el funcionamiento de los filtros pasa bajas.

DISCUSIÓN DEL SISTEMA

- 4.4 El sistema de monitoreo diseñado e implementado es una nueva herramienta utilizada para medir la concentración de oxígeno y que ayuda la estimación del consumo máximo o VO_2 máx. Para esto, se implementó un algoritmo desarrollado por el autor de acuerdo con las características que presentaba el sensor en cuanto a presión atmosférica y concentración de oxígeno en el ambiente. Además, se tuvieron en cuenta estimaciones de variables respiratorias como lo son volumen corriente y respiraciones por minuto.

El sistema quedo con un peso y unas dimensiones menores a los sistemas de monitores que se encuentran actualmente en el mercado colombiano, lo que ayuda a la satisfacción de los deportistas y una mejora en los resultados debido a la comodidad de estos.

Con esta herramienta se presentan grandes oportunidades de investigación, debido a que esta es importante para estimar el rendimiento deportivo y como el deporte es un mercado amplio, los futuros trabajos son muchos de acuerdo con las necesidades del deporte o del deportista. Es importante mejorar la interfaz gráfica y algunos componentes electrónicos para obtener una respuesta más confiable y obtener mejores resultados para los deportistas.

En cuanto a lo físico, el sistema de monitoreo presenta características muy favorables, para que los deportistas puedan realizar su ejercicio de forma normal y sin afectar su manera de realizar la actividad física, que son la pequeña área total de los componentes y el diseño de mascara similar a la que se encuentra en los mercados.

En la Tabla 30 se muestra un comparativo de características técnicas importantes en algunos de los más importantes sistemas de monitoreo para la función cardiorrespiratoria. Puede verse que algunas de las características que presentan los otros sistemas, las presenta el proyecto lo que muestra su potencial. Debido a que es el primer prototipo, puede ser considerado como una buena aproximación de un sistema de monitoreo para deportistas.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Tabla 30: Comparación de proyecto con productos comerciales

Sistemas de Monitoreo	Care Fusion	Cosmed	Proyecto
Monitoreo Continuo	SI	SI	SI
Inalámbrico	NO	SI	SI
Error de sensor	0.02%	0.01%	2%
Alimentación	Batería recargable	Batería recargable	Batería alcalina
Bajo peso	NO	NO	SI
Interfaz gráfica para interacción con el usuario	SI	SI	SI
Variables medidas	16	16	2

De acuerdo con la Tabla 30, es necesario mejorar en cuanto a las características de alimentación debido a que se utilizan en este momento baterías alcalinas tradicionales y se requiere que sean recargables para una mayor duración sin requerir mantenimiento, error de medición que sea mínimo menor al 0.1% y que las variables medidas sean más de dos para poder acercarse más a los resultados que presentan los sistemas de monitoreo comerciales y obtener una respuesta más acertada de la economía de carrera y el rendimiento. Entre las variables que miden están el flujo de respiración y electrocardiograma a lo largo del ejercicio.

5. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

El desarrollo del sistema de monitoreo de VO_2 para deportistas fue un gran reto para el autor debido a la complejidad que se tiene en cuanto la medición de variables fisiológicas de forma inalámbrica y de medición continua por las implicaciones que se tiene cuanto al ruido. Además, existe muy poca evidencia de algún desarrollo similar a nivel nacional, por lo que fue necesario compararse con los sistemas comerciales de compañías internacionales como Care Fusion® y Cosmed.

Se logra obtener un sistema electrónico de monitoreo con características muy similares a las que se encuentran en el mercado utilizando diferentes algoritmos y diferentes herramientas. Se cumplió con los objetivos propuestos y se logró aplicar muchos de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera tales como Modelos y Simulación, Adquisición y Procesamiento de Señales, Electrónica, Morfofisiología, entre otras.

De acuerdo con los resultados de las entrevistas de la sección 3.1.1, los expertos en deporte dieron el aval y unos buenos comentarios sobre el proyecto de grado y sus posibilidades. Las entrevistas fueron una herramienta importante para continuar con la investigación debido a que dieron algunas pistas de cómo se iba a desarrollar la mecánica y la electrónica del sistema. También, las gráficas mostraron la favorabilidad de los expertos en el proyecto en dos aspectos, primero en que el rendimiento si es afectado por las capacidades físicas entre ellas el VO_2 máximo y que la medición directa es la más adecuada para estimarlo.

El dispositivo electrónico fue desarrollado, con algunas mejoras pendientes, como la resolución de la señal de salida, los tiempos de inicio debido a que el sensor presenta un arranque para su medición y la óptima funcionalidad del circuito PCB. A pesar de eso, se pudieron realizar las pruebas funcionales de todo el sistema con el circuito en protoboard desde la adquisición hasta la visualización de la información.

En cuanto al diseño físico, se logró el acople completo de las partes de manera adecuada para unas pruebas a futuro con pacientes reales. Para la parte de la máscara se diseñó un modelo CAD de cómo se quería que puede ser implementado con los materiales adecuados, en este proyecto se utilizó una máscara comercial. En cuanto a la estructura del dispositivo electrónico, se realizó un diseño CAD y luego su impresión en 3D con la ubicación de las partes de forma estratégica y optimizando el espacio.

Mejoras y desarrollos posteriores deben hacerse en el marco de nuevos trabajos de grado, tesis o tesis que permitan seguir ampliando la investigación y el conocimiento en esta área específica. Para los posteriores proyectos o trabajos se propone cambiar la batería de 9V por una batería de litio con un voltaje similar, disminuir el tamaño del dispositivo electrónico hasta el tamaño más pequeño posible, utilizar un microcontrolador PIC o similar en vez de un Arduino, realizar un reporte de los datos de acuerdo con el paciente medido y sacar un estándar de rendimiento y por último una aplicación para la lectura de los datos. Además, otras características que podría tener el dispositivo para un mayor conocimiento del rendimiento

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

físico utilizando la técnica de Economía de Carrera sería medir más variables fisiológicas tales como Respiraciones por minuto, ECG y Umbral anaeróbico.

El sistema de instrumentación desarrollado es una valiosa herramienta para el entrenamiento deportivo y la medición del rendimiento físico, pues ofrece una posibilidad de medir dos variables a cada individuo. Se logró realizar un dispositivo más básico pero similar al que se tiene en el mercado internacional como lo es K5 Cosmed (Cosmed srl, 2017). Además, este sistema puede ayudar en la medición de pruebas físicas en los hospitales y en las instituciones de salud en Colombia como una alternativa a la medición tradicional para prevenir enfermedades cardiorrespiratorias.

6. REFERENCIAS

- Aemedi. (18 de Octubre de 2018). *Cortex*. Obtenido de <http://www.aemedi.es/cortex.htm>
- AFEL. (2018). *Módulo RF Transmisor y Receptor 433MHz*. Obtenido de <https://afel.cl/producto/modulo-rf-transmisor-y-receptor-433mhz/?v=42983b05e2f2>
- Aliexpress. (2018). *Sonda Lambda Sensor de oxígeno*. Obtenido de https://es.aliexpress.com/store/product/Free-Shipping-Lambda-Proba-Oxygen-Sensor-for-ALFA-ROMEO-166-147-Mito-FIAT-Bravo-LANCIA-Delta/327837_32618214819.html
- Allied. (2018). *Elpac by Inventus Power MSM40A*. Obtenido de <https://www.alliedelec.com/elpac-by-inventus-power-msm40a/70195471/>
- Alvarez Acevedo, F. (Febrero de 2016). ESTUDIO E IMPLEMENTACION DE UN CONVERTIDOR AC/DC PARA EL CONTROL DE UN MOTOR DE CONTINUA DEL LABORATORIO. Obtenido de https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/16515/AlvarezAcevedo_Francisco_TFG_2016.pdf;sequence=2
- Alvarez Medina, J., Gimenez Salillas, L., Manonelles Marqueta, P., & Corona Virón, P. (2001). Importancia del VO₂ MAX. Y la Capacidad de recuperacion en los deportes de prestacion mixta. Caso Práctico: Fútbol- Sala. *Archivos de Medicina del Deporte*, 577-583.
- Alvarez Soto, C. A. (2009). INFORME FINAL DEL SEMINARIO DE ÉNFASIS EN ENTRENAMIENTO DEPORTIVO X. *LAS CAPACIDADES COORDINATIVAS Y SU RELACIÓN CON EL CICLISMO DE MONTAÑA*. Medellín: INSTITUTO UNIVERSITARIO DE EDUCACIÓN FÍSICA. Obtenido de <http://viref.udea.edu.co/contenido/pdf/181-lascapacidades.pdf>
- Alvarez, F. (19 de Febrero de 2010). *El funcionamiento de la sonda Lambda*. Obtenido de Highmotor: <https://www.highmotor.com/funcionamiento-sonda-lambda.html>
- Antivero, E., & Vargas, C. (2007). CONSUMO DE OXÍGENO (VO₂) DIRECTO EN JUGADORES DE FUTBOL PROFESIONAL ARGENTINO. 83-101.
- Arduino. (2018). *What is Arduino*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/>
- Billat, V. (2002). *Fisiología y Metodología del Entrenamiento (De la teoría a la práctica)*. Paidotribo .
- Biolaster. (2017). *Umbral Anaerobico*. Obtenido de <https://www.biolaster.com/rendimiento-deportivo/metabolismo-energetico/umbral-anaerobico/>

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Bogotá mejor para todos. (04 de Abril de 2014). *El 85% de personas que viven en Bogotá practican actividad deportiva o recreativa* . Obtenido de Cultura y Recreacion: www.bogota.gov.co/temasdecuidad/cultura-y-recreacion/el-85-por-ciento-de-personas-que-viven-en-Bogotá-practican-actividad-deportiva-o-recreativa
- Boraita, A., de la Rosa, A., Heras, M. E., de la Torre, A. I., Canda, A., Rabadan, M., . . . Hernández, M. (2010). Cardiovascular Adaptation, Functional Capacity, and Angiotensin-Converting Enzyme I/D Polymorphism in Elite Athletes. *Revistas Española Cardiología*, 810-819.
- BricoGeek. (2018). *Pulsador switch 12mm*. Obtenido de <https://tienda.bricogeek.com/componentes/298-pulsador-switch-12mm.html>
- CablesandSensors. (2018). *Compatible O2 Cell for Envitec - 6051-0000-219*. Obtenido de <https://www.cablesandsensors.eu/products/compatible-o2-cell-for-envitec-oom105?variant=32675092873>
- Carlson, G. M., Kadhiresan, V. A., & Spinelli, J. C. (2000). *United States Patente nº 6.026.320*.
- Carrusel. (20 de Abril de 2015). *La importancia de incluir el deporte en la educación* . Obtenido de El Tiempo: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15601949>
- Castillo Garzon, M. J., Gutierrez Sainz, A., Ortega Porcel, F., Ruiz Ruiz, J., Jimenez Pavon, D., España Romero, V., . . . Gallardo, L. (2011). EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN FÍSICA. *Fisiología Médica*. Obtenido de <http://www.ugr.es/~cts262/ES/documents/CuadernopracticascondicionfisicaFisiologiaMedicina2011.pdf>
- Cinertools. (2018). *Velcro Adhesivo*. Obtenido de <https://www.cinertools.es/es/sujeciones/23-velcro-adhesivo.html>
- Colomer, J. (16 de Agosto de 2013). *¿Que es el vo2 max?* Obtenido de HSN Blog: <https://www.hsnstore.com/blog/que-es-el-vo2-max/>
- Conceptodefinicion. (2014). *¿Que es el deporte?*
- ConceptoDefinición. (2017). *Definicion de Respiración*. Obtenido de <http://conceptodefinicion.de/respiracion/>
- Cooper, K. H. (1980). *The aerobics way*. Bantam.
- Cosmed. (2018). *K5*. Obtenido de Cosmed The Metabolic Company: <https://www.cosmed.com/en/products/cardio-pulmonary-exercise-testing/k5>
- Cosmed srl. (2017). *K5 Wearable Matabolic Technology*.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Definicion.de. (2017). *Capacidades Fisicas*. Obtenido de <https://definicion.de/capacidades-fisicas/>
- Didacticas Electronicas. (2018). *Switch Balancin 2 pines*. Obtenido de I+d Electronicas: <https://didacticaselectronicas.com/index.php/suiches-y-conectores/suiches/balancin/switch-balanc%C3%ADn-2-pines-rectangular-suiche-detail>
- Dulhoste, J. F. (2008). Principios Básicos sobre instrumentación. En *Instrumentacion*. Escuela de Ingenieria Mecanica- ULA.
- Duque, J. R. (Enero de 2018). Entrevista sistema de monitoreo de vo2 en deportistas. (A. M. Ramirez, Entrevistador)
- Electronilab. (2018). *Cable USB tipo A/B Impresora*. Obtenido de <https://electronilab.co/tienda/cable-usb-tipo-ab-de-impresora/>
- FUNES. (2014). Ergoespirometria. *Orden Hospitalaria de San Juan de Dios*.
- Gale, T. (2007). Rendimiento Deportivo. *World of Sports Science*.
- Garatachea, N., & de Paz Fernandez, J. (2001). Fiabilidad del método de monitorización de la frecuencia cardiaca en la estimación del costo energético-VO2. *Medicina de l'Esport*, 29-35.
- Geekbotelectronics. (2018). *Modulo Bluetooth HC-05*. Obtenido de <http://www.geekbotelectronics.com/producto/modulo-bluetooth-hc-06/>
- Geratherm. (2018). *Ergostik*. Obtenido de Geratherm : <https://geratherm.com/en/respiratory-3/nutritional-assessment/ergostik/>
- Ghosh, A. K. (2004). ANAEROBIC THRESHOLD: ITS CONCEPT AND ROLE IN ENDURANCE SPORT. *Malaysian Journal of Medical Sciences*, 24-36.
- Glosario.net. (2006). *Adenosin Trifosfato*. Obtenido de <http://salud.glosario.net/alimentacion-nutricion/adenosina-de-trifosfato-%28atp%29-2188.html>
- Gobierno de Canarias. (2009). Test de Cooper. *Boletin Oficial de Canarias* .
- Gobierno de Canarias. (2009). *Test de Cooper*. Boletin Oficial de Canarias.
- Gonick, M. (2016). *Adiós a las cremas: el MIT crea una piel artificial que borra todas las arrugas*. Obtenido de https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2016-05-09/adios-a-las-cremas-el-mit-crea-una-piel-artificial-que-borra-todas-las-arrugas_1197103/

- Guio Gutierrez, F. (2010). Conceptos y clasificacion de las capacidades fisicas. *Revista de investigacion cuerpo, cultura y movimiento*, 1(1), 77-86. Obtenido de <http://revistas.usta.edu.co/index.php/rccm/article/download/1011/1260>
- Gutierrez Vargas, M. (2006). Umbral Anaerobico., (pág. 11). Heredia, Costa Rica.
- Hall, J. E., & Guyton, A. (2011). *Tratado de Fisiologia Medica*. Madrid: Elsevier España.
- I.E.S. Pablo Picasso. (s.f.). VO₂máx y Test de Cooper.
- laiche, R., Toraa, M., & Friemel, F. (1996). Évaluation de VO₂ Max et de VMA, en laboratoire et sur le terrain. *Science & Sports*, 91-95.
- Jimenez, J. (30 de Agosto de 2017). *Con esta vulnerabilidad en LabVIEW podrían secuestrar tu PC*. Obtenido de <https://www.redeszone.net/2017/08/30/esta-vulnerabilidad-labview-podrian-secuestrar-pc/>
- Johancruyffinstitute. (10 de Marzo de 2017). *Los wearables triunfan en la industria del deporte*. Obtenido de <https://johancruyffinstitute.com/es/blog-es/los-wearables-triunfan-industria-del-deporte/>
- Jump for you. (2018). *10ft Amarraderas de Nylon en Venta*. Obtenido de <http://www.jumpforyou.com/amarraderas.htm>
- Levitzky, M. G. (2013). *Pulmonary Physiology*. McGraw-Hill Education.
- Lopategui Corsino, E. (2012). PRUEBA AERÓBICA DE CAMINAR DE.
- Maiolo, C., Melchiorri, G., Iacopino, L., Masala, S., & De Lorenzo, A. (2003). Physical activity energy expenditure measured using a. *Sports Med*, 445-447.
- MANUEL J CASTILLO GARZÓN, Á. G. (2011). EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN FÍSICA. *Ciencia y Tecnología para la Salud* 262, 1-27.
- Martin Cuenca, E. (2006). *Fundamentos de la Fisiologia*. Madrid: International Thomson Editores Spain.
- Martinez San Juan, J. (1 de Agosto de 2017). *Reconocimientos médicos deportivos*. Obtenido de Webconsultas: <https://www.webconsultas.com/ejercicio-y-deporte/medicina-deportiva/prueba-de-esfuerzo-868>
- Martinez, E. (1985). La Capacidad Aerobica. *Educacion Fisica y Deporte*, 1-7.
- Mathworks. (2015). Matlab R2015a.
- Matveev, L. P. (1975). *Periodización del entrenamiento deportivo*. Madrid: INEF.

- Medline Plus. (5 de septiembre de 2017). *Metabolismo*. Obtenido de Medline Plus: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002257.htm>
- MedlinePlus. (2017). *Intercambio de Gases*. Obtenido de <https://medlineplus.gov/spanish/ency/anatomyvideos/000059.htm>
- Mejia Salas, H., & Mejia Suarez, M. (2012). Oximetria de pulso. *Revista de la Sociedad Bolivariana de Pediatría*, 51(2), 149-155. Recuperado el 25 de Septiembre de 2018, de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-06752012000200011&lng=es&tlng=es.
- MercadoLibre. (2018). *Soporte De Teléfono Celular Para Correr Y Hacer Ejercicio*. Obtenido de https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-483917231-soporte-de-telefono-celular-para-correr-y-hacer-ejercicio-_JM
- Merriam Webster. (2018). *biosensor*. Obtenido de Dictionary: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/biosensor>
- Microsoft. (2016). *Visual Basic 2016*.
- MountainBike.es. (2016). El papel del VO2 MAX en nuestro cuerpo. *Bike*.
- Nanclares Duque, J. A., & Serna Cordoba, F. L. (2018). Trabajo de Grado presentado Para optar al título de Tecnólogo en Entrenamiento Deportivo. *Capacidades físicas condicionales en jóvenes futbolistas de la categoría sub 16 pertenecientes a la Corporación Social Deportiva de Colombia (Cosdecot)*. Bello: Universidad de San Buenaventura Colombia. Obtenido de https://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/5719/1/Capacidades_Fisicas_Condicionales_Nanclares_2018.pdf
- NewPaint. (2018). *ARNES 3 ARGOLLA YARBIRD XL*. Obtenido de <http://newpaint.cl/producto/arnes-3-argolla-yarbird-xl/>
- OMS. (1998). Obesity: preventing and managing the global epidemic. *Geneva: World Health Organization*.
- OMS. (2017). *Actividad Física*.
- Ortiz L., G. (2009). *Respuesta al escalon unitario*. Obtenido de http://ingenierovizcaino.com/teinco/clc/corte2/09_Respuesta_transitoria_v08s02.pdf
- PersonalRunning.com. (2017). *VO2max*.
- Pimper. (2018). *MONTRE INTELLIGENTE GARMIN FORERUNNER 30*. Obtenido de <https://www.pimper.fr/montres-connectees/48770-montre-intelligente-garmin-forerunner-30-0753759190118.html>

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Plowman, S. A., & Smith, D. L. (2011). *Exercise physiology for health, fitness, and performance*. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins,.
- Portafolio.com. (11 de 05 de 2015). *El deporte es un negocio rentable*. Obtenido de <http://www.portafolio.co/negocios/empresas/deporte-negocio-rentable-31298>
- Prat, J. A., & Coll, J. (1987). *Condición motriz: VO₂ máx. Potencia aeróbica máxima capacidad aeróbica y endurance en la infancia y la adolescencia*. Granada.
- RAE. (2018). *Deporte*. Obtenido de Diccionario de Linguística española.
- Riera Riera, j. (1997). Acerca del deporte y deportista. *Psicología del deporte*, 127-138.
- RockerShack. (2018). *DPDT Toggle Switch*. Obtenido de <https://www.radioshack.com/products/dpdt-toggle-switch>
- Rodríguez Camacho, H. (2013). *¿CONDICIÓN FÍSICA O RENDIMIENTO DEPORTIVO? Clínica Cerebro*.
- Seabrookwindows. (2018). *¿Cómo funciona una placa de circuito impreso?* Obtenido de <http://www.seabrookwindows.com/nQo9YkXW4/>
- Senko. (2013). *Electrochemical gas sensor*. Obtenido de Technical information: http://www.senko.co.kr/en/rnd/tech_info.php
- Strehlitz, D. (26 de Julio de 2017). *Biosensors - Development and Application*. Obtenido de Helmholtz: <https://www.ufz.de/index.php?en=39398>
- Symnet. (2018). *Pila alcalina tamaño D. Blister x 2*. Obtenido de <http://www.symnet.com.ar/pila-alcalina-tamano-blister-p-600.html>
- TecnoEdu. (2018). *Pack de baterías recargables Pasco - PS-2527*. Obtenido de <https://tecnoedu.com/Pasco/PS2527.php>
- Tortora, G. J., & Derrickson, B. (2013). *Principios de Anatomía Y Fisiología*.
- Tostatronic. (2018). *Regulador de voltaje a 5V 7805*. Obtenido de <http://tostratronic.com/store/electronica/132-regulador-de-voltaje-a-5v-7805.html>
- Twister Medical. (2014). Ergoespirómetro Labtech. *Catálogo y Especificaciones Técnicas*.
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2015). *Product Design and Development*. McGraw Hill Inc.
- Universidad de Malaga. (2005). *Tema 5: Análisis de la Respuesta Frecuencial de Sistemas LTI*. Obtenido de http://mapir.isa.uma.es/varevalo/teaching/automatica/pdfs/Tema%2005%20-%20Respuesta%20en%20frecuencia%20v6_vicente.pdf

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Universidad de Murcia. (2018). *Test UKK*. Obtenido de Centro de Medicina del deporte: <http://www.um.es/web/medicinadeportiva/contenido/pruebasvalconfi/test-resis/ukk/ukk1>
- Universidad de Murcia. (2018). *Test UKK*. Obtenido de Centro de Medicina y Deporte: <https://www.um.es/web/medicinadeportiva/contenido/pruebasvalconfi/test-resis/ukk/ukk1>
- Universidad Nacional de Tucumán . (2009). *82. Relación señal/ruido*. . Obtenido de <http://ecaths1.s3.amazonaws.com/guionynarracion/Relacion%20senal%20ruido.pdf>
- Universidad Tecnologica de Pereira. (2012). TEST DE COURSE NAVETTE.
- Universidad Tecnologica de Pereira. (s.f.). TEST DE COURSE NAVETTE.
- Vargas Z, M., Lancheros P, L., & Barrera P, M. (2011). GASTO ENERGÉTICO EN REPOSO Y COMPOSICIÓN CORPORAL EN ADULTOS. *Revista Fac Med.*, 43-58.
- Vela, J. (2015). *VO2 max, PAM, VAM... ¿Qué es cada cosa?* Obtenido de Resitencia: <http://resistencia.es/entrenamiento-2/vo2-max-pam-vam-que-es-cada-cosa/>
- Webster, J. G. (2010). *Medical Instrumentation: Application and Design*.
- West, J. B. (2012). *Respiratory Physiology*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- White, G. (2009). Introducción al análisis de vibraciones. *Azina DLI*, 148.
- Woods, R. A. (2017). Sports And Exercise. *U.S Bureau of Labor Statistics*, 1-27.

7. LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1: Protocolo de Pruebas en deportistas	90
ANEXO 2: Simulación de esquemático en Altium Designer	93
ANEXO 3: Protocolo de Pruebas de Caracterización.....	94
ANEXO 4: Formato de Entrevistas.....	98

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

ANEXO 1: Protocolo de Pruebas en deportistas

UNIVERSIDAD



Ser, Saber y Servir

Con Acreditación Institucional

PROTOCOLO DE PRUEBAS PARA SISTEMA DE MONITOREO DE VO₂ MÁX. EN DEPORTISTAS.

ELABORADO POR: Andrés Miguel Ramírez Palacio Estudiante de Ingeniería Biomédica	Vo. Bo. DE:	REVISADO Y APROBADO POR:
FECHA DE APROBACIÓN:		

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

1. INTRODUCCIÓN

Las pruebas para la medición del VO_2 máxima son realizadas principalmente por deportistas tanto aficionados como profesionales. La medición del VO_2 Máx. es utilizada para cuantificar el rendimiento de un deportista y su condición física respecto a un ejercicio. Existen diferentes técnicas para medir el VO_2 máximo, en este caso será una medición directa a partir de un dispositivo electrónico. Para una medición más confiable y comodidad del paciente, es necesario que el deportista practique su deporte con normalidad en el campo.

2. DEFINICIÓN

La prueba para la medición del VO_2 máx. o concentración máxima de oxígeno consiste en medir la cantidad (volumen) de oxígeno que se consume con un dispositivo electrónico y una máscara mientras se realiza una actividad deportiva a alta intensidad a partir del intercambio de gases durante la inspiración y espiración. Se expresa en milímetros de oxígeno utilizados en un minuto por kg de peso corporal. (Colomer, 2013).

3. PREPARACIÓN PARA EL DEPORTISTA

- No fumar en las 24 horas previas a la prueba.
- No tomar bebidas alcohólicas ni cafeína 3 horas antes de la realización de la prueba.
- Evitar ingerir comidas abundantes y ejercicio 2 horas antes de la prueba.
- No realizar actividad física intensa en las últimas 12 horas.
- Llevar ropa cómoda y calzado cómodo para la realización de la prueba.
- Al llegar al laboratorio o al sitio coordinado previamente, el deportista deberá recibir explicaciones sobre la realización de la prueba y el funcionamiento del equipo.
- Antes de la prueba, el dispositivo debe ser ajustado al cuerpo del paciente sin provocar ninguna incomodidad, del mismo modo, la máscara debe ser ajustada a la cara del paciente con el fin de evitar cualquier fuga.

4. INDICACIONES

- Evaluación del VO_2 máximo durante el ejercicio.
- Seguimiento de la concentración de oxígeno a lo largo de la actividad física en un deportista.
- Evaluación del rendimiento físico de un deportista.

5. CONTRAINDICACIONES

- Incapacidad Física
- Equipo Insuficiente
- Cansancio
- Confusión mental
- Mareos, Náuseas o disnea.

6. RECURSOS

- Dispositivo electrónico
- Máscara Facial
- Arnés o soporte para el cuerpo
- Computador portátil

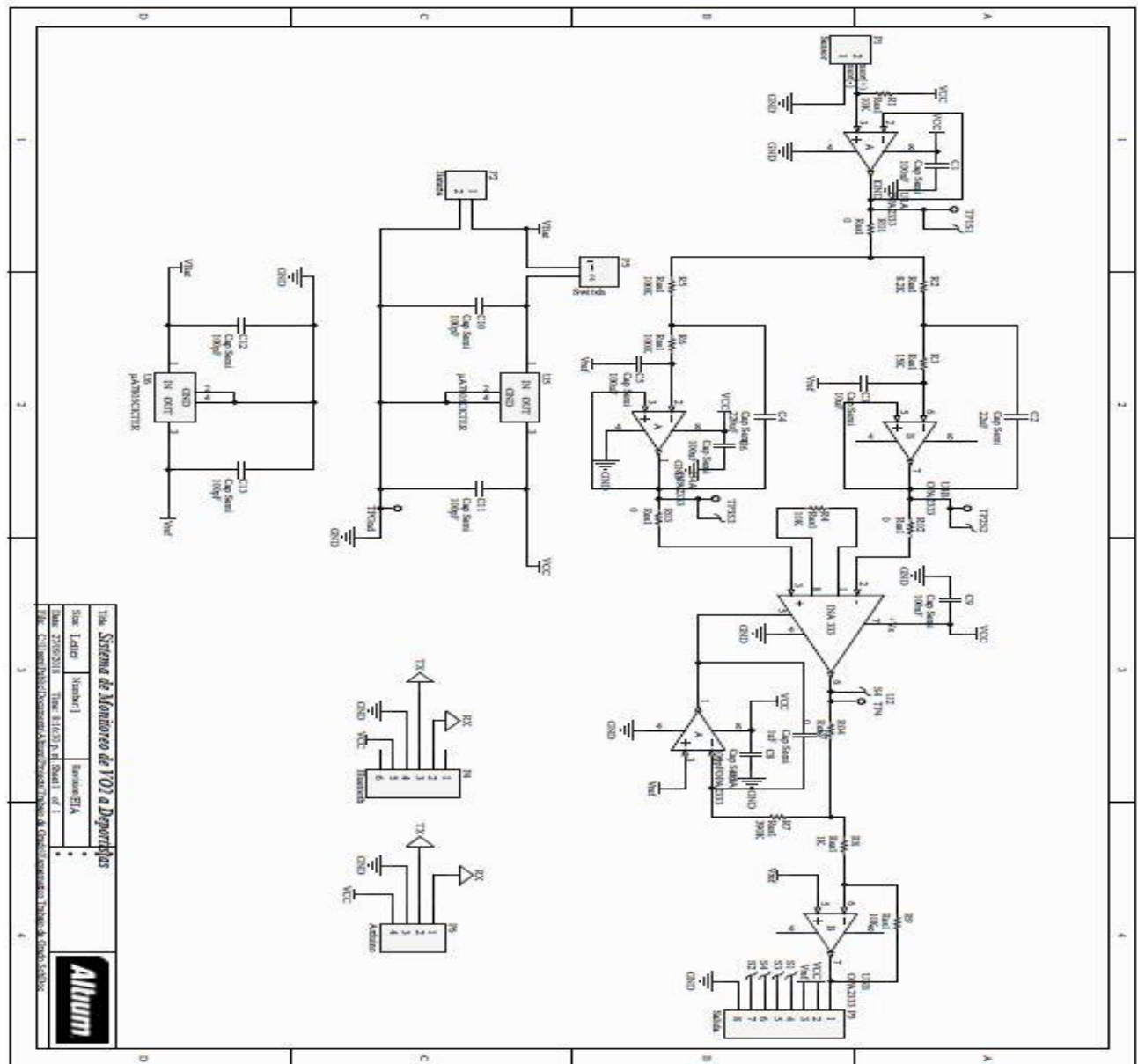
7. RECURSOS HUMANOS

- Medico Deportologo
- Entrenador Deportivo
- Ingeniero encargado

8. REFERENCIAS

- Principles of Exercise Testing and Interpretation 4th edition Karlman Wasserman.

ANEXO 2: Simulación de esquemático en Altium Designer



La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

ANEXO 3: Protocolo de Pruebas de Caracterización



Protocolo de pruebas de caracterización para sistema de monitoreo de VO_2 máx. en deportistas.

ELABORADO POR: Andrés Miguel Ramírez Palacio Estudiante de Ingeniería Biomédica	Vo. Bo. DE:	REVISADO Y APROBADO POR:
FECHA DE APROBACIÓN:		

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

1. INTRODUCCIÓN

Las pruebas de respuesta se hacen en los circuitos electrónicos por ingenieros en los laboratorios de electrónica o de instrumentación con el objetivo de ver como son los parámetros que lleva la señal saliente y así poder manipularlos si es el caso. Las pruebas se pueden hacer en diferentes dispositivos dependiendo de las respuestas que se quieran obtener, en el caso de nosotros que queremos conocer cuatro parámetros se utilizara un software desarrollado para evaluarlas todas en simultaneo.

A partir de diagramas de bode de una función de transferencia se puede representar el resultado de la respuesta que uno necesita. Teniendo en cuenta las entradas, salidas, bloques y conectores de la función se va construyendo el diagrama. Todo esto se hace utilizando transformada de Fourier.

2. DEFINICIÓN

2.1 Respuesta en frecuencia:

Según (White, 2009), La respuesta de frecuencia es una característica de un sistema que tiene una respuesta medida que es el resultado de una entrada conocida aplicada.

En otras palabras, es el resultado que sale por un circuito electrónico con una entrada conocida. La salida del sistema en este caso se quiere que salga en términos de frecuencia a partir de la transformada de Fourier (Universidad de Malaga, 2005).

2.2 Respuesta al escalón unitario:

El análisis a la respuesta al escalón unitario consiste en mirar los componentes de frecuencia y de fase de un circuito electrónico después de que se le ingresa una señal de escalón unitario (Ortiz L., 2009).

1. PROCEDIMIENTO

Respuesta al escalón

1. Revisar conexiones del circuito analógico.
2. Conectar el sensor de manera apropiada al circuito
3. Prender el osciloscopio y conectar sus dos canales en la entrada y salida del circuito respectivamente.
4. Alimentar la entrada del circuito con una señal escalón (Input = 5V).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

5. Revisar y guardar la gráfica correspondiente.
6. Sacar conclusiones.

Respuesta en frecuencia

1. Revisar conexiones del circuito analógico.
2. Prender el osciloscopio y conectar sus dos canales en la entrada y la salida del circuito respectivamente.
3. Alimentar el circuito analógico sin el sensor con 5V.
4. Prender el generador de ondas y conectarlo al puerto del sensor.
5. Elegir una frecuencia inicial y una amplitud inicial para una señal senoidal
6. Variar la frecuencia de entrada (1-100 Hz) y llenar la Tabla 31

Tabla 31: Tabulación para Respuesta en frecuencias

<i>Frecuencia entrada</i>	<i>Amplitud Inicial</i>	<i>Amplitud Salida</i>

7. Realizar un análisis en Excel de frecuencia-amplitud
8. Sacar conclusiones

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

2. INDICACIONES

- Medición de Respuesta en Frecuencia
- Medición de Respuesta al escalón unitario

3. CONTRAINDICACIONES

- Mala obtención de datos

4. RECURSOS

- Dispositivo electrónico
- Osciloscopio
- Fuente de Voltaje
- Computador portátil
- Ingeniero Encargado
- Excel
- Generador de Ondas

5. REFERENCIAS

Ortiz L., G. (2009). *Respuesta al escalon unitario* . Obtenido de http://ingenierovizcaino.com/teinco/clc/corte2/09_Respuesta_transitoria_v08s02.pdf

Universidad de Malaga. (2005). *Tema 5: Análisis de la Respuesta Frecuencial de Sistemas LTI*. Obtenido de http://mapir.isa.uma.es/varevalo/teaching/automatica/pdfs/Tema%2005%20-%20Respuesta%20en%20frecuencia%20v6_vicente.pdf

Universidad Nacional de Tucumán . (2009). *82. Relación señal/ruido* . Obtenido de <http://ecaths1.s3.amazonaws.com/guionynarracion/Relacion%20senal%20ruido.pdf>

White, G. (2009). Introducción al análisis de vibraciones. *Azina DLI*, 148.

ANEXO 4: Formato de Entrevistas

Trabajo de Grado

Sistema de Monitoreo de VO₂ a deportistas.

Nombre: _____

Cedula: _____

Ocupación: _____

Preguntas:

1. Para usted ¿Qué es el rendimiento deportivo?
2. ¿Cómo afecta el proceso de entrenamiento al rendimiento del deportista?
3. ¿Qué parámetros afectan o pueden afectar al rendimiento?
4. ¿Conoce usted el VO₂ máximo? ¿Qué es?
5. ¿Qué técnicas conoce para la medición del VO₂ máximo, qué opinión tiene respecto a ellas?
6. ¿Cuál es la técnica que cree más confiable y en qué consiste?
7. ¿Qué piensa del desarrollo de un dispositivo electrónico para la medición de VO₂ máximo de forma automática y en campo?