

Facultad de Ingeniería
Ingeniería Electrónica

Programa Especial de Titulación

Implementación de un sistema de ergoespirometría para mejorar el diagnóstico de prueba de esfuerzo para pacientes de alto riesgo en centro de salud especializado cardiosalud

Luis Alberto Castillo Maurtua

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electrónico

Lima – Perú
2021

Dedicatoria

Dedicado a mis padres, que con su apoyo pude superar adversidades y completar los desafíos y cumplir mis metas.

Agradecimiento

Agradezco a mis maestros de la UTP cuya guía me ha llevado a convertirme en un profesional y mejor persona.

Abstracto

En la ciudad de Arequipa se implemento un sistema de ergoespirometría también conocido como prueba de esfuerzo cardiopulmonar en un Centro Especializado en enfermedades cardiacas, con el objetivo de mejorar el servicio que brinda a sus pacientes.

El objetivo principal fue la implementación un sistema de esfuerzo en base a una banda caminadora agregando un sistema de análisis de intercambio de gases respiratorios para mejorar el diagnostico en paciente de riesgo tuvo un incremento en el diagnóstico de 11% en relaciona los periodos 2018 a 2019.

Asimismo, se cumplieron los objetivos secundarios al implementar la banda caminadora como ergómetro base siendo el ejercicio que compromete la mayor cantidad de músculos en un ejercicio conocido por el paciente; también se implementó como instrumento de medición cardiaca el electrocardiógrafo inalámbrico ECG Flexi que resolvió los problemas de ergonomía al reducir las conexiones engorrosas y reducir drásticamente la aparición de ruido térmico, artefactos de movimiento y la desaparición de ruido de línea por no estar conectado a la línea de corriente alterna. Por otro lado, la implementación del analizador de gases brindo a los expertos del centro la medición de parámetros ventilatorios e intercambio gaseoso en porcentaje de oxígeno y dióxido de carbono inspirado y exhalado de los pacientes siguiendo el criterio de Wasserman, además permitió realizar pruebas de espirometría en reposo que sirvieron para determinar la capacidad respiratoria del paciente previo a someterlo a la prueba de esfuerzo físico.

El software implementado de la compañía BTL Industries Cardiopoint® en conjunción con BTL Pistón XP proveyeron una solución al implementar una base de datos de los pacientes para almacenamiento de los resultados además de tener el módulo de muerte súbita para el análisis de los electrocardiogramas bajo el criterio se Seattle.

Dicho esto, al cabo de un año con los buenos resultados obtenidos hasta la fecha, con la aprobación de los expertos del centro Cardiosalud, se han alcanzado los objetivos esperados con gran expectativa de mejora en el futuro.

Abstract

The Cardiosalud health center implemented an ergospirometry system also known as a cardiopulmonary stress test, with the aim of improving the service it provides to its patients in the city of Arequipa.

The main objective was the implementation of an effort system based on a treadmill, adding a respiratory gas exchange analysis system to improve the diagnosis in patients at risk had an increase in diagnosis of 11% in relation to the periods 2018 to 2019. .

Likewise, the secondary objectives were met by implementing the treadmill as a base ergometer, being the exercise that engages the greatest number of muscles in an exercise known to the patient; The wireless ECG Flexi electrocardiograph was also implemented as a cardiac measurement instrument, which solved ergonomic problems

by reducing cumbersome connections and drastically reducing the appearance of thermal noise, movement artifacts and the disappearance of line noise due to not being connected to the line. alternating current. On the other hand, the implementation of the gas analyzer provided the center's experts with the measurement of ventilatory parameters and gas exchange in percentage of inspired and exhaled oxygen and carbon dioxide from the patients following the Wasserman criteria, as well as allowing spirometry tests to be carried out. at rest that were used to determine the respiratory capacity of the patient prior to submitting it to the physical stress test.

The software implemented by the company BTL Industries Cardiopoint® in conjunction with BTL Piston XP provided a solution by implementing a database of patients to store the results in addition to having the sudden death module for the analysis of the electrocardiograms under the criteria be Seattle.

That said, after a year with the good results obtained to date, with the approval of the experts from the Cardiosalud center, the expected objectives have been achieved with great expectation of improvement in the future.

Contenido

Abstracto	4
Índice de Figuras.....	9
Índice de tabla	10
Introducción.....	11
Capítulo 1 Aspectos Generales.....	13
1 Planteamiento del problema.....	13
1.1 Definición del problema:.....	13
1.1.1 Descripción del Problema:	13
1.1.2 Formulación del Problema.	14
1.1.2.1 Problema General.....	15
1.1.2.2 Problemas Específicos.	15
1.2 Definición del objetivo.....	15
1.2.1 Objetivo General	15
1.2.2 Objetivos Específicos	15
1.3 Alcances y Limitaciones	15
1.3.1 Alcances	16
1.3.2 Limitaciones.....	16
1.4 Justificación	16
1.4.1 Justificación Teórica.....	17
1.4.2 Justificación Practica.....	17
1.4.3 Justificación Metodológica	17
Capítulo 2	18
2 Marco Teórico.....	18
2.1 Fundamento Teórico	18
2.1.1 Estado del Arte	18
2.1.2 Base Teórica	19
2.1.2.1 Sistema de Ergoespirometría	20
2.1.2.1.1 Ergometría - Banda Caminadora	20
2.1.2.1.2 Electrocardiógrafo.....	24
2.1.2.1.3 Analizador de Gases	28
2.1.2.1.3.1 Circuito de paciente	28
2.1.2.1.3.2 Sensor de flujo	29
2.1.2.1.3.3 Toma de muestras	31
2.1.2.1.3.4 Sensores	31
2.1.2.1.4 Software	34

2.2	Marco Conceptual.....	40
2.2.1	Prueba de ergoespirometría	40
2.2.2	Sistema de ergoespirometría como herramienta de diagnóstico de mejor utilidad 40	
2.3	Marco Metodológico	41
Capítulo 3		43
3	Desarrollo de la solución	43
3.1	Caso de Negocio	43
3.1.1	Misión	44
3.1.2	Visión	44
3.1.3	Valores.....	44
3.1.4	Objetivos Estratégicos	44
3.1.5	Organigrama.....	44
3.1.6	Resumen del modelo de negocio	45
3.2	Plan de Gestión del Alcance	45
3.2.1	Definición del alcance del proyecto.	45
3.2.2	Proceso de definición del alcance	45
3.2.3	Proceso de Verificación del Alcance	46
3.2.4	Proceso Para El Control Del Alcance	46
3.2.5	Enunciado del Alcance.....	46
3.2.5.1	Objetivos del Proyecto.....	46
3.2.5.2	Descripción del Alcance del Proyecto	46
3.2.5.3	Requerimiento del Proyecto	46
3.2.5.4	Requerimientos del Producto	47
	Banda Caminadora:.....	47
	Electrocardiografía:	47
	Sistema de intercambio de gases:	47
	Sistema informático:	47
	Coche de transporte:	48
3.2.6	Entregables.	48
3.2.7	Criterios de aceptación.	49
3.2.7.1	Criterios de aceptación para el Sistema de ergoespirometría:.....	49
3.2.8	Desglose Del Esquema De Trabajo (EDT).....	50
3.2.9	Gestión del Tiempo	52
3.2.10	Gestión de la Calidad	53
3.2.11	Gestión de las comunicaciones	55
3.2.12	Gestión de Riesgo.....	55

3.2.13	Tabla Probabilidades e Impacto	55
3.2.14	Tabla de Tipos de Riesgo	56
3.2.15	Identificación y medición de riesgos	56
3.2.16	Plan de estrategias de respuesta	57
3.2.17	Gestión de Adquisiciones.....	58
3.2.18	Gestión de los interesados:.....	59
3.2.19	Valor Ganado	60
3.2.20	Cierre del Proyecto.....	62
3.2.20.1	Acta de Cierre del Proyecto.....	62
3.2.20.2	Acta de Conformidad	64
3.3	Desarrollo e implementación de la solución del problema de estudio	65
3.3.1	Requerimientos:	65
3.3.2	Implementación:	67
3.3.2.1	Implementacion de sistema informático:	67
3.3.2.2	Implementacion de banda caminadora:	67
3.3.2.3	Implementacion de Electrocardiógrafo inalámbrico:	69
3.3.2.4	Implementacion de coche de transporte	70
3.3.2.5	Implementacion de sistema de Intercambio de gases.....	71
3.3.3	Verificación:	72
3.3.4	Mantenimiento:.....	73
Capítulo 4	75
4	Resultados.....	75
4.1	Resultado en función del objetivo general	75
4.1.1	Resultado en función de los objetivos específicos	76
4.2	Presupuesto.....	77
Conclusiones	78
Recomendaciones	79
Referencias	80

Índice de Figuras

Figura 1. Árbol De Problema.	14
Figura 2, Vista principal de caminadora.	22
Figura 3, Motor CA de la caminadora y banda de transmisión de movimiento.	22
Figura 4, Disposición referencial del motor de inclinación.	23
Figura 5, Puerto RS-232 en caminadora BTL.	24
Figura 6, Examen ECG de 12 canales.	25
Figura 7, electrodos y derivaciones de los miembros superiores e inferiores.	25
Figura 8, Electrodo y derivaciones precordiales o torácicas.	26
Figura 9, Disposición Mason-Likar para toma de ECG en ejercicio.	26
Figura 10, La colocación normal en muñecas y tobillos. Abajo, colocación Mason-Likar. ...	27
Figura 11, Electrodo desechable.	27
Figura 12, Mascara facial y sensor de flujo de tubo de pitot.	29
Figura 13, Mecánica del Tubo de Pitot, presión de impacto en A y estática en B.	30
Figura 14, Ecuación de velocidad en tubo de Pitot digital y Sensor de presión diferencial DIP.	31
Figura 15, Manguera de nafion, permapure.	31
Figura 16, Celda sensor de oxígeno UFO-130-2.	32
Figura 17, Funcionamiento de celda electroquímica de oxígeno.	33
Figura 18, Sensor CO2 tipo NDIR.	33
Figura 19, Resumen de reporte de prueba de esfuerzo	35
Figura 20, Tira ECG de prueba de esfuerzo.	36
Figura 21, Software PistonXP, para análisis de intercambio gaseoso.	36
Figura 22, Modulo de detección de muerte súbita bajo el Criterio se Seattle Internacional 2017 de BTL Cardiopoint.	39
Figura 23, Examen de espirometría en reposo de software de análisis de gases Pistón XP de BTL.	39
Figura 24, Etapas del modelo en cascada	42
Figura 25, Organigrama de Cardiosalud	45
Figura 26, Poder de Influencia:	60
Figura 27, Grafico de valor ganado del proyecto.	62
Figura 28, Cables de interface de conexión al PC de caminadora.	69
Figura 29, Conexión de red ECG Flexi.	69
Figura 30, Electrocardiógrafo Flexi y adaptador de red Wifi.	70
Figura 31, Coche de transporte, se observa el gas de calibración de los sensores (a) y la jeringa de calibración del flujómetro (b) y sistema informático (c). Fuente: (BTL Industries Limited, 2019).....	70
Figura 32, Pre-201 Analizador de Gases.	71
Figura 33, Circuito de paciente.	71
Figura 34, Coche implementado completamente.	72

Índice de tabla

Tabla 1: Tabla De Árbol De Problemas	14
Tabla 2.- Ergómetros según su uso.....	20
Tabla 3, Especificaciones Técnicas de caminadora.	22
Tabla 4, Especificaciones técnicas de variador de velocidad.....	23
Tabla 5, Especificaciones técnicas de actuador Mecvel referenciado.	24
Tabla 6, Especificación técnica de electrodo desechable.....	27
Tabla 7, Sensor de flujo Pinkflow.....	29
Tabla 8, Especificaciones técnicas para UFO 130-2	32
Tabla 9, Especificaciones técnicas para sensor CO2 NDIR.....	33
Tabla 10, Protocolo de Bruce	34
Tabla 11, Descripción de parámetro medidos en software de intercambio gaseoso.....	36
Tabla 12, Cronograma del Proyecto, desarrollado en Gantt.....	52
Tabla 13, Cuadro específico de los criterios de control de calidad.....	53
Tabla 14, Cuadro de gestión de la comunicación.	55
Tabla 15, Cuadro de probabilidades e impactos al proyecto	56
Tabla 16, Cuadro de tipo de riesgo	56
Tabla 17, Cuadro de Medición de Riesgos	56
Tabla 18, Cuadro de medición de riesgos.....	57
Tabla 19, Matriz de adquisiciones.	58
Tabla 20, Relación de interesados	59
Tabla 21, Análisis de intereses	59
Tabla 22, Cuadro de impacto y poder de los interesados.....	60
Tabla 23, Cuadro de Valor Planeado VP, Valor Ganado EV y Valor Acumulado AC.....	61
Tabla 24, Acta de Cierre del Proyecto (Modelo)	62
Tabla 25, Acta de conformidad.	64
Tabla 26, Especificaciones técnicas de Sistema de Ergoespirometría.	66
Tabla 27, Protocolo de pruebas para ergoespirómetro BTL.....	73
Tabla 28, cuadro de actividades de mantenimiento.....	73
Tabla 29, Patrones básicos de la función cardiopulmonar.	75
Tabla 30, Cuadro de diagnósticos por año.....	76
Tabla 31, Costo para Cardiosalud total cotiza:.....	77
Tabla 32, Costo para el contratista BTL Perú S.A.C.:.....	77

Introducción

La gama de pruebas de ergometría de esfuerzo cardiaco o pruebas de esfuerzo cardiaca son necesarias para someter a un paciente con sospecha de alguna cardiopatía a un stress de ejercicio físico usando un ergómetro sea este una banda de correr, un cicloergómetro, mesa basculante, bicicleta de manos, ejercicio aeróbico o actividades al aire libre o simular el stress de ejercicio mediante medicamentos; cabe también mencionar que no solo se utiliza con el fin de detectar enfermedades o deficiencias cardiacas sino para medir también el rendimiento físico de una persona y con esta información nos ayude a mejorar estos parámetros o de plano descartar al individuo de realizar un deporte o actividad de riesgo cardiovascular.

La empresa Cardiosalud pone disposición de la población en la ciudad de Arequipa, en ausencia de este servicio en Hospitales del Seguro y Ministerio de Salud, el servicio de Pruebas de Esfuerzo Cardiopulmonares para pacientes con riesgo pre y post operatorio, rehabilitación cardiaca, encargando la implementación de este proyecto a la empresa BTL Perú S.A.C.

En el primer capítulo del proyecto se describe el problema principal del estudio y sus derivados específicos para solucionar las desventajas de una prueba de esfuerzo convencional. Siguiendo esta premisa la adición de instrumentos y componentes de medición y la mejora de características de los instrumentos convencionales ayudan a la solucionar la problemática y obtener los objetivos trazados, justificando el motivo de estudio teórica, practica y metodológicamente trazando de manera precisa los alcances del proyecto y las limitaciones de este en el contexto en el que se desarrolla.

En el segundo capítulo se fundamenta teóricamente el proyecto, haciendo una descripción del estado actual de las tecnología y estudios a las que hace referencia el planteamiento inicial, se presentan también las bases teóricas, el marco conceptual en función a las variables de estudio y el marco metodológico describiendo las herramientas y métodos utilizados para obtener y analizar la información obtenida en las etapas previas.

El en tercer capítulo se comienza el desarrollo de la solución al problema planteado en el primer capítulo, se revisa el caso de negocio que en esta investigación es el centro Cardiosalud analizando sus estatutos básicos y de calidad en lo que respecta a su actividad, sus objetivos estratégicos y organización.

Por otro lado, en este capítulo describimos en detalle los procedimientos de la gestión del proyecto con su respectiva documentación de manera ordenada siguiendo los lineamientos descritos en la guía PMBOK® del Project Management Instituto, también las etapas de implementación que siguen los lineamientos de una metodología cascada.

Lo dicho hasta aquí describe planeamiento de gestión y desarrollo por lo que prosigue en el último punto del capítulo tres es la ejecución de estos planes y lineamientos que garantizan la calidad y cumplimiento de estándares y los requerimientos del interesado principal que es Cardiosalud, describiendo paso a paso la implementación del sistema de ergoespirometría describiendo sus partes y asimismo se presenta la documentación de verificación de los entregables, mantenimiento del producto final precisando la periodicidad de las visitas de mantenimiento preventivo y actividades a realizar.

Finalmente en el capítulo cuatro se presenta los resultados del proyecto de implementación obtenidos de los expertos del centro de salud, se redactan las conclusiones finales donde se hace referencia a los objetivos conseguidos y un informe final del presupuesto ejecutado para el desarrollo del proyecto y las recomendaciones finales a tener en cuenta con respecto a las mejora y cuidados que se deben tener con el sistema de ergoespirometría y a la retroalimentación sobre el uso del software para coordinar con el fabricante las recomendaciones para la mejora continua en forma de actualizaciones periódicas del software que reflejen cambios en función de sus observaciones y recomendaciones..

Capítulo 1

Aspectos Generales

1 Planteamiento del problema

En un proyecto de investigación es necesario comenzar definiendo de manera directa y concreta las cuestiones a resolver. Por ende, el problema es el objeto principal de reflexión y estudio en la investigación, la correcta identificación y planteamiento del problema equivale a tener el 50% de la investigación ya realizada y en un camino directo en la búsqueda de la respuesta y desarrollo de la solución. (Antuna Duarte, 2015). Por consiguiente, en los siguientes puntos se desarrolla la descripción y formulación del problema que ocupa el presente proyecto de investigación.

1.1 Definición del problema:

1.1.1 Descripción del Problema:

En la prueba de esfuerzo convencional podemos obtener información de la actividad eléctrica del corazón forzada a stress físico a través de un ejercicio sobre una banda de correr, se utiliza en conjunción a la banda de correr un equipo de electrocardiografía que adquiere, amplifica y filtra estas señales que son analizados en un software dedicado.

En relación con lo antes mencionado, solo obtenemos datos de la actividad eléctrica en la forma de un ECG (electrocardiograma) durante el ejercicio lo cual resulta insuficiente para un diagnostico completo de todo lo que sucede con una persona al someterla a tal procedimiento.

Por consiguiente, es necesario contar con más información que la proporcionada por el ECG complementándolo con la obtención de información ventilatoria e intercambio de gases, pruebas previas en reposo de diagnóstico y pronóstico que ayuden a mejorar y complementar los resultados obtenidos.

Dicho esto se necesita analizar la tecnología disponible en el mercado actualmente para ofrecer una descripción detallada de cómo se abordara el problema desde el punto de vista técnico.

Por lo expuesto el centro de salud cardiológico especializado Cardiosalud en la ciudad de Arequipa, con el motivo de brindar un mejor diagnóstico y reducir riesgos en sus pacientes, desea implementar un sistema de ergoespirometría que le permita tener más información previa y detallada de ayuda al diagnóstico que deba ser realizado previo a cualquier procedimiento sea pre y post quirúrgico, rehabilitación o del estado físico del paciente.

Con la finalidad de identificar el problema central del proyecto, representamos a continuación un árbol de problemas en la figura 1:

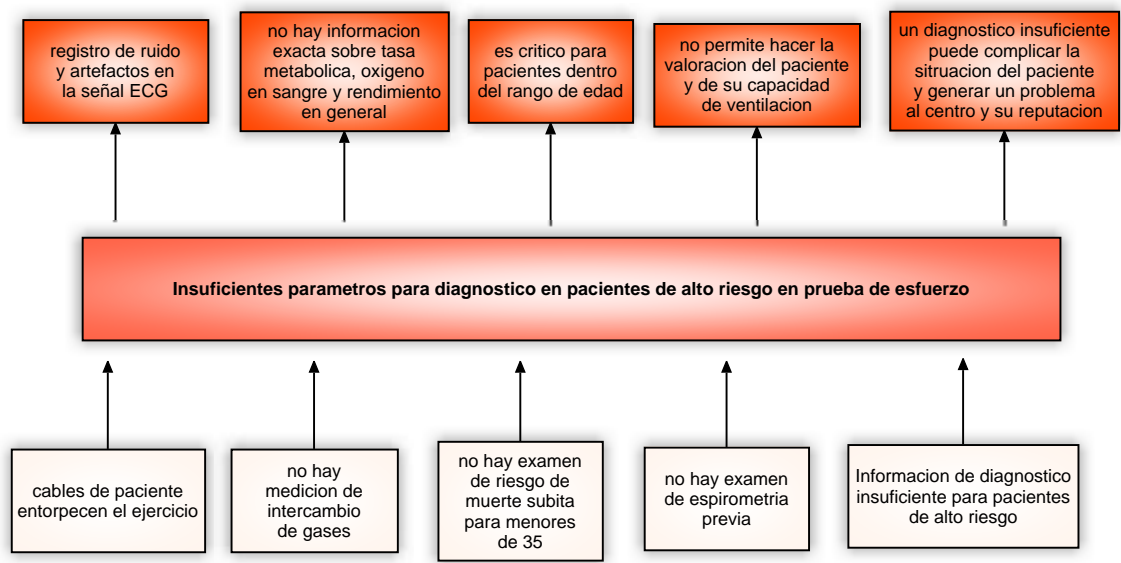


Figura 1. Árbol De Problema.
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 1: Tabla De Árbol De Problemas

ARBOL DE PROBLEMAS		
PROBLEMA: INSUFICIENTES PARAMETROS PARA DIAGNOSTICO EN PACIENTE DE ALTO RIESGO EN PRUEBA DE ESFUERZO		
Item	Causas	Efectos
1	Cables de paciente entorpecen el ejercicio.	Registro de ruido y artefactos en la señal ECG
2	No hay medición de intercambio de gases.	No hay información exacta sobre tasa metabólica, oxígeno en sangre y rendimiento en general
3	No hay examen de riesgo de muerte súbita para menores de 35.	Es crítico para pacientes dentro del rango de edad
4	No hay examen de espirometría previa	Permite hacer la valoración del paciente y de su capacidad de ventilación
5	Información de diagnóstico insuficiente para pacientes de alto riesgo.	Un diagnóstico insuficiente puede complicar la situación del paciente y generar problemas al centro y su reputación.

Fuente: Elaboración Propia

1.1.2 Formulación del Problema.

El sistema de prueba de esfuerzo tradicional se muestra insuficiente para un mejor diagnóstico en pacientes de alto riesgo, los sistemas implementados en la mayoría de los centros de salud cumplen una función básica que es efectiva en pacientes sanos o con problemas leves, pero en ocasiones resulta insuficiente con pacientes de alto riesgo, candidatos a trasplante de corazón o intervenciones para stent, marcapasos, angioplastias, etc.

1.1.2.1 Problema General.

¿En qué medida la implementación de un sistema de ergoespirometría permite mejorar el diagnóstico de prueba de esfuerzo en el centro de salud Cardiosalud?

1.1.2.2 Problemas Específicos.

- ¿Qué tipo de ergómetro es el más adecuado en pruebas de esfuerzo cardiorespiratoria para poder obtener mejor calidad de información?
- ¿De qué manera aporta a la calidad del diagnóstico la medición de parámetros ventilatorios y de intercambio de gases?
- ¿En qué medida es beneficioso la toma de exámenes previos como la espirometría, ecg basal y análisis de muerte súbita en las pruebas de ergoespirometría?
- ¿En que beneficia la conversión de la adquisición ECG de manera inalámbrica al rendimiento de la prueba de ergoespirometría técnicamente?

1.2 Definición del objetivo

En este punto se presentan los planteamientos de objetivos generales y específicos del presente proyecto de implementación. Estos, se derivan de las preguntas que surgieron al formular el problema general y sus problemas específicos originados

1.2.1 Objetivo General

Mejorar la calidad del diagnóstico en pacientes de alto riesgo con la implementación de un sistema de ergoespirometría en banda trotadora con un sistema de medición de intercambio de gases y parámetros de ventilación.

1.2.2 Objetivos Específicos

Determinar el tipo de ergómetro para pruebas de esfuerzo cardiorespiratoria a fin de obtener calidad de información y sea funcional para los objetivos de los especialistas.

Establecer el impacto que tendrá en el diagnóstico de los pacientes la medición de parámetros ventilatorios e intercambio gaseoso.

Determinar en qué medida la toma de exámenes en reposo de espirometría y muerte súbita cardíaca da valor a la prueba de ergoespirometría.

Precisar como beneficia la implementación de la adquisición ECG de manera inalámbrica al rendimiento de la prueba de ergoespirometría con respecto a la convencional conexión cableada a un equipo de sobremesa.

1.3 Alcances y Limitaciones

El alcance de una investigación delimita hasta qué punto se desarrollará el proyecto lo que nos da una idea de las conclusiones y/o soluciones a las que finalmente llegara el estudio. Por otra parte, las limitaciones indican que temas o conceptos quedan fuera del estudio, es decir, no se desarrollaran en detalle o en absoluto.

1.3.1 Alcances

En relación con los objetivos planteados anteriormente, el presente proyecto tiene como alcance dentro de su desarrollo:

- Implementar un sistema de análisis de parámetros clínicos avanzados a través de pruebas de espirometría, electrocardiograma y análisis de flujo e intercambio de gases respiratorios.
- Implementar un sistema de ejercicio en banda de correr en una estación de trabajo en la forma de un coche rodable con elementos de instalación y compartimientos para los equipos biomédicos e informáticos que forman parte del proyecto.
- Implementar un sistema informático que cumpla con los requisitos técnicos del software de análisis.
- Explicar las tecnologías que intervienen en los equipos que forman parte del sistema.

1.3.2 Limitaciones

En cuanto a material bibliográfico la información sobre la implementación y uso de sistemas de ergoespirometría en altitudes mayores de 2000 m.s.n.m. (ciudad de Arequipa, 2334 m.s.n.m.) resulta escasa y resulta en un grado incertidumbre de resultados esperados ya existentes y comprobados a altitudes menores.

En cuanto a los recursos económicos, la empresa Cardiosalud ha destinado un monto referencial que no exceda los USD 80,000.00 Ochenta mil dólares americanos para la implementación y puesta en marcha del proyecto implementación.

Por este motivo se asignará solo personal técnico altamente capacitado, para ejecutar la implementación del proyecto y posterior capacitación de los usuarios y seguimiento en la forma de mantenimiento preventivo por el periodo de garantía de 2 años.

El presente proyecto no ahondara en lo que respecta a la interpretación clínica de resultados o explicar los conceptos y teorías medicas relacionadas y se centrara en la tecnología y la implementación.

1.4 Justificación

Se puede definir la justificación en un proyecto de investigación como la parte que motiva y da sentido al mismo, en este apartado se explica la importancia y los motivos que llevan al investigador a desarrollar y solucionar problemas tangibles o intangibles, agregar nuevos conocimiento o enfoques a teorías existentes o innovar en estas últimas (Enciclopedia de Ejemplos, 2019).

En este sentido el presente proyecto de investigación tiene como motivo principal la mejora de diagnóstico en pacientes de alto riesgo con respecto a problemas cardiacos

y pulmonares, esto ante la necesidad del principal interesado en el proyecto en este caso el Centro Médico Cardiosalud que muestra su interés y preocupación en este tema al implementar un sistema de ergoespirometría en beneficio de sus pacientes y de la comunidad en general en la ciudad de Arequipa, al ser uno de los principales centros especializados en la especialidad de cardiología.

En adición una justificación posee 3 aspectos o tipos para una investigación, siendo estos teóricos, prácticos o metodológicos y no de manera excluyente porque se puede requerir a más de dos de ellos o de todos (Bernal, 2010). A continuación, se describe la justificación siguiendo estas premisas:

1.4.1 Justificación Teórica

Una teoría es un conjunto de hipótesis comprobadas en un campo de aplicación que sigue un conjunto de reglas (Raffino, 2020). De manera que se puede tener un punto de partida válido, un campo o área de conocimiento que sirve de contexto y un conjunto de reglas y métodos que nos permite extraer resultados y consecuencias válidas que aporten o renueven al conocimiento ya existente.

El proyecto se justifica teóricamente porque confirma los conceptos del uso, diseño e implementación aplicada dentro del campo de la ingeniería con tecnología que asiste a la ciencia médica, en este caso particular la especialidad de cardiología y neumología, con tecnología para simular situaciones de ejercicio en ambiente controlado adquiriendo a través de equipos biomédicos que integran una serie de sensores análogo - digitales y software que miden, adquieren y procesan los parámetros biológicos para su análisis con el objetivo de mejorar la calidad de vida de las personas.

1.4.2 Justificación Práctica

El proyecto se justifica en la práctica porque busca documentar la implementación paso a paso del sistema de ergoespirometría, los procedimientos administrativos, que deben ser realizados antes, durante y después de la implementación, también generar la documentación y procedimientos de verificación, prueba operativa y mantenimiento de los componentes del sistema y generar un reporte que sirva de guía a futuros

1.4.3 Justificación Metodológica

El proyecto encuentra su justificación metodológica puesto que para lograr los objetivos se utilizaron técnicas y métodos de investigación para adquirir la información necesaria. El proyecto es un tipo de investigación tecnológica puesto que busca resolver un problema y tiene como objetivo final un producto tecnológico, es de tipo descriptiva porque describe las características de los sistemas existentes, es de tipo cuantitativa porque hace comparaciones y análisis de sus estadísticas y las contrasta con la bibliografía existente en el área del conocimiento que le compete (Colomé, 2018). Recogiendo lo más importante para la valoración y elección de aquel que resuelva los problemas formulados y alcance los objetivos trazados.

Capítulo 2

2 Marco Teórico

El marco teórico o también denominado marco referencial, según Yedigis y Winbach, 2005 (como se citó en Hernández, Fernández y Baptista, 2006) define el marco teórico como proceso y producto, afirmando que es: “Un proceso de inmersión en el conocimiento existente y disponible que puede estar vinculado con nuestro planteamiento del problema, y un producto que a su vez es parte de un producto mayor: el reporte de investigación” (P. 64). Acorde con esta afirmación se puede decir que es la revisión de los conceptos ya establecidos relacionados con el tema de investigación dentro del contexto que este abarca y ayuda a documentar y justificar de manera eficiente los resultados obtenidos y como estos a su vez aportan y agregan valor al conocimiento existente.

2.1 Fundamento Teórico

Dentro de un proyecto de investigación es necesario tener definido de antemano el tema y el problema al que se quiere dar solución, el investigador debe explorar toda bibliografía relacionada al tema, las teorías, antecedentes de estudios similares o dentro del contexto de la investigación, todo esto con el objetivo de dar soporte y peso teórico a los resultados de la investigación. (Cajal Flores, 2019)

Conforme a esto último se procede en las siguientes líneas a desarrollar la revisión del estado del arte y la base teórica de la investigación:

2.1.1 Estado del Arte

En este apartado se presenta la situación actual del tema que se está investigando, lo que se ha dicho hasta el momento que ha sido más relevante.

Entre los sistemas de ergoespirometría más populares comercialmente por su aplicación a medicina clínica y del deporte podemos mencionar 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)

En relación con el texto citado, Cosmed es un fabricante mayormente en dispositivos de uso deportivo con énfasis en aplicaciones en medicina deportiva por lo que no es una opción recomendable en aplicaciones médicas.

El sistema BTL Cardiopoint E600, es uno de los sistemas más completos en el mercado y una solución integral, la novedad es el lanzamiento de un ECG de bolsillo inalámbrico que a diferencia de otras marcas no es un transmisor o módulo sino el electrocardiograma miniaturizado lo que mejora grandemente la señal, el sistema es básicamente una prueba de esfuerzo, pero a modo de mejora puede ser instalado el módulo analizador de gases y otros dispositivos para medir la saturación de oxígeno y la presión arterial. (BTL Industries Limited, 2019)

Con respecto a lo mencionado en medicina deportiva con respecto a las mediciones y aplicaciones en medicina deportiva de sistemas de ergoespirometría, En su trabajo de grado Ramírez (2018) refiere que lo que un deportista requiere es alcanzar sus metas y poder 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 VO₂ Máximo o el consumo máximo de oxígeno, el gasto energético y la capacidad de recuperación. Durante su trabajo se desarrolló un sistema de monitoreo de VO₂ para estimar el VO₂ Máximo luego del ejercicio. El sistema se compone de dos partes principalmente Dispositivo electrónico y mascarilla (Espirómetro, analizador de gases y Mascarilla). De acuerdo con lo dicho, las mediciones de gases ventilatorios y la cuantización de parámetros de intercambio de gases en la figura de Volumen de consumo máximo de oxígeno, VO₂ max, son una herramienta poderosa de ayuda al diagnóstico.

En este sentido dentro del objetivo de mejorar la calidad del diagnóstico de pacientes candidatos a cirugías cardiovasculares con sistemas de ergoespirometría, Valdes (2016) nos dice: La ergoespirometría o prueba de esfuerzo cardiorrespiratoria (PECR) estudia de forma global y no invasiva la respuesta integral del organismo frente al ejercicio, a través de un análisis racional de los sistemas respiratorio, cardiovascular, hematopoyético, neuropsicológico y músculo esquelético. Este procedimiento constituye una herramienta útil en la evaluación funcional y la estratificación pronóstica de pacientes con enfermedades cardiovasculares y respiratorias.

La presente revisión bibliográfica se realizó con el objetivo de profundizar en la historia de esta técnica, sus indicaciones y la interpretación de los resultados de esta prueba empleada en el seguimiento de pacientes con enfermedades cardiovasculares. Para ello se revisaron de forma automatizada y exhaustiva, los artículos relacionados con el tema y disponibles en los últimos diez años, en las bases de datos: PubMed, Medline, Hinari, Ebsco y Cumed. Toda la información obtenida se condensó, realizándose un análisis y síntesis de esta.

La PECR (prueba de esfuerzo cardiorrespiratoria) o ergoespirometría nos permite, mediante el análisis de los gases respiratorios espirados durante la aplicación de un estrés fisiológico, como es el ejercicio físico, determinar con exactitud y reproducibilidad la capacidad funcional del sujeto evaluado, así como identificar una probable isquemia miocárdica latente u otras condiciones patológicas existentes, además de prescribir con certeza un programa de ejercicios físicos donde se cumplan con rigor los principios fisiológicos fundamentales que lo han de hacer efectivo y libre de riesgos. La PECR será, por tanto, imprescindible en la evaluación del cardiópata sometido a un programa de rehabilitación cardíaca. (Valdes, 2016)

Por lo expuesto, una prueba de ergoespirometría nos da información valiosa de diagnóstico, que debería ser un estándar en pacientes con riesgos coronarios, los estudios respaldan la calidad de la información y su utilidad en la toma de decisiones de diagnóstico y procedimientos.

2.1.2 Base Teórica

La base teórica en un proyecto de investigación constituye el centro del trabajo realizado, definir una buena base teórica proporcionara una plataforma de análisis de

resultados más sólida y coherente, sin esto cualquier conclusión a la que se pueda llegar carecería de validez.

2.1.2.1 Sistema de Ergoespirometría

También conocido como prueba de esfuerzo cardiopulmonar o CPET (por sus siglas en inglés: Cardio Pulmonary Exercise Test), es un examen de esfuerzo físico cardiaco pero con la capacidad de medir de manera no invasiva el intercambio de gases ventilatorios a través de sensores de O₂, sensores de CO₂ y sensores de flujo neumático, para poder obtener parámetros respiratorios y metabólicos reales del paciente; esto nos permite detectar enfermedades del corazón que con un simple electrocardiograma de reposo o prueba de esfuerzo cardiaco no aparecen o pueden pasar inadvertidos los resultados obtenidos permiten evaluar una posible enfermedad coronaria «silenciosa» en individuos aparentemente sanos.

En adición al párrafo anterior en su aplicación en medicina y en complemento a lo citado en los antecedentes, Ilarraza-Lomeli (2012) nos dice:

La prueba de ejercicio con análisis de gases espirados (PEAGE) es una herramienta útil tanto en el proceso diagnóstico como pronóstico de pacientes con enfermedades cardiovasculares, pulmonares, neuromusculares e incluso metabólicas. El análisis de la composición del gas espirado y las características de la dinámica ventilatoria, nos dejan ver la manera en que la energía es transformada incluso a nivel celular (crestas mitocondriales), a través de diferentes procesos metabólicos. Mediante la PEAGE, el médico podrá discernir entre las diversas causas de disnea con origen indeterminado. Por otro lado, esta prueba representa un importante apoyo para indicar la realización de un trasplante (cardiaco, pulmonar o ambos) en pacientes con cardiopatía o neumopatía graves. La utilidad de una prueba cardiopulmonar ha sido también comprobada en deportistas de alto rendimiento y en pacientes con cardiopatías congénitas. En el pasado, el acceso que tenían tanto el médico como el paciente a la realización de una PEAGE era restringido, debido principalmente a la complejidad y altos costos de los equipos. Sin embargo, hoy en día la tecnología se ha simplificado y los costos han disminuido, lo que ha hecho de la PEAGE una alternativa real en el trabajo cotidiano. (P. 160)

Dicho esto, se pasa a describir las características técnicas que competen a un sistema que integran un sistema de ergoespirometría:

2.1.2.1.1 Ergometría - Banda Caminadora

La ergometría es la medición del trabajo muscular a través de un aparato. (Real Academia Española, 2014). Por lo tanto, existen una variedad de dispositivos para realizar esta labor que por su diseño puede servir para trabajar un grupo de músculos localizado en una forma particular como se presenta en la tabla 2 a continuación:

Tabla 2.- Ergómetros según su uso.

Tipo de Ergómetro	Área de Trabajo
Cicloergómetro	Trabajo de piernas en un aparato similar a una bicicleta de forma estática.

Ergómetro de manos o bicicleta de manos	Trabajo de brazos en un aparato de funcionamiento igual al cicloergómetro, pero invertido.
Ergómetro banda de correo	Trabaja la gran mayoría de músculos, casi en su totalidad, es un tapiz rodante que permite simular la acción de correr en llano o inclinación ascendente de forma estática.
Ergómetro Remo	Trabaja también una gran cantidad de músculos en posición sentada, es un
Mesa Basculante	No trabaja un área muscular, su objetivo es generar stress por agitación a un paciente sobre una mesa con movimiento basculante.

Fuente: Elaboración Propia

Estos son ergómetros básicos, existen combinaciones de funcionalidades para lograr un ejercicio integral o localizado o adaptarse a condiciones especiales de las personas como alguna discapacidad o condición que no le permita el trabajo en algún ergómetro en particular.

El ergómetro por elección de Cardiosalud para la investigación es la banda caminadora por que demanda un trabajo integral en una posición convencional es decir se realiza una actividad natural y cotidiana de manera controlada.

A continuación, en la figura 2 observamos las partes que conforman una banda de correr:

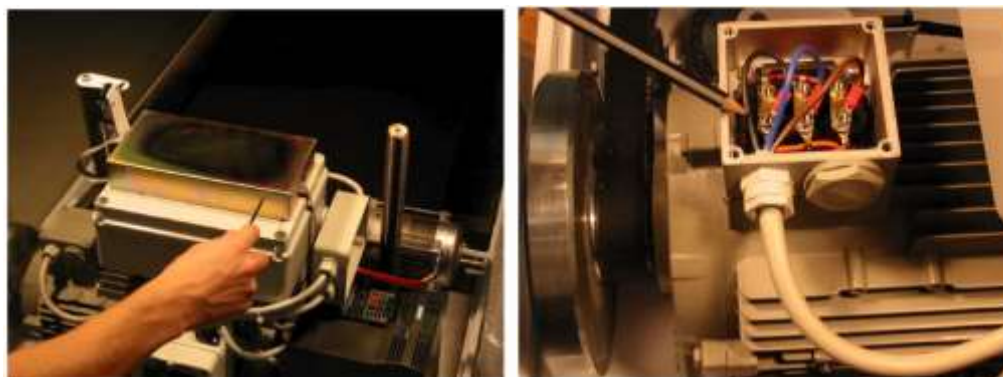


1. Banda frontal.
2. Coberturas laterales.
3. Cobertor de mecanismos, rodillo delantero, motor y variador de velocidad.
4. Banda sin fin.

5. Botón de parada de emergencia.
6. Cintas antideslizantes.
7. Rodillo trasero

*Figura 2, Vista principal de caminadora.
Fuente: Manual usuario Treadmill BTL.*

El movimiento se genera a través de un motor CA controlado por un variador de velocidad, el motor esta unido a un sistema de transmisión por una banda al rodillo delantero generando el movimiento, mostramos los elementos interiores en las siguientes figuras:



*Figura 3, Motor CA de la caminadora y banda de transmisión de movimiento.
Fuente: Manual Técnico BTL.*

El motor tiene las siguientes características técnicas:

Tabla 3, Especificaciones Técnicas de caminadora.

Descripción	Valores
Voltaje de operación	230 V~, 50 - 60 Hz monofásico
Potencia de consumo	1,5 KVA
Potencia Máxima	5,0 KVA
Corriente de Consumo	6,5 A
Corriente Máxima	22 A
Conexión	2 Polos + Tierra, 3x2,5 mm ² , longitud 3,5 m
Peso soportado en Banda sin fin	Hasta 200 Kg.

Fuente: Manual BTL Treadmill.

Con respecto a las especificaciones de la caminadora se puede deducir, dado que no se dispone de la información técnica de la caminadora por ser confidencial, a partir de información en general de caminadoras comerciales se estima que por cada 1.5 KVA, en promedio, la caminadora es capaz de generar una tracción de entre 70 a 80 Kg en la banda y la referencia de potencia en la caminadora BTL que es de 5 KVA confirma la especificación situándola en el rango con respecto al peso de tracción soportado que es de 200 Kg.

El variador controla la velocidad en pasos de 0.1 Km/h, lo que nos da un control fino sobre la velocidad, por motivos de garantía no es posible retirar las cubiertas de la parte frontal de la caminadora referencialmente se define las características del variador de velocidad en la siguiente tabla sobre un variador comercial típico para control de velocidad de motores de la marca SIEMENS hasta un rango de 4 HP para estar dentro del rango de valores de potencia necesarios:

Tabla 4, Especificaciones técnicas de variador de velocidad.



SINAMICS V20	
Catálogo	Catálogo de selección para distribuidores
Descripción abreviada	El variador económico, confiable y fácil de manejar para las aplicaciones básicas
Grado de protección	IP20
Tensión de red	1AC 200 a 240 V 3AC 380 a 480 V
Potencia	0,12 a 15 kW
Método de control y regulación	U/f (lineal, cuadrático, FCC, ECO)
Motores compatibles	Motores asíncronos
Comunicación	USS/Modbus RTU
Funciones de seguridad integradas	—
Integración TIA	—

Fuente: Siemens V20 and G120 Brochure.

La inclinación también es controlada por el variador por acción de un segundo motor colocado en ángulo que mueve un tornillo sin fin cambiando el ángulo de inclinación de 0% hasta un máximo de 25% con respecto a un ángulo de 90°, los cambios de ángulo se dan en pasos de 1%, en la figura 4 apreciamos el motor y como está dispuesto para su funcionamiento:



Figura 4, Disposición referencial del motor de inclinación.

Fuente: manual de usuario de actuadores Mecvel.

La posición del actuador de elevación es al centro normalmente dispuesto entre el motor conectado a la banda sin fin y el variador para facilitar la disipación de calor.

Tabla 5, Especificaciones técnicas de actuador Mecvel referenciado.

Descripción	Valores
Voltaje de operación	12/24 Vdc.
Corriente	Max 1.0 Amperios
Empuje máximo	6000 N / 407.89 Kgf
Velocidad	33 mm/s max.
Protección	IP65
Ciclo de trabajo	S3 30% (en 5 minutos)
Longitud de tornillo	50 cm. Max.

Fuente: manual de usuario de actuador Mecvel.

En resumen, la caminadora como aparato de ergometría nos ofrece una actividad de ejercicio conocida y de intensidad regulable que activa una importante cantidad de masa muscular con la desventaja de no poder ser utilizada en pacientes que tengan restringida su movilidad sea por alguna condición o discapacidad, pero fuera de esto es el más ampliamente utilizado y aceptado por centros especializados.

La conexión del ergómetro al computador es a través de un puerto serial RS-232 en la parte posterior, la conexión es necesaria para enviar los parámetros de velocidad e inclinación de los protocolos de ejercicio asignado, como se muestra en la figura a continuación:



Figura 5, Puerto RS-232 en caminadora BTL.

Fuente: Manual técnico Treadmill BTL

2.1.2.1.2 Electrocardiógrafo

Un electrocardiógrafo es un instrumento de medición que adquiere, procesa y registra la actividad eléctrica del corazón en la forma de un electrocardiograma (Llahí & Pardell, 2021). Este último es la representación gráfica verificable de esta actividad y es utilizado en medicina para la verificación de signos vitales y el diagnóstico de enfermedades cardiacas, en la figura 6 observamos el resultado de una prueba electrocardiográfica o ECG:

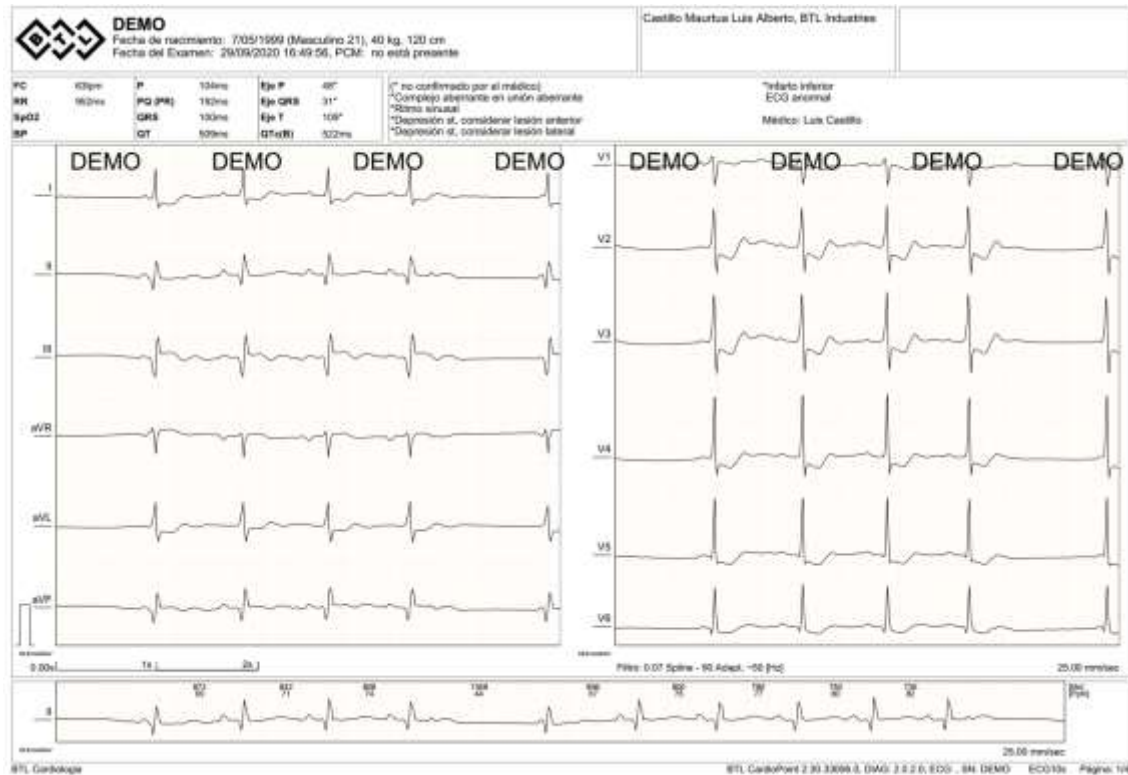


Figura 6, Examen ECG de 12 canales.
Fuente: Generado digitalmente en software Cardiopoint de BTL en modo demostración.

Entre las características más importantes de un electrocardiograma a tomar en cuenta es el número de derivaciones que es capaz de adquirir, aunque en la actualidad es una característica standard, normalmente es de 12 derivaciones que se obtienen por la conexión de 10 electrodos siguiendo una disposición de 4 electrodos para obtener 3 derivaciones bipolares (D1, D2 y D3) y 3 monopolares (aVr, aVf y aVI) colocados en las extremidades (normalmente en muñecas y tobillos con electrodos tipo pinza) y 6 electrodos unipolares conectados al torso (Plaza Moreno, 2020). Esta disposición se muestra en la figura 7 y 8 a continuación:

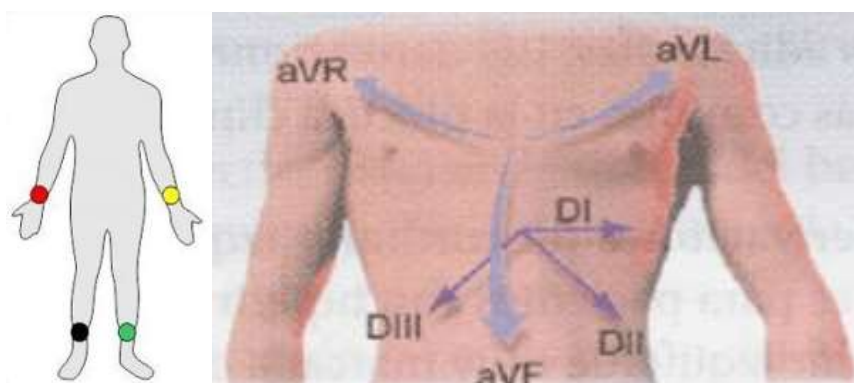


Figura 7, electrodos y derivaciones de los miembros superiores e inferiores.
Fuente: tomado de web emergencias y Urgencias (Plaza Moreno, 2020)

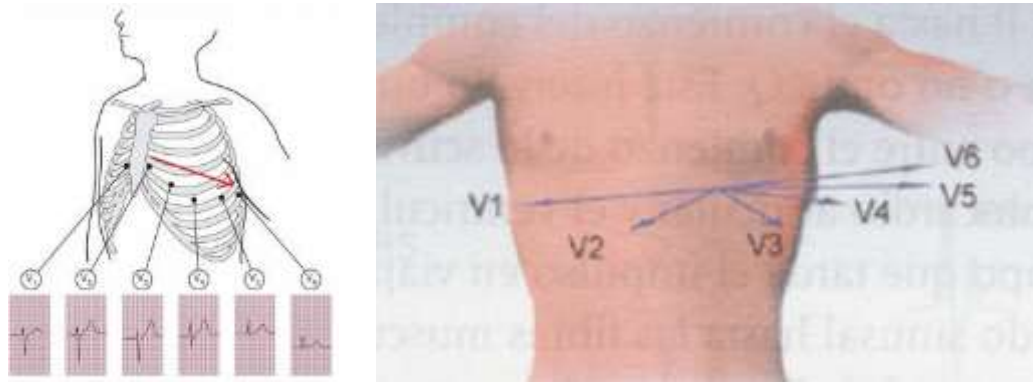


Figura 8, Electrodo y derivaciones precordiales o torácicas.
Fuente: tomado de web emergencias y Urgencias (Plaza Moreno, 2020)

En el contexto de prueba de esfuerzo (sea en cualquier variación de estas) la disposición de electrodos se hace siguiendo el formato descrito por Mason-Likar, que es el recomendado para pruebas de esfuerzo (Plaza Moreno, 2020). A continuación, en la figura 9 se muestra esta disposición:

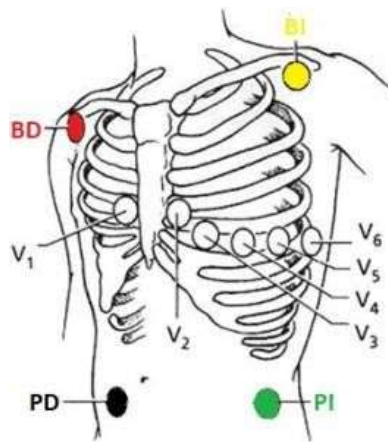


Figura 9, Disposición Mason-Likar para toma de ECG en ejercicio.
Fuente: tomado de web emergencias y Urgencias (Plaza Moreno, 2020)

Se observa que la diferencia radica básicamente en el traslado de los electrodos siguiendo los cambios: “rojo y amarillo a dos centímetros por debajo de las clavículas, en la fosa infraclavicular, verde en la línea anterior axilar, entre la última costilla y la cresta ilíaca y negro: encima de la cresta ilíaca” (Plaza Moreno, 2020). Esta modificación hace un cambio, aunque pequeño en el resultado del electrocardiograma como se muestra en la figura 9, nos ayuda a evitar los artefactos por temblores (como por ejemplo pacientes con Parkinson) y las dificultades de movimiento que resultarían de realizar la acción de caminar o correr con cables sujetos a piernas y manos.

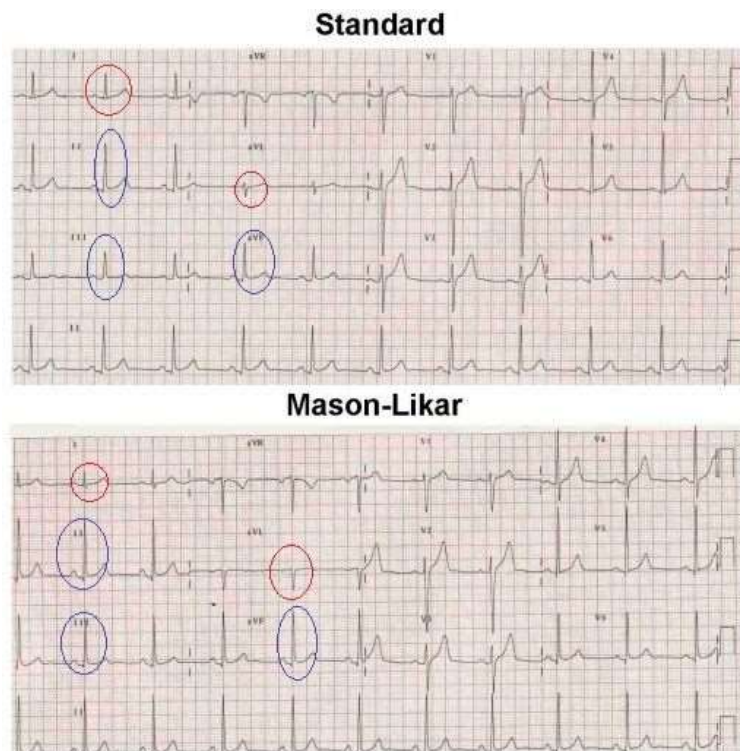


Figura 10, La colocación normal en muñecas y tobillos. Abajo, colocación Mason-Likar.
Fuente: tomado de (Sociedad Interamericana de Cardiología, 2015)

Cabe resaltar que, en prueba de esfuerzo con esta disposición de electrodos, se utilizan electrodos desechables autoadhesivos, se ven en figura 11, esto por higiene y asegurar la conexión puesto que el movimiento puede desconectar los electrodos convencionales.



Figura 11, Electrodo desechable.
Fuente: tomado de <https://www.ambu.es/cardiologia/electrodos-ecg/producto/ambu-bluesensor-sp>.

Las especificaciones técnicas del producto recomendado en la figura anterior son:

Tabla 6, Especificación técnica de electrodo desechable

Dimensiones	
Tamaño del electrodo (en mm)	42,5 x 38
Área de contacto (en mm)	38
Área adhesiva (en mm ²)	980
Perfil, excluyendo el conector (en mm)	1,6
Sensor	

Composición	Plata/cloruro de plata (Ag/AgCl)
Gel	Gel líquido
Área del sensor (en mm ²)	10
Área del gel/Área de medición (en mm ²)	154
Especificaciones eléctricas (ANSI/AAMI)	
Impedancia CA – típica	700 Ω
Voltaje offset CD – típico	0,4 mV
Recuperación a carga de desfibrilación – típico	11,1 mV
Variación del potencial de polarización	0,2 mV/s
Inestabilidad de offset y ruido interno	<15 μ V
Tolerancia a corriente interna (más de 8 horas)	<5 mV

Fuente: Brochure Ambu Bluesensor (www.ambu.es).

En el contexto del proyecto es necesario que el electrocardiógrafo sea de tecnología Wifi que permita la conexión inalámbrica del electrocardiógrafo al computador y así evitar lo describimos a continuación:

- a) **Inseguridad y ansiedad.** - el paciente al tener conectados múltiples dispositivos con cables genera cierta ansiedad e inseguridad que puede mermar su rendimiento afectando finalmente el resultado global de la prueba.
- b) **Artefactos y ruido.** - la aparición de artefactos por movimiento y ruido de línea (por filtración de la frecuencia de la línea CA, $f=60$ Hz) y térmico se ven disminuidas, y en el caso de ruido de línea lo hace inmune, esto se logra gracias a la conexión Wifi-dedicada que debe tener el equipo.

En resumen, el electrocardiógrafo es un instrumento para adquirir las señales eléctricas del corazón, este debe tener la característica de conectarse de forma inalámbrica para evitar la aparición de artefactos y ruido en las señales, también da un valor agregado que, al tener menos conexiones visibles, los pacientes sienten más confianza al momento de realizar el ejercicio.

2.1.2.1.3 Analizador de Gases

El analizador de gases es un instrumento que mide la mezcla de gas exhalada por el paciente para luego ser muestreada y analizada con el fin de determinar el nivel de consumo de O₂ y el de producción de CO₂, además, por su naturaleza cumple la función de un medidor del flujo ventilatorio en tiempo real durante la actividad física además de realizar exámenes de espirometría en reposo (Piston Medical, 2017).

2.1.2.1.3.1 Circuito de paciente

Tomando en cuenta que las muestras de gases deben ser tomadas en una línea cada cierto tiempo es necesario montar un circuito de muestreo o de paciente que consiste en un mascarilla facial conectada a un sensor de flujo que a su vez está conectado al instrumento a través de mangueras de muestreo y un tubo o manguera capilar de

intercambio de humedad hecho de nafion para la toma de muestras, en el instrumento debe tener una bomba de muestreo que toma muestras duran la inhalación y exhalación para el análisis a través del sensor de oxígeno y el sensor de dióxido de carbono.

A continuación, en las siguientes figuras se muestran los elementos de conexión al paciente:



*Figura 12, Mascarilla facial y sensor de flujo de tubo de pitot.
Fuente: Manual usuario BTL CPET.*

Estos elementos se interconectan formando el circuito de paciente, el sensor de flujo de tubo de Pitot es uno de los más precisos para medir la velocidad de un fluido y por ende calcular los volúmenes y presión de este.

2.1.2.1.3.2 Sensor de flujo

El sensor de flujo de marca registrada Pinkflow de Pistón Medical, es un tubo de Pitot de principio simétrico de promediado del flujo, diseñado para tener un impacto reducido contra la condensación de vapor de agua, de alta precisión para la medición de flujo neumático y su construcción tubular para facilitar la conexión al circuito de paciente además el anclaje con sellos herméticos que evitan fugas y garantiza una conexión segura a pesar del movimiento del paciente.



*Tabla 7, Sensor de flujo Pinkflow
Fuente: Manual de usuario CPET (Piston Medical, 2017)*

Este sensor esta basado en un tubo de Pitot que mide la velocidad de un gas o líquido a través de un tubo que toma una muestra referencial o estática contra la muestra de impacto (diferencial de presión) medido por un manómetro, una vez obtenida la velocidad promedio del gas, es multiplicada por el área transversal del tubo para obtener el caudal como se indica en la siguiente figura:

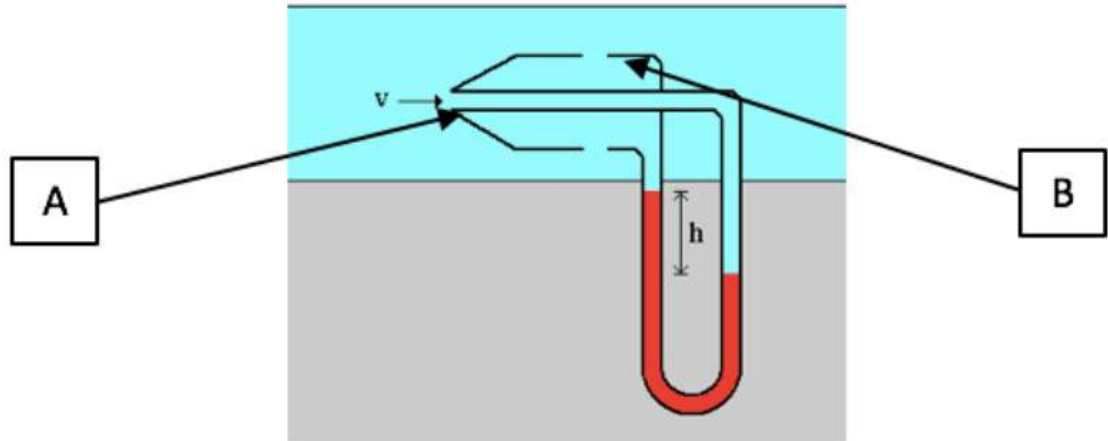


Figura 13, Mecánica del Tubo de Pitot, presión de impacto en A y estática en B.

Fuente: tomado <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/caudal-de-aire-principales-metodos-medicion/>

Esto se calcula:

$$V = \sqrt{\frac{2hg\delta h}{\delta a}}$$

Siendo:

h la diferencia de niveles en el agua.

g la aceleración de la gravedad.

δh la densidad del agua.

δa la densidad del aire.

La figura muestra el modelo mecánico de un tubo de Pitot, en el caso del sistema del analizador de gases, la sección correspondiente a la medición diferencial de presión es con sensores digitales o micro manómetro que nos entrega la presión dinámica final P por lo que la ecuación final es como se muestra a continuación:

$$V = \sqrt{\frac{2P}{\delta a}}$$



Figura 14, Ecuación de velocidad en tubo de Pitot digital y Sensor de presión diferencial DIP.
Fuente: tomado de <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MP3V5010.pdf>

Se deduce que el sensor tipo DIP nos entrega directamente un valor de presión que para este caso es P, este es utilizado por el software junto a las constantes del sensor de flujo, área transversal del tubo de flujo y de densidad del aire para calcular directamente el caudal y volúmenes obtenidos respiración a respiración del paciente.

2.1.2.1.3.3 Toma de muestras

El tubo de nafion es muy importante para el muestreo de gases ya que filtra la humedad de la muestra hasta un 90% antes que este pase a ser analizado en el sensor de oxígeno y el de dióxido de carbono para evitar daños a los sensores y que las muestras puedan ser medidas con precisión.



Figura 15, Manguera de nafion, permapurpure.
Fuente: tomado de <https://www.permapurpure.com/medical/solutions/about-nafion-tubing/>

2.1.2.1.3.4 Sensores

Sensor O₂: El sensor de oxígeno puede ser de tipo paramagnético que aprovecha la propiedad del oxígeno de ser atraído por campos magnéticos muy fuertes, también se puede usar la celda electroquímica ideada para reemplazar las celdas de tipo paramagnético y que dan respuestas de lecturas ultra rápidas de hasta de 100 ms, una duración de aproximadamente 2 años. (Teledyne Analytical instruments, 2008). Esta última opción es la más recomendable ya que cuenta con la aprobación y documentación ISO y CE para uso como dispositivo médico, se muestra la celda en la siguiente figura:



Figura 16, Celda sensor de oxígeno UFO-130-2.

Fuente: tomado de <https://www.directindustry.es/prod/teledyne-analytical-instruments/product-16388-1276857.html>

Como se hace referencia a la imagen, el sensor de O₂ implementado en el analizador de gases es el UFO 130-2 (ultra fast oxygen sensor por sus siglas en inglés) fabricado por Teledyne dado que cumple con las normas ISO 7767 (1997), ASTM F1462-93 y Directivas CE para su uso en dispositivos médicos, además su implementación sencilla y reducida facilita su uso en incluso equipo ya desarrollados.

Tabla 8, Especificaciones técnicas para UFO 130-2

descripción	Valores
Salida de Voltaje	0 a 4 VDC de 0 a 100% (0.04 VDC para 1%)
Resolución	0.10%
Tiempo de respuesta	10 %- 90% - ≥ 70 y < 130 ms.
Humedad relativa de operación	0 - 99% sin condensación
Voltaje de alimentación	+12 , -12 VDC
Temperatura de operación	15 a 40 °C
Consumo de energía	200 mW
Expectativa de uso	2 años

Fuente: Manual de usuario Teledyne para UFO 130.

El principio de funcionamiento del sensor UFO-130-2 se basa en la tecnología clásica de detección de oxígeno por micro celdas de combustible durante el proceso de detección, las moléculas de oxígeno en el gas de prueba en este caso aire, se difunde a través de la membrana censora y se reduce en el electrodo sensor creando una señal de corriente, la señal de corriente es proporcional a la presión parcial de oxígeno en el gas de prueba o muestra, esto logra una rápida respuesta mediante la combinación de un diseño único de sistema de muestreo neumático, el sensor de membrana de alta velocidad y la electrónica de procesamiento de señales de última generación.

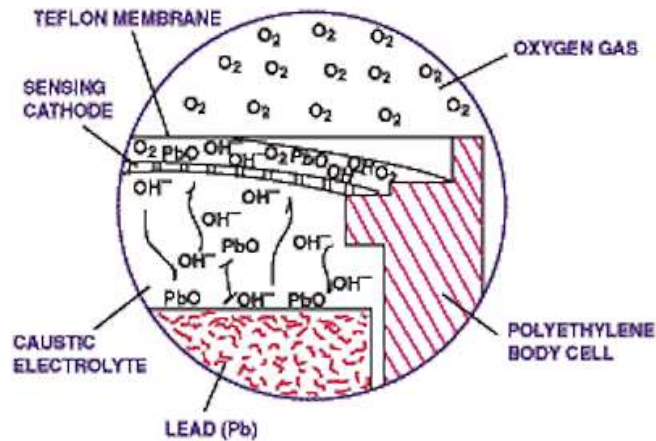


Figura 17, Funcionamiento de celda electroquímica de oxígeno.

Tomado de: <https://www.fierceelectronics.com/components/measuring-oxygen-purity-a-micro-fuel-cell-sensor>

Sensor CO₂: El sensor de dióxido de carbono más usado en aplicaciones médicas es de tipo NDIR por sus siglas en inglés: non dispersive infrared, que significa Infrarrojo no dispersivo, es un sensor electroóptico que aprovecha la absorción de una determinada longitud de onda en la banda infrarroja del dióxido de carbono para a través de un filtro y sensores ópticos determinar la cantidad de gas presente en la muestra que ha sido bombeada hacia la cámara del sensor, estos sensores son rápidos y resisten muy bien la humedad, detectan desde 100 ppm la presencia del CO₂ lo que los hace muy atractivos para su uso en equipos médicos relacionados con el análisis y muestreo de gases respiratorios (Wuhan Cubics Electronic, 2014).

En la siguiente figura se muestra como referencia un sensor tipo NDIR con cámara:



Figura 18, Sensor CO₂ tipo NDIR.

Fuente: tomado de <https://pdf.directindustry.es/pdf-en/cubic-sensor-and-instrument-co-ltd/infrared-co2-sensor-srh-series-user-manual/54752-634077.html#open2002624>

En la figura se muestra de manera referencial un sensor de CO₂ tipo NDIR Led al 10% que cumple con las siguientes características:

Tabla 9, Especificaciones técnicas para sensor CO₂ NDIR.

Descripción	Valores
Tipo Sensor	NDIR
Rango de Medición Co ₂	0 - 10% (0 – 100000 ppm)
Precisión	./- 100 ppm o ./- 5% de la lectura

resolución	10 ppm
Alimentación	3.3 - 5 VDC (3.3 ideal) / 50 mA
Tiempo de respuesta	20 lecturas / Segundo.
Comunicación	UART
Expectativa de operación	15 años
Condiciones de operación	0 - 50 °C , hasta 95% HR sin condensación
Respuesta	T90 - <130 ms

Fuente: Manual de Usuario SPRINT-IR NDIR 20% 6S.

2.1.2.1.4 Software

El software propio de una prueba de esfuerzo cardiopulmonar tiene como estándar contar con características de manejo de base datos para la administración de los datos demográficos de los pacientes.

Por otro lado se manejan los protocolos de ejercicio con la flexibilidad de poder adaptarlos a las necesidades y criterios de los especialistas médicos, permitiendo tomar exámenes en reposo como electrocardiogramas y espirométricas que servirán de referencia en contraposición con los resultados de la prueba en ejercicio, a continuación se muestra como ejemplo una tabla con los protocolos de Bruce para ejercicio en banda caminadora, destacamos que este protocolo es también uno de los más utilizados por su buena respuesta en la mayoría de pacientes:

Tabla 10, Protocolo de Bruce

Protocolo de Bruce			
Etapas	Tiempo (min)	Velocidad (Km/h)	Elevación (°)
Calentamiento	3	0.8	0%
Prueba:			
Etapa 1	3	2.7	10%
Etapa 2	3	4	12%
Etapa 3	3	5.4	14%
Etapa 4	3	6.1	16%
Etapa 5	3	8.0	18%
Etapa 6	3	8.8	20%
Etapa 7	3	9.6	22%
Recuperación	3	0.8	0%

Fuente: Manual Cardiopoint Ergo (BTL Industries Limited, 2019).

Los protocolos siguen una secuencia de etapas ascendentes de trabajo físico, estas pueden ser modificadas e incluso se pueden agregar protocolos a criterio del especialista sin ninguna restricción salvo esté relacionada con las capacidades limitantes del ergómetro y los componentes que conforman la prueba de esfuerzo cardiopulmonar.

Software de Ergometría, este software analiza el ritmo cardiaco durante cada etapa, analizar e indicar la aparición de arritmias y dejarlas marcadas para su posterior revisión, esto es con respecto al electrocardiograma:

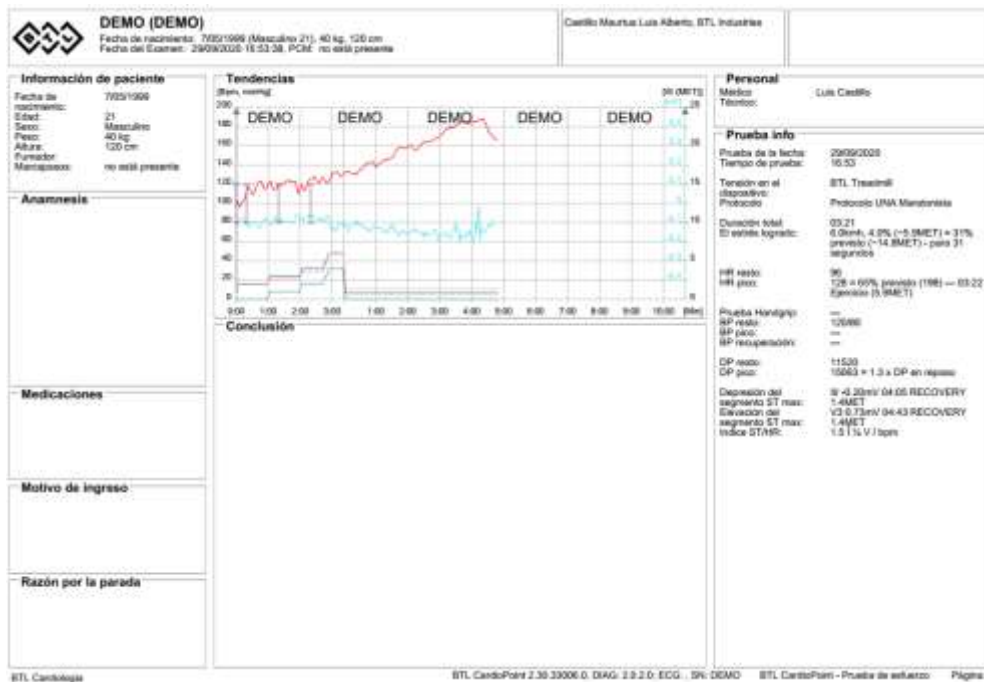


Figura 19, Resumen de reporte de prueba de esfuerzo
 Fuente: Reporte digital generado por software Cardiopoint en demostración.

Este reporte muestra una gráfica de la evolución de la prueba y los parámetros medidos además análisis y promedios de resultados expresados en valores numéricos, las conclusiones del especialista y los datos del paciente. Además, nos entrega la totalidad de la tira ECG generada durante la prueba que se muestra a continuación:

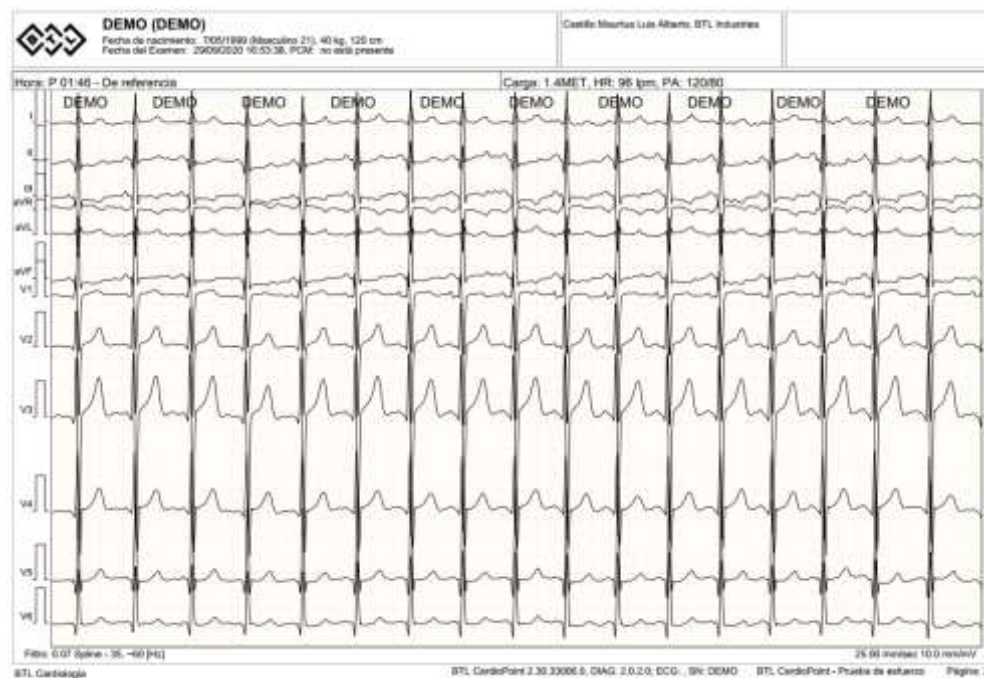


Figura 20, Tira ECG de prueba de esfuerzo.

Fuente: Reporte digital generado por software Cardiopoint en demostración.

Software de Análisis de Intercambio Gaseoso, de manera análoga el software que se encarga de la parte ventilatoria está muestreando, analizando y procesando la información obtenida raves de sus transductores, mostrando los parámetros ventilatorios bajo la distribución de Karlman Wasserman (como se citó en Piston Medical, 2017) como se muestra a continuación:

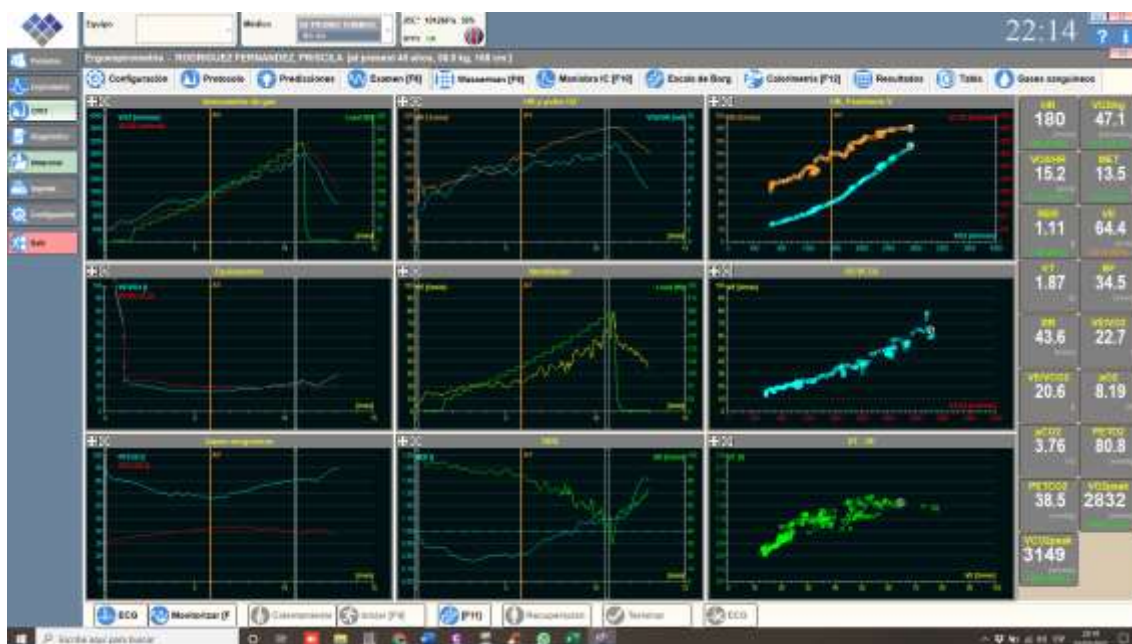


Figura 21, Software PistonXP, para análisis de intercambio gaseoso.

Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla,

Se describe a continuación cada parámetro:

Tabla 11, Descripción de parámetro medidos en software de intercambio gaseoso.

PARAMETRO	DESCRIPCION
V	Volumen
Volumen de aspiración actual	
VT	Volumen Corriente o Tidal
Volumen Tidal durante la respiración en reposo	
VE	Ventilación por Minuto
Volumen total de respiración durante un minuto	
Load	Carga
Carga calculada de la caminadora basada en el consume de oxígeno	
RPM	Revoluciones del Pedal
Revoluciones reales del pedal del ergómetro de la bicicleta	
BPsys, BPdia	Presión sanguínea
HR	Ritmo cardiaco
Ritmo cardiaco real	
HRR	Pulso residual

Diferencia del ritmo cardiaco máximo predicho basado en la edad y el ritmo cardiaco real.	
HR%	Porcentaje del ritmo cardiaco
Porcentaje del ritmo cardiaco actual al máximo ritmo cardiaco predicho basado en la edad.	
SV	Volumen Sistólico
Volumen sistólico (valor calculado)	
CO	Salida cardiaca
Volumen momentáneo promedio de sangre transportada por el corazón durante un (1) minuto. Multiplicación de los parámetros SV y HR.	
SpO2	Saturación
Saturación de oxígeno de la sangre	
pO2	Concentración momentánea de O2
Concentración momentánea de oxígeno	
pCO2	Concentración momentánea de CO2
Concentración momentánea de dióxido de carbono	
VO2	Consumo momentáneo de O2
Consumo momentáneo de oxígeno, ml/m	
VCO2	Producción momentánea de CO2
Producción momentánea de dióxido de carbono, ml/m	
PETO2	Concentración de O2 al final de la expiración
Concentración de oxígeno al final de la expiración	
PETCO2	Concentración de CO2 al final de la expiración
Concentración de dióxido de carbono al final de la expiración	
VE/VO2	Ventilación por minuto / Consumo de O2
Ratio de ventila con por minuto y el consumo momentáneo de oxigeno	
VE/VCO2	Ventilación por minuto / Producción de CO2
Ratio de ventilación por minuto y la producción momentánea de dióxido de carbono	
VO2max	Consumo máximo de O2
Consumo máximo de oxigeno durante la prueba	
VCO2max	Producción máxima de CO2
Producción máxima de dióxido de carbono durante la prueba	
VO2/HR	Oxígeno/pulso
Oxigeno entregado por un latido del corazón	
BPsysxHR	Doble producto
Producto de la presión sanguínea sistólica y el ritmo cardiaco	
BR	Ritmo respiratorio
Ritmo respiratorio, respiración / minuto	
RER	Relación de Intercambio Respiratorio
Ratio de la producción de CO2 y el consumo de O2 durante el ejercicio	
RQ	Cociente Respiratorio

Ratio de la producción de CO ₂ y el consumo de O ₂ durante el reposo	
VO₂/kg	Ratio de consumo momentáneo de O₂ y peso corporal
Consumo momentáneo de O ₂ / peso corporal, ml/m/kg	
VCO₂/kg	Ratio de producción momentánea de CO₂ y peso corporal
Producción momentánea de CO ₂ / peso corporal, ml/m/kg	
Work	Trabajo realizado
Trabajo total realizado durante todo el ejercicio, kCal	
MET	Equivalente Metabólico
Energía requerida de la actividad física. La unidad base es la energía requerida en reposo de la persona examinada. Es un valor calculado basado en el VO ₂ .	
METc	Equivalente Metabólico Calculado
Energía requerida de la actividad física. Unidad base es la energía requerida en reposo de la persona examinada. Es un valor calculado a partir del peso corporal y la carga.	

Fuente: Manual CPET (Piston Medical, 2017)

Para facilitar la lectura de los resultados trabajar los resultados de los softwares y visualizar mejor los datos debemos disponer de un monitor para el análisis de electrocardiografía y otro monitor para el análisis de intercambio de gases.

Adicionalmente ambos softwares ofrecen la posibilidad de realizar análisis previo que ayudan a mejorar el diagnóstico y tener una referencia del paciente previo a someterlo a la prueba de esfuerzo cardiopulmonar y se describe a continuación:

Examen de Muerte Súbita SDS, el software tiene la capacidad de realizar un análisis de los segmentos bajo el criterio de Seattle para la detección de la posibilidad de riesgo de sufrir miocardiopatía con una conformidad a los criterios refinados de 2017 del 100% y una sensibilidad para detección automática del 98%, estos exámenes tienen un valor elevado en el caso de niños a partir de los 14 años y es efectivo hasta adultos de 34 años siendo el grupo de personas que se dedican al deporte amateur o profesional las que tienen el mayor interés en los resultados.

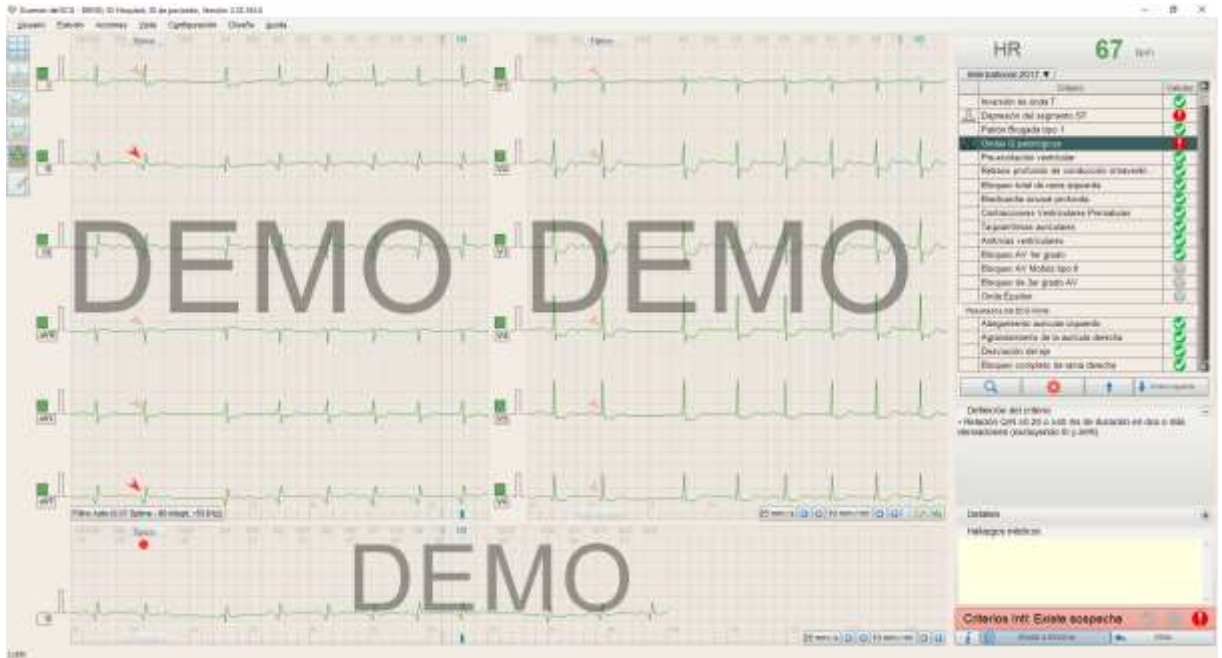


Figura 22, Modulo de detección de muerte súbita bajo el Criterio se Seattle Internacional 2017 de BTL Cardiopoint.
 Fuente: Captura de pantalla de software Cardiopoint en modalidad demostrativa.

Examen de espirometría, el examen en reposo de espirometría permite obtener parámetros ventilatorios en reposo previo como el volumen y capacidad pulmonar para indicar alguna contraindicación ventilatoria, también sirven para brindar al examen de ergoespirometría de valores iniciales de predicción acondicionados al paciente, lo que hace que los resultados sean personalizados y adecuados a la fisiología del paciente.

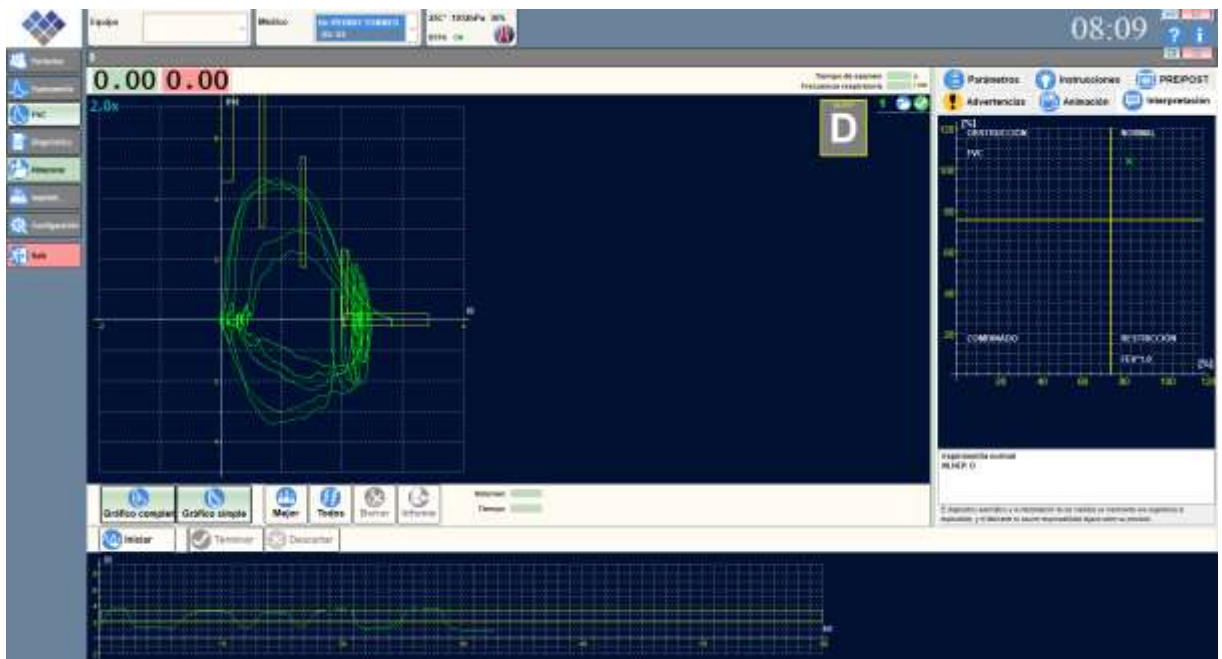


Figura 23, Examen de espirometría en reposo de software de análisis de gases Pistón XP de BTL.
 Fuente: Captura de pantalla de software Pistón XP de BTL en demostración de espirometría.

2.2 Marco Conceptual

Según Tafur, el marco conceptual es el conjunto de conceptos que expone un investigador cuando desarrolla el sustento teórico del problema y el tema de investigación. La expresión marco conceptual, tiene connotación una metafórica, tomada del empirismo humano porque, así como las pinturas se inscriben en un marco, así también el problema y el tema de investigación se inscriben y están incluidos en el contexto de un conjunto de conceptos que induce a enfocarlos y apreciarlos. (Tafur, 2008)

En ese sentido, se puede decir que es un intento de caracterizar a los elementos que intervienen en la investigación. Esto se hace a través de la revisión de publicaciones de autores y teorías relacionadas donde se busca poder encontrar definiciones, conceptos y líneas para colocar en un marco de conceptos a la investigación e interpretar los resultados y las conclusiones que se obtengan.

2.2.1 Prueba de ergoespirometría

Una prueba de ergoespirometría es una prueba de esfuerzo cardiaco con la adición de equipamiento que nos permita medir el esfuerzo y parámetros ventilatorios

En su trabajo, Silvia Cid-Juarez et al. titulado “Prueba Cardiopulmonar de Ejercicio. Recomendaciones y Procedimiento” nos dice que la prueba de ergoespirometría (PCPE, prueba cardiopulmonar en ejercicio tal como se hace referencia en el estudio), es la mejor herramienta disponible para evaluar la capacidad de ejercicio tanto en condiciones de salud como de enfermedad. El consumo máximo de oxígeno es un sólido predictor de mortalidad de cualquier causa, especialmente, en pacientes con enfermedades cardiovasculares o respiratorias. La estandarización de la PCPE permite obtener mediciones fisiológicas confiables que permitan analizar el pronóstico y la respuesta a los tratamientos instituidos. (Cid-Juárez Silvia, 2015)

En este sentido aun no es una práctica estándar y generalizada en el Perú, pero el estudio hace alusión a la importancia como predictor de enfermedades y como herramienta de evaluación.

2.2.2 Sistema de ergoespirometría como herramienta de diagnóstico de mejor utilidad

Un sistema de ergoespirometría nos da como se ha visto en el segundo punto del fundamento teórico (numeral 2.1.2), nos abre una ventana más amplia en el análisis y diagnóstico de pacientes con enfermedades coronarias y/o pulmonares.

Según Lara, Jorge et al. (2015), en su estudio Utilidad pronóstica de la prueba de esfuerzo en la estratificación de riesgo de pacientes con insuficiencia cardiaca, nos dice que las pruebas de ergoespirometría (cardiopulmonares) estratificaron un 9% más de los pacientes con insuficiencia cardiaca en pacientes de alto riesgo que con la prueba de esfuerzo cardiaca. Estos valores son una buena aproximación predictiva que muestran la fisiología incremental durante el ejercicio y su recuperación. (Lara Vargas, 2015)

Dicho esto, y basado en este estudio podemos decir que hay una mejora importante en la detección de enfermedades cardiacas en pacientes de alto riesgo con el uso de sistemas de ergoespirometría.

2.3 Marco Metodológico

La naturaleza de la investigación es de tipo tecnología como se menciona en el punto 1.4.3 en relaciona lo dicho en el libro “Metodología de investigación para cursos de posgrado en ingeniería” (Colomé, 2018). Asimismo, el enfoque de la investigación es cuantitativa y de tipo descriptiva, desde el punto de vista de Hernández, Fernández y Baptista en el libro “Metodología de la Investigación”, “señalan los siguientes aspectos respecto a la recolección de los datos desde el enfoque cuantitativo de investigación:

- La recolección se basa en instrumentos estandarizados.
- Es uniforme para todos los casos.
- Los datos se obtienen por observación, medición y documentación de mediciones.
- Se utilizan instrumentos que han demostrado ser válidos y confiables en estudios previos o se generan nuevos basados en la revisión de la literatura y se prueban y ajustan.
- Las preguntas o ítems utilizados son específicos con posibilidades de respuesta predeterminadas.” (Hernández, 2010, pág. 11)

Siendo la naturaleza cuantitativa del presente, para la obtención de datos, comparación con resultados de proyectos similares y diferentes especificaciones técnicas de los distintos fabricantes que nos ayuden a resolver la problemática ya descrita en los primeros puntos del proyecto.

La etapa de gestión se desarrolla utilizando la metodología PMBOK específicamente los procesos de gestión del proyecto, Planificación de la gestión del alcance, definición del alcance, desarrollo de EDT, planificación de gestión del cronograma, gestión de interesados y gestión de riesgos.

En este sentido el desarrollo en cuanto a la gestión tal como lo establece la Guía PMBOK del Project Management Institute (como se citó en Bojacá Alba & Tengonó Céspedes, 2018), a través del tiempo, la humanidad se ha enfocado en la ejecución de proyectos realizados por líderes y directores aplicando “prácticas y principios, procesos herramientas y técnicas de dirección”. Por consiguiente, bajo estos preceptos se busca gestionar de manera responsable, imparcial y honesta el desarrollo a cabalidad de un proyecto.

Para el desarrollo de la gestión del proyecto se han tomado en cuenta 8 de las 10 área de conocimiento de la guía PMBOK 6, para la gestión de Alcance, Costos, Cronograma, Calidad, Comunicaciones, Riesgos, Adquisiciones y de los Interesados del proyecto.

Para la ejecución e implementación se siguió la metodología cascada que es la que mejor se adapta a la naturaleza de la ejecución e instalación de aparatos que tienen ya una secuencia definida según el fabricante y sigue como se muestra en la figura a continuación, el siguiente modelo:

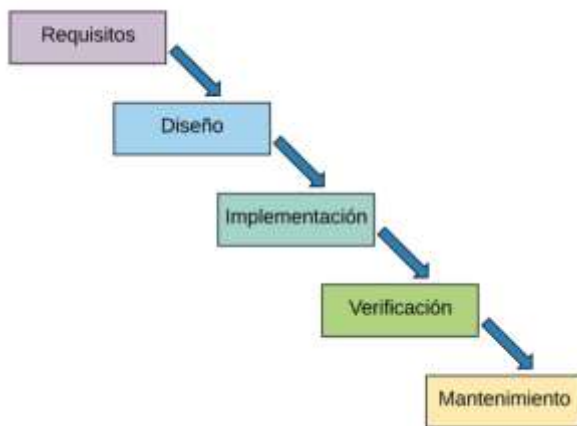


Figura 24, Etapas del modelo en cascada

Fuente: tomado de <https://openclassrooms.com/en/courses/4309151-gestiona-tu-proyecto-de-desarrollo/4538221-en-que-consiste-el-modelo-en-cascada>.

Recapitulando la investigación es de tipo tecnológica porque tiene como fin solucionar un problema en la forma final de un aparato tecnológico utilizando técnicas descriptivas y cuantitativas, para describir, determinar y medir las variables además de determinar la perspectiva bajo la cual se realiza el estudio (Colomé, 2018). Por consiguiente, el presente estudio busca finalmente implementar un sistema aplicado de ahí también que a este tipo de investigación se le denomina como aplicada.

Como dice Pita Fernández y S., Pértegas Díaz, S., una investigación cuantitativa está orientada a resultados de manera deductiva. (Pita Fernández, 2002). Edelmira G. La Rosa explica qué tiene que ocurrir para que exista la Metodología Cuantitativa y lo define así: “para que exista Metodología Cuantitativa debe haber claridad entre los elementos de investigación desde donde se inicia hasta donde termina, el abordaje de los datos es estático”. (Rosa, 1996).

Correspondiendo lo antes dicho por los autores el método utilizado es cuantitativo orientada a resultados, puesto que el proyecto no busca desarrollar tecnologías nuevas sino en responder a los problemas planteados con el estudio de las tecnologías disponibles y, que puedan dar resolución a los problemas planteados, y la correcta implementación de estas últimas en la forma final de un producto tecnológico.

Capítulo 3

3 Desarrollo de la solución

3.1 Caso de Negocio

Primero se debe definir el término negocio que debe su etimología al latín negotium, es decir una negación del ocio: la ocupación que realizan las personas con fines lucrativos. Este carácter etimológico es bastante particular porque define a la palabra de un modo distinto al mayor uso que le damos en la actualidad, es decir, consideramos popularmente negocio aquellas personas que ofrecen de manera expresa bienes y servicios (Raffino, 2020) pero siendo lo más correcto en la definición como lo define la RAE, negocio es cualquier actividad laboral que realice una persona (Real Academia Española, 2014). Dicho esto, se puede decir que negocio es cualquier actividad remunerada que realice una persona.

En este punto se describe el caso de negocio del interesado principal, su actividad motivación y organización para entender mejor los objetivos del proyecto:

Proyecto: Implementación de Sistema de ergoespirometría para mejorar el diagnóstico de pacientes de alto riesgo para Cardiosalud.

Cliente: Centro de Salud Cardiosalud.

Contratista: BTL Perú S.A.C.

Project Manager: Luis Alberto Castillo Maurtua.

3.1.1 Misión

Ofrecer un servicio especializado en Cardiología, de alta calidad centrado en la atención a los pacientes ofreciéndole los mejores profesionales especializados y tecnología avanzada para el diagnóstico, intervención y rehabilitación de enfermedades coronarias.

3.1.2 Visión

Cardiosalud aspira a ser referente no solo para los pacientes de la ciudad de Arequipa, sino convertirse en un referente de la especialidad en todo el Perú.

3.1.3 Valores

Responsabilidad frente al paciente mediante una práctica profesional honesta y de calidad, que responda a las exigencias y compromiso que debemos tener los profesionales de la salud en la práctica de la medicina para con nuestros pacientes que son la razón y motivación principal de esta profesión.

3.1.4 Objetivos Estratégicos

- Ser el principal centro especializado en atención especializada en Arequipa.
- Contar con tecnología de diagnóstico de avanzada superior a las disponibles en el mercado local.
- Contar con personal especializado de alto nivel.
- Brindar capacitación constante y de calidad a sus especialistas.
- Ser un referente de la especialidad a nivel nacional a través de colaboraciones con hospitales y clínicas especializadas a nivel nacional.

3.1.5 Organigrama

La organización de Cardiosalud es mayormente horizontal entre sus principales miembros y constantemente tiene temporalmente la adición de especialistas a su equipo de trabajo según lo demande el estudio de pacientes, se detalla en el siguiente diagrama la organización de la institución:

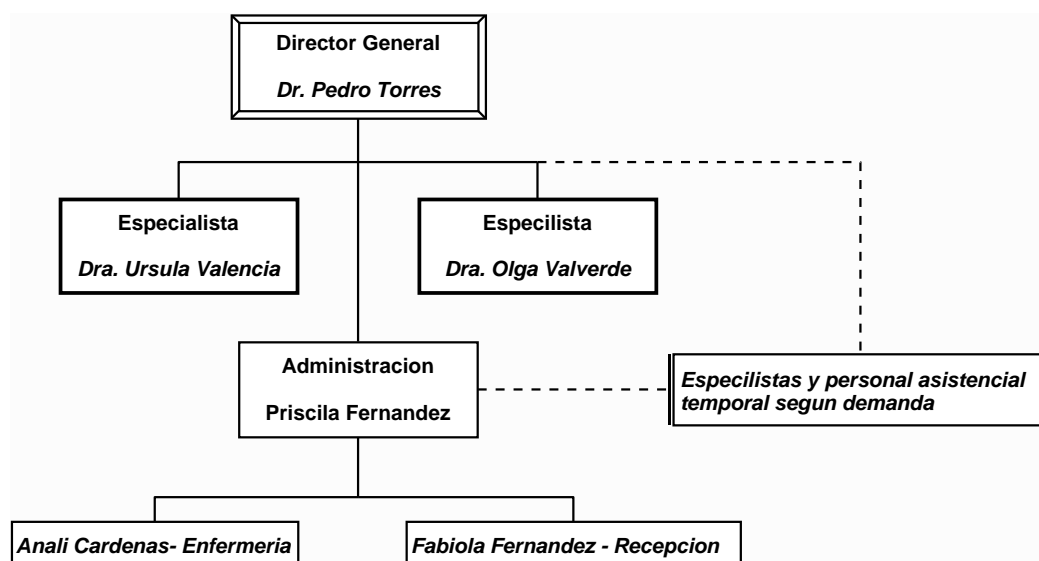


Figura 25, Organigrama de Cardiosalud

Fuente: Elaboración Propia a partir de los lineamientos de Cardiosalud.

3.1.6 Resumen del modelo de negocio

El centro de salud Cardiosalud desea mejorar la calidad de diagnóstico en pacientes de alto riesgo, pacientes cardiacos y a futuro se realizarán evaluación a deportistas de alto rendimiento.

Por consiguiente, solicita a la empresa BTL Perú S.A.C. desarrolle un proyecto que pueda ayudar a este objetivo, siendo la solución desarrollar la implementación de un sistema de ergoespirometría.

En consecuencia, se obtendrá una herramienta de ayuda al diagnóstico de gran utilidad para pacientes de alto riesgo que dotará al centro Cardiosalud de un nivel equiparable a institutos especializados en enfermedades cardiacas.

En adición a lo ya mencionado el centro Cardiosalud podrá utilizar el sistema para programas de rehabilitación, análisis de rendimiento deportivo, medicina deportiva y pruebas pulmonares en ejercicio.

3.2 Plan de Gestión del Alcance

La gestión del alcance de proyecto brinda las herramientas necesarias para incluir todo el trabajo que requiera el proyecto para ser completado, siendo su objetivo definir que se incluye y que se excluye en el proyecto. (Dávila Becerril, 2012)

3.2.1 Definición del alcance del proyecto.

En este punto se describe procesos de definición del alcance, verificación y control del proyecto que se desarrollaron en el presente proyecto de investigación.

3.2.2 Proceso de definición del alcance

En reunión celebrada por el centro de salud Cardiosalud representado por su Gerente General y Administrador con la empresa contratista BTL Perú representada por su Gerente General y el Especialista Técnico, para definir el pliego de condiciones y requerimientos necesarios para la implementación del proyecto en la figura del plan de ejecución del proyecto y el contrato de adquisición de bienes y servicios.

Las actividades de implementación serán desarrolladas en su totalidad por el Gerente de Proyecto designado por la empresa BTL Perú en la figura de su especialista técnico supervisado y apoyado por el Administrador del centro de salud Cardiosalud.

Teniendo en cuenta lo mencionado el proyecto se implementará en el área de ergometría del centro de salud Cardiosalud ubicado en Calle Bolognesi número 198 en el distrito de Yanahuara en la ciudad de Arequipa.

Determinado el lugar de la implementación del proyecto, el tiempo estimado para la instalación es de quince días útiles como máximo, iniciando el día tres de junio de 2019

con el arribo a la ciudad de Arequipa por parte de BTL Perú de todos los productos necesarios para la implementación.

3.2.3 Proceso de Verificación del Alcance

La verificación de los entregables se hará directamente y de manera conjunta con el Gerente de proyecto y del administrador del centro de salud Cardiosalud bajo el criterio desarrollado en los documentos de planificación:

3.2.4 Proceso Para El Control Del Alcance

Una vez realizada la verificación de los entregables y aprobado el protocolo de pruebas por parte del Gerente de proyecto y el Administrador del centro Cardiosalud se procederá a firmar el acta de conformidad de instalación junto al Acta de Resultados verificados del Protocolo de Pruebas.

En caso existiera alguna observación en la documentación anteriormente mencionada, se harán las observaciones y se remitirán al Gerente de Proyecto para su enmienda y/o corrección para ser nuevamente remitidas a la administración de Cardiosalud para su aprobación final.

3.2.5 Enunciado del Alcance

3.2.5.1 Objetivos del Proyecto.

Los objetivos del proyecto tanto como principales como específicos se encuentran descritos en el Capítulo 1 numeral 1.2 Definición de los objetivos donde se describen en detalle.

3.2.5.2 Descripción del Alcance del Proyecto

Se desarrollará la implementación el sistema de ergoespirometría en área de ergometría del centro de salud Cardiosalud ubicado en 198 de la calle Bolognesi, distrito Yanahuara de la ciudad de Arequipa.

El área en cuestión es de aproximadamente 15 m² que es el área física mínima requerida para la implementación del sistema.

La implementación comprende una banda corredora, un electrocardiógrafo, un sistema de medición de ventilación e intercambio de gases, un computador con procesador Corei5 y 8 Gb de memoria RAM con dos monitores FHD de 21" con licencia Windows 10 Pro incluida, una impresora láser B/N, software de ergometría cardiaca y pulmonar y un coche de transporte con gabinetes y rack para instalar el sistema informático completo y con un soporte mecánico para el elemento de medición de gases y un puerto de anclaje para el electrocardiógrafo.

3.2.5.3 Requerimiento del Proyecto

Para la ejecución del proyecto necesitamos contar con un área libre de aproximadamente 5 metros de largo por 3 metros de ancho (15 m²), ventilado con ventana al exterior y conexiones CA a 220 Voltios 60 Hz y una capacidad de carga mínima hasta 4.5 KVA, además de conexión a internet inalámbrica.

Asimismo, se necesita programar el acceso al área de ergometría durante 4 horas al día por 15 días hábiles para realizar los trabajos de implementación.

3.2.5.4 Requerimientos del Producto

El producto final debe tener las siguientes características, estas se presentan a continuación desglosadas en cada entregable físico describiendo sus atributos de funcionamiento:

Banda Caminadora:

- Rango de Velocidad: 0.1 a 20 Km/h.
- Inclinación: 25% de pendiente.
- Largo de banda: 1.7 metros.
- Ancho de banda de correr: 0.5 metros.

Electrocardiografía:

- Electrocardiografía de 12 Canales.
- Sistema inalámbrico a través de conexión directa WiFi.
- Software de gestión de exámenes y pacientes.

Sistema de intercambio de gases:

- Sensor de oxígeno de alto rendimiento y duración mayor a 1 año.
- Sensor CO₂ integrado tipo NIR
- Sensores de flujo reusables y esterilizables.
- Mascarillas lavables.
- Disponibilidad de filtros antibacteriales tipo HEPA descartables.
- Disponibilidad de examen de Espirometría.
- Software de gestión y análisis.
- Accesorios para procedimientos de calibración.

Sistema informático:

- Computador Corei5 con 8 Gb de RAM.
- 02 monitores de 22" FHD conexión DP.
- Sistema Operativo Windows 10 Pro.
- Impresora B/N laser.
- Teclado y Ratón inalámbrico.
- Instalación de software especializado.

Coche de transporte:

- Gabinete para elementos del sistema informático.
- Rack para dos monitores integrado.
- Ruedas de transporte con freno.

3.2.6 Entregables.

Durante el desarrollo del proyecto se utiliza la metodología de desarrollo en Cascada para la implementación y de la guía PMBOK en los procesos de gestión: inicio, planeación, monitoreo, ejecución, control y cierre; a continuación, se describen los entregables del proyecto:

- ✓ Plan de Gestión del proyecto que se divide en:
 - **Inicio:** de donde se obtendrán los siguientes entregables:
 - Plan de Gestión del Alcance.
 - Enunciado del Alcance.
 - EDT del proyecto.
 - **Planificación:** donde obtendremos los siguientes entregables:
 - Plan de Gestión del tiempo Cronograma del proyecto.
 - Plan de Gestión de costos: Presupuesto y Flujo de caja.
 - Plan de Gestión de adquisiciones: Matriz de adquisiciones.
 - Plan de Gestión de Calidad: Plan de gestión de la calidad.
 - Plan de Gestión de riesgos: Registro de riesgos.
 - Plan de Gestión de los interesados: Cuadro de Interés/influencia de interesados.
 - **Ejecución:** previo al comienzo de los trabajos de implementación se realiza una reunión para verificar el producto en el entregable:
 - Acta de verificación y validación de requerimientos y especificaciones técnicas.
 - Monitoreo y control:
 - Reporte diario, donde se informará el progreso y cualquier observación tanto del supervisor como del Gerente del proyecto.
 - **Cierre:** Al finalizar se hace entrega de los siguientes documentos:
 - Acta de entrega emitida por el gerente de proyecto.
 - Acta de conformidad emitida por el cliente.
- ✓ **Requisitos:** se revisa la información en la forma de los siguientes entregables:
 - Ficha técnica.
 - Temario de capacitación técnica.
 - Temario de capacitación usuaria.

- ✓ **Implementación:** se realiza la implementación física del proyecto en los entregables:
 - Sistema de ergoespirometría.
 - Acta de Verificación del Protocolo de Pruebas.
 - Acta de capacitación de personal usuario.
 - Acta de capacitación de personal técnico.
 - Cargo de recepción de manuales y documentación del producto.

- ✓ **Verificación:** se verifica y acepta la implementación en la figura de los siguientes entregables:
 - Protocolo de pruebas, en el que se realizan y valida la buena operación del producto final implementado.
 - Acta de entrega, donde se encuentran listados los entregables de la fase de implementación.

- ✓ **Mantenimiento:** se hace entrega del plan de mantenimiento en la forma de los siguientes entregables:
 - Cuadro de actividades de mantenimiento.
 - Cronograma de mantenimientos.
 - Carta de garantía.

3.2.7 Criterios de aceptación.

Listamos los criterios de aceptación para validar los entregables físicos dentro del alcance del proyecto:

3.2.7.1 Criterios de aceptación para el Sistema de ergoespirometría:

El sistema debe cumplir los siguientes criterios, que serán desglosados en cada entregable físico indicando el porcentaje de completación que representa en el proyecto:

- Banda corredora: Se considera el 25% del proyecto.
 - ✓ Velocidad máxima necesaria: 20Km/h.
 - ✓ Inclinación: 25% de pendiente.
 - ✓ Largo de banda: 1.7 metros mínimo.
 - ✓ Ancho de banda de correr: 0.5 metros mínimo.

- Electrocardiografía: Se considera el 20% del proyecto.
 - ✓ Electrocardiografía de 12 Canales.
 - ✓ Sistema inalámbrico a través de conexión directa WiFi.
 - ✓ Software de gestión de exámenes y pacientes.

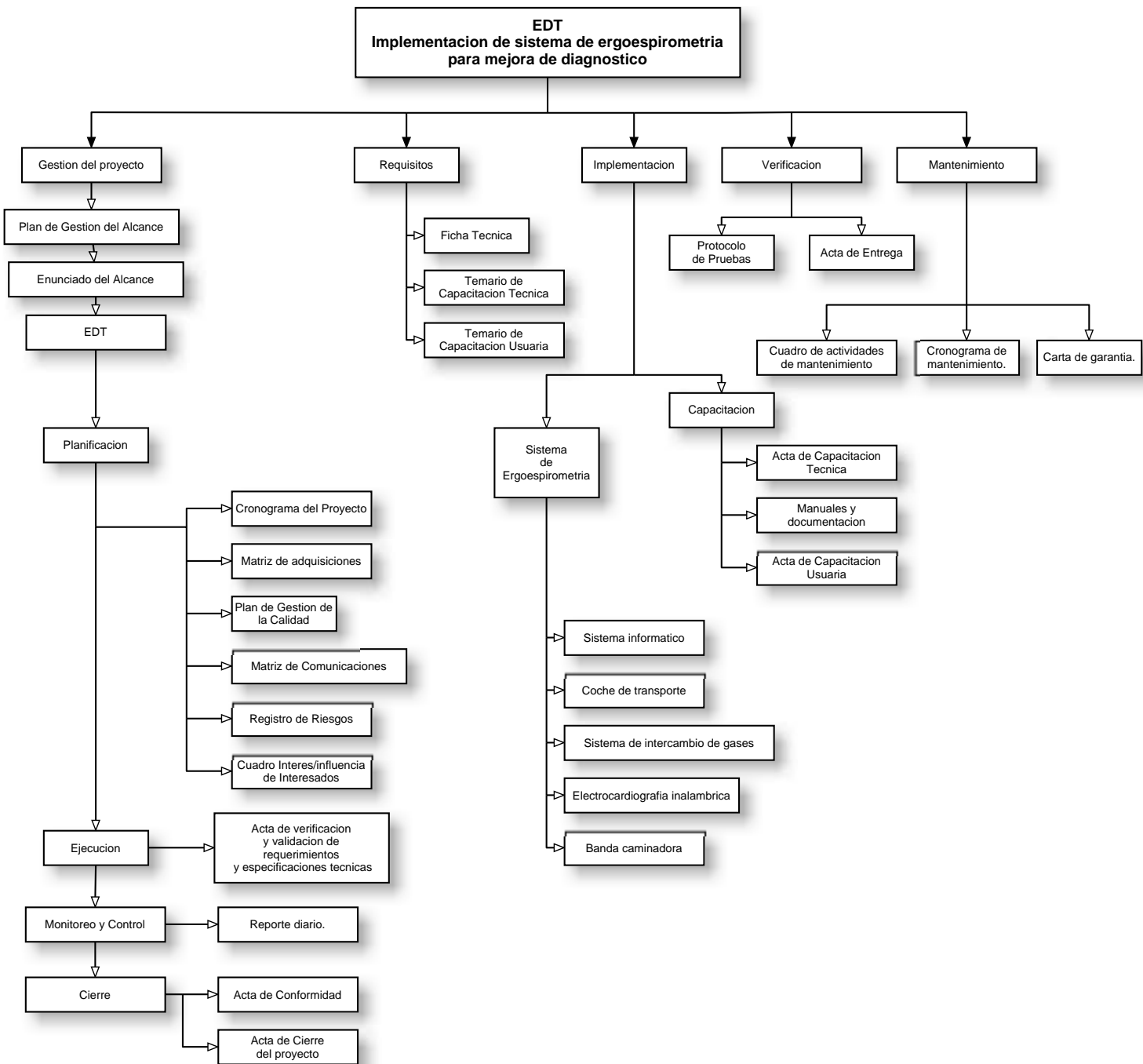
- Sistema de intercambio de gases: Se considera el 25% del proyecto.

- ✓ Sensor de oxígeno de alto rendimiento y duración mayor a 1 año.
 - ✓ Sensor CO2 integrado tipo NIR
 - ✓ Sensores de flujo reusables y esterilizables.
 - ✓ Mascarillas lavables.
 - ✓ Disponibilidad de filtros antibacteriales tipo HEPA descartables.
 - ✓ Disponibilidad de examen de Espirometría.
 - ✓ Software de gestión y análisis.
 - ✓ Accesorios para procedimientos de calibración.
- Sistema informático: Se considera 15% del proyecto.
 - ✓ Computador Corei5 con 8 Gb de RAM.
 - ✓ 02 Monitores de 22" FHD conexión DP.
 - ✓ Sistema Operativo Windows 10 Pro.
 - ✓ Impresora B/N laser.
 - ✓ Teclado y Mouse inalámbrico.
 - ✓ Instalación de software especializado.
 - Coche de transporte: Se considera 10% del proyecto.
 - ✓ Gabinete para elementos del sistema informático.
 - ✓ Rack para dos monitores integrado.
 - ✓ Ruedas de transporte con freno.
 - Documentación: Se considera 5% del proyecto.
 - ✓ Manuales de usuario y técnico en idioma español.
 - ✓ Documentación de accesorios y repuestos.

Considerando lo anterior, el porcentaje de implementación del proyecto para ser aceptado es del 95%.

Se requieren finalmente para dar por terminada la implementación por parte del interesado la verificación y aprobación del protocolo de pruebas y firmas del acta de entrega y de cierre del proyecto.

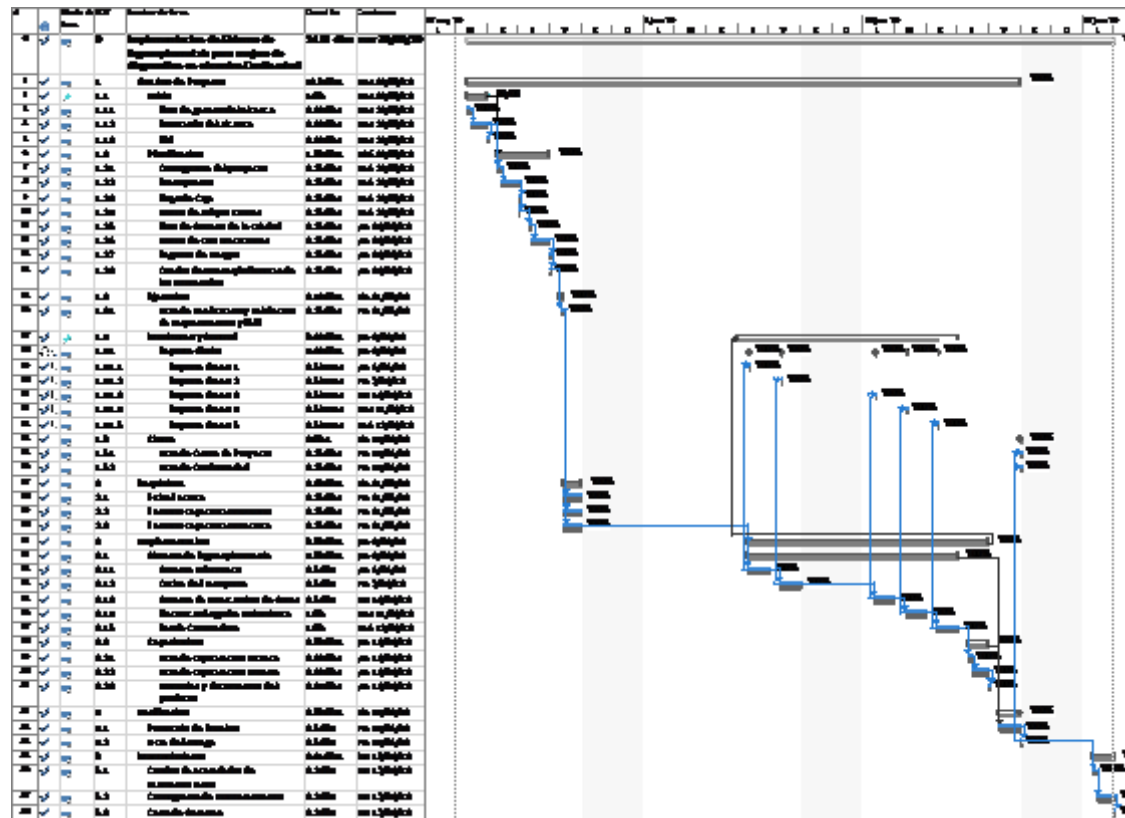
3.2.8 Desglose Del Esquema De Trabajo (EDT)



3.2.9 Gestión del Tiempo

En este apartado se presenta el cronograma de actividades en detalle cómo se encuentra organizado en la EDT, la implementación se desarrolla a lo largo de 23 días incluyendo la gestión e implementación siguiendo las metodologías antes descritas

Tabla 12, Cronograma del Proyecto, desarrollado en Gantt.



Fuente: Elaboración Propia

3.2.10 Gestión de la Calidad

En este apartado se desarrolla el Plan de gestión de la calidad que abarca el conjunto de actividades del proyecto que están relacionadas a controlar la calidad. A continuación, se presenta la plantilla del plan de control de la calidad del proyecto:

Tabla 13, Cuadro específico de los criterios de control de calidad

Etapa	Objetivo	Prueba de cumplimiento	Frecuencia	Método de verificación	Criterio de aplicación	Responsables
Gestión del Proyecto	Asegurar el cumplimiento de cada una de las etapas de la implementación.	<p>Desarrollo de la gestión de planificación en los entregables:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Alcance ▪ Costos ▪ Calidad ▪ Riesgos ▪ Interesados ▪ Comunicaciones ▪ Adquisiciones 	Al completar cada etapa	Revisar el cumplimiento de la planificación según el Plan de Gestión del Alcance y el Enunciado del Alcance	<p>Descritos en el Enunciado del Alcance.</p> <p>Entregables presentes en el EDT</p>	<p>Supervisor</p> <p>Gerente de Proyecto.</p>
Requisitos	Asegurar que se cumplan con los requerimientos del cliente	<p>Documentación de los requerimientos en los entregables:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ficha técnica ▪ Temario capacitación técnica. ▪ Temario capacitación usuaria. 	Antecede al inicio de la implementación, tras reunión con Supervisor.	Revisar y validar junto al supervisor del proyecto la documentación de requisitos.	Descrito en el Enunciado del Alcance	<p>Supervisor</p> <p>Gerente de Proyecto.</p>

Implementación	Asegurar la correcta instalación del producto final.	<ul style="list-style-type: none"> Se tiene el producto final implementado listo para la verificación. Se realizan las capacitaciones de usuario y técnica. 	Al completar la etapa de implementación.	Se valida con la ficha técnica y las actas de capacitación.	Descrito en el enunciado del alcance numeral: 3.3.6.1.	Supervisor Gerente de Proyecto.
Verificación	Asegura y dejar constancia de la correcta implementación y cumplimiento de los requerimientos.	<p>Se tienen los siguientes entregables:</p> <ul style="list-style-type: none"> Protocolo de pruebas. Acta de entrega. 	Al finalizar la instalación se realiza en presencia del Supervisor y del Cliente.	<p>Se valida en documento de Protocolo de pruebas.</p> <p>Y se deja constancia de lo entregado en el acta de entrega.</p>	Descrito en el Enunciado del Alcance.	Supervisor Gerente de Proyecto.
Mantenimiento	Asegura la calidad en función de la garantía de servicio postventa.	<p>Se tienen los siguientes entregables:</p> <ul style="list-style-type: none"> Cronograma de actividades. Programa de mantenimiento. Carta de garantía. 	Al cierre de la implementación	Los documentos se validan y se garantiza a todo costo el equipo por lo que se extienda la garantía.	Descrito en el Enunciado del Alcance.	Supervisor Gerente de Proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.11 Gestión de las comunicaciones

A continuación, en este apartado se detallarán los procesos necesarios para garantizar la correcta gestión de la información de manera que se pueda disponer de esta de forma adecuada y oportuna.

Para ello se definió previamente lo siguiente:

- Identificación de interesados.
- Identificación de información y frecuencia requerida.

A continuación, se presenta la tabla de gestión de la comunicación.

Tabla 14, Cuadro de gestion de la comunicacion.

Información requerida	Responsable	Público Objetivo	Método de Comunicación	Descripción de la Comunicación	Frecuencia
Resumen de porcentaje de avance del proyecto	Gerente de Proyecto	Supervisor	Google Spreadsheet compartido en Google drive. Llamada telefónica.	Actualización de la plantilla en Google <i>Spreadsheets</i> previamente definida.	1 vez al día durante la implementación
Reporte de Ocurrencias	Gerente de Proyecto	Supervisor. Contratista	Google Spreadsheet compartido en Google drive. Llamada telefónica	Reporte de cualquier ocurrencia que afecte la ejecución del proyecto.	Inter diario
Consultas	Jefe de Proyecto	Supervisor Dueño del proyecto.	Google Spreadsheet compartido en Google drive.	Consultas generales sobre el proyecto. Reuniones virtuales o presenciales de no mas de 10 minutos.	A solicitud

Fuente: Elaboración Propia

3.2.12 Gestión de Riesgo

En esta sección se planifican estrategias para identificar, medir y definir soluciones para controlar los riesgos que puedan impedir el desarrollo normal del proyecto. Como punto inicial se procederá a definir los criterios de medición de los riesgos, identificarlos y hacer la medición del tipo de riesgo según la probabilidad e impacto que esta genere al proyecto. A continuación, las herramientas y cuadros de apoyo para el plan de gestión de riesgos:

3.2.13 Tabla Probabilidades e Impacto

El cuadro presentado nos da un valor numérico para la probabilidad y el impacto de un evento.

Tabla 15, Cuadro de probabilidades e impactos al proyecto

Probabilidad	Valor numérico	Impacto	Valor numérico
Muy improbable	0.1	Muy bajo	0.05
Relativamente probable	0.3	Bajo	0.1
Probable	0.5	Moderado	0.2
Muy probable	0.7	Alto	0.4
Casi certeza	0.9	Muy alto	0.8

Fuente: Elaboración Propia

3.2.14 Tabla de Tipos de Riesgo

El cuadro presentado da un valor numérico al tipo de riesgo en función de la probabilidad por el impacto, estos valores servirán para dar un valor numérico según la gravedad:

Tabla 16, Cuadro de tipo de riesgo

Tipo de Riesgo	Valor Numérico
Muy alto	mayor a 0.50
Alto	menor a 0.50
Moderado	menor a 0.30
Bajo	menor a 0.10
Muy bajo	menor a 0.05

Fuente: Elaboración Propia

3.2.15 Identificación y medición de riesgos

Con la información cruzada obtenida de los anteriores cuadros podemos elaborar un análisis completo para medir y evaluar los riesgos y poder tener un valor numérico del tipo de riesgo:

Tabla 17, Cuadro de Medición de Riesgos

Item	Descripción de Riesgo	Afecta	Probabilidad	Objetivo Afectado	Estimación del Impacto	P x I	Tipo de Riesgo
1	Problemas de comunicación con los interesados	Todo el proyecto	0.5	Alcance	0.5	0.25	Muy Alto
				Tiempo	0.5	0.25	
				Costo	0.5	0.25	

				Calidad	0.5	0.25	
				Total, probabilidad por impacto		1	
2	Fallas en los componentes del producto.	Implementación	0.3	Alcance	0.05	0.015	Muy Alto
				Tiempo	0.8	0.24	
				Costo	0.1	0.03	
				Calidad	0.8	0.24	
				Total, probabilidad por impacto		0.525	
3	Desaprobación del Plan de Trabajo	Todo el proyecto	0.3	Alcance	0.4	0.12	Moderado
				Tiempo	0.2	0.06	
				Costo	0.2	0.06	
				Calidad	0.05	0.015	
				Total, probabilidad por impacto		0.255	
4	Indisponibilidad del Gerente de Proyecto por enfermedad u otros.	Todo el proyecto	0.3	Alcance	0.4	0.12	Muy Alto
				Tiempo	0.8	0.24	
				Costo	0.4	0.12	
				Calidad	0.8	0.24	
				Total, probabilidad por impacto		0.72	
5	Demora del envío de los equipos al cliente	Implementación	0.5	Alcance	0.05	0.015	Alto
				Tiempo	0.8	0.24	
				Costo	0.2	0.06	
				Calidad	0.1	0.03	
				Total, probabilidad por impacto		0.345	

Fuente: Elaboración Propia

3.2.16 Plan de estrategias de respuesta

En respuesta al tipo de riesgo asociado a la probabilidad de ocurrencia, se trazan las siguientes estrategias para atenuar el impacto en un cuadro de medición de riesgos:

Tabla 18, Cuadro de medición de riesgos

Item	Descripción de Riesgo	Afecta	Tipo de Riesgo	Amenaza / Oportunidad	Estrategia	Acciones
1	Problemas de comunicación con los interesados	Todo el proyecto	Muy Alto	Amenaza	Mitigar	Elaborar un programa de reuniones con el supervisor del proyecto para dar a conocer las herramientas de la matriz de comunicación y solicitar un feedback por parte de este.

2	Fallas en los componentes del producto.	Implementacion	Muy Alto	Amenaza	Prevenir	El contratista tiene por seguridad un segundo equipo, y un juego de accesorios y consumibles en stock.
3	Desaprobación del Plan de Trabajo	Todo el proyecto	Moderado	Amenaza	Mitigar	Actualizar y mejorar el enunciado del alcance y la planificación
4	Indisponibilidad del Gerente de Proyecto por enfermedad u otros.	Todo el proyecto	Muy Alto	Amenaza	Transferir	Transferencia de la responsabilidad al segundo especialista de servicio del contratista para tomar el lugar del personal indispuerto.
5	Demora del envío de los equipos al cliente	Implementación	Alto	Amenaza	Mitigar	Aplicar una penalidad en el contrato por retraso del cronograma.

Fuente: Elaboracion Propia

3.2.17 Gestión de Adquisiciones

Para la implementación del sistema se necesitan realizar adquisiciones locales por ser de fácil acceso y costo razonable además de contar con el soporte adicional del proveedor; las adquisiciones se hicieron por compra directa como se detalla en el siguiente cuadro:

Tabla 19, Matriz de adquisiciones.

Ítem	Descripción	Cantidad	Relevancia en EDT	Modalidad de Adquisición	Rango de Fecha de Entrega		Presupuesto Estimado
					Inicio	Limite	
1	Computadora HP600 G1, Corei5, 8 GB RAM, 1 TB HDD y Windows 10 Pro.	1	Enunciado del Alcance. Requisitos. Implementacion.	Compra Directa	28/05/2019	3/06/2019	USD 1,200.00
2	Monitor Lenovo Thinkview 24" FHD, DP, HDMI	2	Enunciado del Alcance. Requisitos. Implementacion	Compra Directa	28/05/2019	3/06/2019	USD 600.00
3	Impresora Canon MG3100	1	Enunciado del Alcance. Requisitos. Implementacion	Compra Directa	28/05/2019	3/06/2019	USD 120.00
4	HUB USB 3.1	1	Implementacion	Compra Directa	28/05/2019	3/06/2019	USD 15.00

5	Kit Teclado y Ratón Inalámbrico	1	Implementación	Compra Directa	28/05/2019	3/06/2019	USD 20.00
---	---------------------------------	---	----------------	----------------	------------	-----------	-----------

Fuente: Elaboración propia.

3.2.18 Gestión de los interesados:

Se describe en este punto a los involucrados en el proyecto además de su nivel influencia e interés:

Tabla 20, Relación de interesados

ID	Nombre	Posición	Lugar	Rol
1	Sofía Velásquez	Contratista	Lima	Contratista
2	Pedro Torres	Cliente	Arequipa	Dueño
3	Luis Castillo	Gerente de Proyecto	Lima - Arequipa	G.P.
4	Priscila Fernández	Administradora de Cardiosalud	Arequipa	Supervisor

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21, Análisis de intereses

ID	REQUISITOS PRINCIPALES	EXPECTATIVAS PRINCIPALES	INFLUENCIA POTENCIAL	FASE DEL PROYECTO CON MAYOR INTERES
1	Cumplir con el alcance del proyecto, de acuerdo los requerimientos del cliente.	Satisfacción del cliente. Proyecto dentro del tiempo y costo planificada.	Alto	Todo el proyecto
2	Cumplir el plan para la dirección del proyecto	Satisfacción del cliente. Proyecto dentro del tiempo y costo planificada. Desarrollar habilidades de liderazgo para el equipo de proyecto.	Alto	Todo el proyecto
3	Presentar un informe final de las actividades realizadas y los resultados alcanzados durante la ejecución del proyecto.	Proceso de ejecución del proyecto a más tardar el 15 de junio de 2019	Alto	Entrega del proyecto
5	Cumplir con los acuerdos establecidos en el contrato.	Alcanzar los objetivos del proyecto.	Bajo	Entrega del proyecto
6	Cumplir con reportar diariamente durante la implementación.	Mantener la seguridad de la información del proyecto.	Bajo	Realización de medidas correctivas

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra el diagrama de poder y el cuadro de poder de influencia de los interesados en el proyecto:

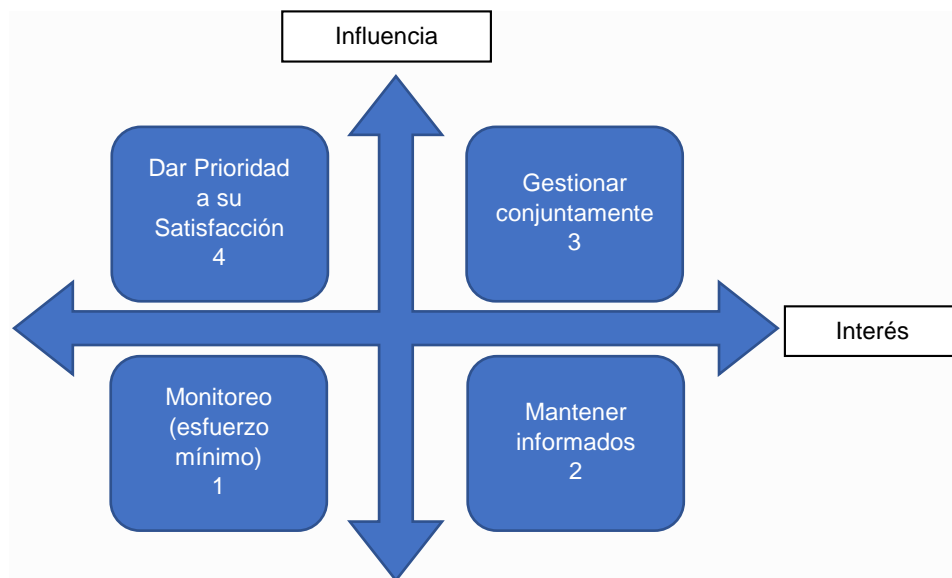


Figura 26, Poder de Influencia:
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 22, Cuadro de impacto y poder de los interesados.

ID	INVOLUCRADOS	INTERÉS(ES) DE LOS INVOLUCRADOS EN EL PROYECTO	EVALUACIÓN DE IMPACTO	ESTRATEGIAS POTENCIALES PARA GANAR SOPORTE O REDUCIR OBSTÁCULOS
1	Sofía Velásquez	Alto	Bajo	Mantener informado de manera periódica Llevar a cabo reuniones de avance del proyecto
2	Pedro Torres	Alto	Bajo	Mantener una buena comunicación Mantener liderazgo y credibilidad
3	Luis Castillo	Alto	Alto	Mantener una buena comunicación Mantener liderazgo
4	Priscila Fernández	Bajo	Alto	Mantener informado de manera periódica Llevar a cabo reuniones de avance del proyecto

Fuente: Elaboración propia.

3.2.19 Valor Ganado

A continuación, se presenta la gestión del valor ganado que es una técnica de gestión de proyectos que permite controlar la ejecución de un proyecto y la eficiencia de la ejecución con respecto a los costos:

Tabla 23, Cuadro de Valor Planeado VP, Valor Ganado EV y Valor Acumulado AC.

Año	Semana	Día	Valor acumulado	Valor planeado	AC
2019	Semana 1	1	S/ 158.40	S/ 158.40	S/ 158.40
		2	S/ 318.40	S/ 318.40	S/ 318.40
		3	S/ 478.40	S/ 478.40	S/ 478.40
		4	S/ 638.40	S/ 638.40	S/ 638.40
		5	S/ 638.40	S/ 638.40	S/ 638.40
		6	S/ 638.40	S/ 638.40	S/ 638.40
	Semana 2	7	S/ 638.40	S/ 638.40	S/ 638.40
		4	S/ 638.40	S/ 638.40	S/ 638.40
		5	S/ 638.40	S/ 638.40	S/ 638.40
		6	S/ 7,278.40	S/ 7,278.40	S/ 7,198.40
		8	S/ 22,867.40	S/ 22,867.40	S/ 22,707.40
		9	S/ 22,867.40	S/ 22,867.40	S/ 22,707.40
		10	S/ 22,867.40	S/ 22,867.40	S/ 22,707.40
	Semana 3	11	S/ 150,467.40	S/ 150,467.40	S/ 150,227.40
		12	S/ 183,591.40	S/ 183,591.40	S/ 183,351.40
		13	S/ 226,146.40	S/ 226,146.40	S/ 225,906.40
		14	S/ 226,306.40	S/ 226,306.40	S/ 226,066.40
		15	S/ 226,466.40	S/ 226,466.40	S/ 226,226.40
		16	S/ 226,466.40	S/ 226,466.40	S/ 226,226.40
		17	S/ 226,466.40	S/ 226,466.40	S/ 226,226.40
	Semana 4	18	S/ 226,564.08	S/ 226,546.40	S/ 226,285.60
			S/ 226,564.08	S/ 226,546.40	S/ 226,285.60
Total 2019			S/ 226,564.08	S/ 226,546.40	S/ 226,285.60
Total general			S/ 226,564.08	S/ 226,546.40	S/ 226,285.60

Fuente: Elaboración propia.

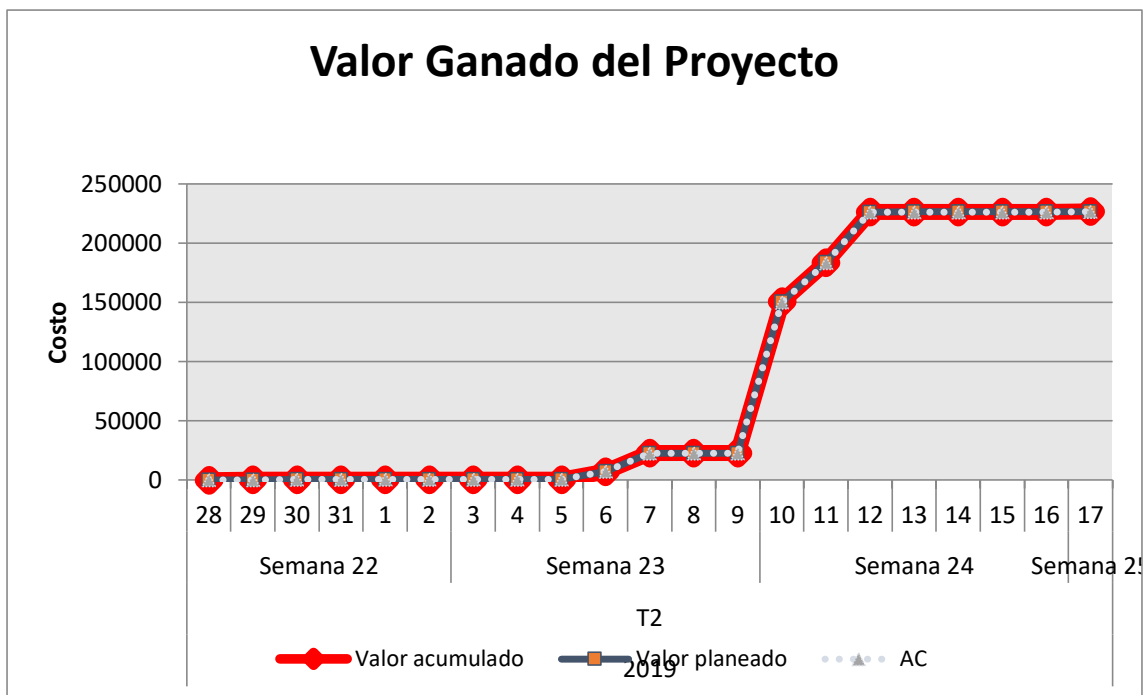


Figura 27, Grafico de valor ganado del proyecto.
Fuente: Elaboración Propia.

3.2.20 Cierre del Proyecto

En este apartado se presenta el contenido del Acta De Cierre Del Proyecto donde se hace detalle del desarrollo del proyecto, obtención de resultados donde, incluso en caso de ser negativos, se exponen los motivos por los que no se pudo alcanzar.

Asimismo, se presenta también el Acta de Conformidad que es el documento mediante el cual el cliente dueño del proyecto, da su conformidad expresa al cierre del proyecto dando su aprobación y aceptación de haber logrado los objetivos del proyecto.

3.2.20.1 Acta de Cierre del Proyecto

Mediante este documento se da por concluida la ejecución de un proyecto haciendo indicación de todo lo implementado y/o adquirido, el estado del proyecto habiéndose o no concluidos todas las actividades y entregables proyectados.

Tabla 24, Acta de Cierre del Proyecto (Modelo)

Fecha	17-06-2019
Proyecto	Implementacion de Sistema de Ergoespirometría para mejora de diagnóstico en el centro Cardiosalud.
Dirección Responsable	Administración Cardiosalud.
Líder del Proyecto	Luis Alberto Castillo Maurtua.
Contratista	BTL Perú S.A.C.

Dueño del Proyecto/Cliente	Cardiosalud – Dr. Pedro Torres Eguiluz.
----------------------------	---

Fecha Inicio	28-05-2019	Fecha Fin	17-06-2019
Fecha Inicio Real	28-05-2019	Fecha Fin Real	17-06-2019

2. LECCIONES APRENDIDAS
Con respecto a las limitaciones a la falta de información de como respondería el sistema en entornos de altitud y clima seco, se ha podido dilucidar que no afecta en gran medida puesto que las medidas correctivas del software entregan un análisis real tomando en cuenta todos los parámetros externos que pueden influir en el diagnóstico.

3. PRODUCTOS GENERADOS
Sistema de Prueba de esfuerzo convencional.
Sistema de Prueba de esfuerzo Cardiopulmonar.
Sistema de electrocardiografía con análisis de síndrome de muerte súbita cardiaca.
Sistema de espirometría.

4. BENEFICIOS ALCANZADOS
Los productos generados anteriormente descritos ofrecen una solución completa para la mejora de diagnostico en pruebas de esfuerzo físico, ahora es posible obtener información real del todo el aparato cardiopulmonar con los parámetros solicitados tanto cardiacos como ventilatorios que es de gran ayuda al diagnostico de pacientes de alto riesgo.

5. CIERRE DE ADQUISICIONES					
Adquisiciones Programadas	Cantidad	Presupuesto	¿Se realizó la adquisición?	Monto Devengado	¿Se encuentra cerrada la adquisición?
Caminadora	01	S/42,395.00	Si	S/42,395.00	Si
Flexi ECG wifi	01	S/32,964.00	Si	S/32,964.00	Si
Coche de Transporte	01	S/15,429.00	Si	S/15,429.00	Si
Analizador de Gases	01	S/127,440.00	Si	S/127,440.00	Si

Sistema Informático	01	S/6,480.00	Si	S/6,480.00	Si
Pasajes Lima - Arequipa - Lima	01	S/560.00	Si	S/560.00	Si
Viáticos	Monto	S/4,320.00	Si	S/4,059.20	Si
	Presupuest o Total	S/ 226,546.40	Ejecutado Total	S/ 226,285.60	

6. DOCUMENTACIÓN GENERADA EN EL PROYECTO

Documento	Ubicación	
	Física	Digital
Ficha técnica	X	X
Carta de garantía	X	X
Cronograma de mantenimiento	X	X
Cuadro de actividades de mantenimiento	X	X
Acta de capacitación de usuarios	X	X
Acta de capacitación técnica.	X	X
Acta de entrega	X	X
Acta de cierre	X	X
Acta de conformidad	X	X
Manual de usuario	X	X
Manual técnico	X	X
Video de capacitación	X	X

7. OBSERVACIONES DEL PROYECTO

La garantía es de 2 años contados a partir de la fecha de conformidad del proyecto

El servicio post venta esta garantizado por 10 años en partes y repuestos

Nombre	Cargo o Rol en el Proyecto	Elaborado / Revisado por	Fecha	Firma
Luis Alberto Castillo Maurtua	Jefe de	Elaborado	17/06/2019	
Pedro Torres Eguiluz	Cliente	Revisado	17/06/2019	

Fuente: Elaboracion propia.

3.2.20.2 Acta de Conformidad

Mediante este documento, el cliente expresa su total aceptación de los servicios y/o productos entregados, en este caso da su aceptación a la conclusión del proyecto y que este satisface los criterios de aceptación solicitados al iniciar la implementación.

Tabla 25, Acta de conformidad.

I. DATOS GENERALES:

CÓDIGO PROYECTO	PISE	FECHA:	17-06-2019	ELABORADO:	LCM
PROYECTO	Implementación de Sistema de Ergoespirometría para mejora de diagnóstico en el centro Cardiosalud.				

II. DE LA CONFORMIDAD:

Se da conformidad a la conclusión del proyecto de implementación, conociendo que los objetivos y requerimientos convenidos con el contratista han sido alcanzados de manera satisfactoria.

III. DEL CIERRE DEL PROYECTO/REQUERIMIENTO

Se da conformidad al acta de cierre con respecto a todos los puntos especificados en la misma.

IV. APROBACIÓN Y ACEPTACIÓN DEL REQUERIMIENTO

JEFE DE PROYECTO	SOLICITANTE DEL REQUERIMIENTO
BTL Perú S.A.C:	Cardiosalud
Firma: Nombre: Luis Alberto Castillo Maurtua. Cargo: Especialista técnico / Jefe de Proyecto	Firma: Nombre: Pedro Torres Eguiluz Cargo: Gerente General Cardiosalud

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Desarrollo e implementación de la solución del problema de estudio

La implementación del proyecto se realiza utilizando el método cascado siendo que las etapas y entregables a ejecutar se realizan de manera secuencial; a continuación, se describe el desarrollo como se representa en la EDT.

El sistema a utilizar es la solución de ergoespirometría que ofrece BTL Perú, el modelo es Cardiopoint CPET Ergo E600 el cual es un sistema multicomponente que en alianza comercial con Pistón Medical para la sección de espirometría y análisis de gases, ofrecen un sistema completo que cumple con los requerimientos del interesado final, a continuación se describen los pasos para la implementación:

3.3.1 Requerimientos:

Revisión de documentación de especificaciones técnicas del sistema de ergoespirometría de acuerdo con los requerimientos de la Ficha de especificaciones técnicas; aprobación de temática de capacitaciones técnica y usuaria.

A continuación, el cuadro de especificaciones técnicas de la prueba de ergoespirometría de BTL:

Tabla 26, Especificaciones técnicas de Sistema de Ergoespirometría.

Característica	Especificación	Valor o detalle
Descripción	Sistema de pruebas de ejercicio cardiopulmonar	-----
Aplicación	• ECG prueba de esfuerzo.	Si
	• ECG reposo.	Si
	• Prueba de ejercicio cardiopulmonar.	Si
	• Espirometría.	Si
	• Calorimetría indirecta.	Si
Método de medición	Respiración por respiración	Si
Construcción	Sistema basado en PC con un carro dedicado.	Si
	Jeringa de calibración montado en el carro	Si
	Soporte dedicado para un cilindro de gas	2, 5 y 10 Litros
Tubo de paciente	Libre de cables eléctricos y conectores	Si
	Sin partes móviles	Si
	Un solo uso o desinfectable	Si (opcional)
Sensor de flujo	Rango de medición de flujo	±18 l/s
	Precisión de la medición de flujo	±2% o 50 ml/s
	Resistencia	60 Pa/l/s a 15 l/s
	Rango de medición de volumen	15 l
	Precisión de la medición de volumen	±2% o 50 ml
Sensor de CO2	NDIR	No dispersivo Infra rojo
	Rango	0-10%
	Precisión	0.05%
	Tiempo de respuesta T90	130 milisegundos
	Medición de CO2 ambiental	Si
Sensor de O2	Celda electroquímica	Si
	Rango	0-100%
	Precisión	0.05%
	Tiempo de respuesta T90	130 milisegundos
ECG	inalámbrico Wifi	Si
	ECG de reposo y estrés	Si
	Derivaciones	Estándar 12 derivadas
	Resolución digital	3,9 uV
	Conversión A/D	13 bits
	Frecuencia de muestreo	2000 Hz
	Respuesta de frecuencia	0.05 Hz - 170 Hz
Parámetros medidos y calculados	Carga	Si
	Equivalente metabólico de tarea	Si
	Ventilación por minuto	Si
	Volumen Tidal (aire desplazado en un proceso de inspiración y espiración)	Si
	Frecuencia de la respiración	Si
	Consumo de oxígeno	Si
	Consumo de oxígeno máximo	Si
	Consumo de oxígeno máximo por peso	Si
	Producción de dióxido de carbono	Si
	Producción de dióxido de carbono máximo	Si
	Inclinación de absorción de oxígeno	Si
	Cociente de intercambio respiratorio	Si
	Gasto energético de reposo	Si

	Ejercicio de gasto de energía	Si
	Frecuencia cardíaca	Si
	Concentración de O2	Si
	Concentración de CO2	Si
	Tensión de oxígeno End Tidal. (al término de un ciclo tidal de inspiración/expiration)	Si
	Tensión de dióxido de carbono End Tidal. (al término de un ciclo tidal de inspiración/expiration)	Si
	Capacidad Vital forzada	Si
	Capacidad Vital lenta	Si
	Ventilación voluntaria máxima	Si
	Ejercitar la capacidad inspiratoria	Si
	Volumen pulmonar espiratorio final del ejercicio	Si
	Nivel de segmento ST	Si
	Doble producto	Si
Evaluaciones	Determinación del umbral anaeróbico	Métodos: RER = 1, V-slope, equivalentes ventilatorios
	Interpretación de la capacidad aeróbica	Si
	Mediciones pre-post	Si
	Análisis de gases sanguíneos	Si
	Calorimetría - quema grasa y gasto energético	Si
	Detección automática de arritmias	Si
	Facilidad para mostrar la orientación espacial de las desviaciones del segmento ST	Si
	Evaluación opcional de muerte súbita según los criterios de Seattle	Si

Fuente: (BTL Industries Limited, 2019)

3.3.2 Implementación:

En esta etapa se implementa físicamente el sistema de ergoespirometría que debe cumplir al menos el 95% de los criterios de aceptación además se realizan las capacitaciones y actas de capacitación firmadas por los usuarios del sistema y el supervisor del proyecto de este mismo modo se deben firmar los cargos de recepción de manuales y documentación del producto final.

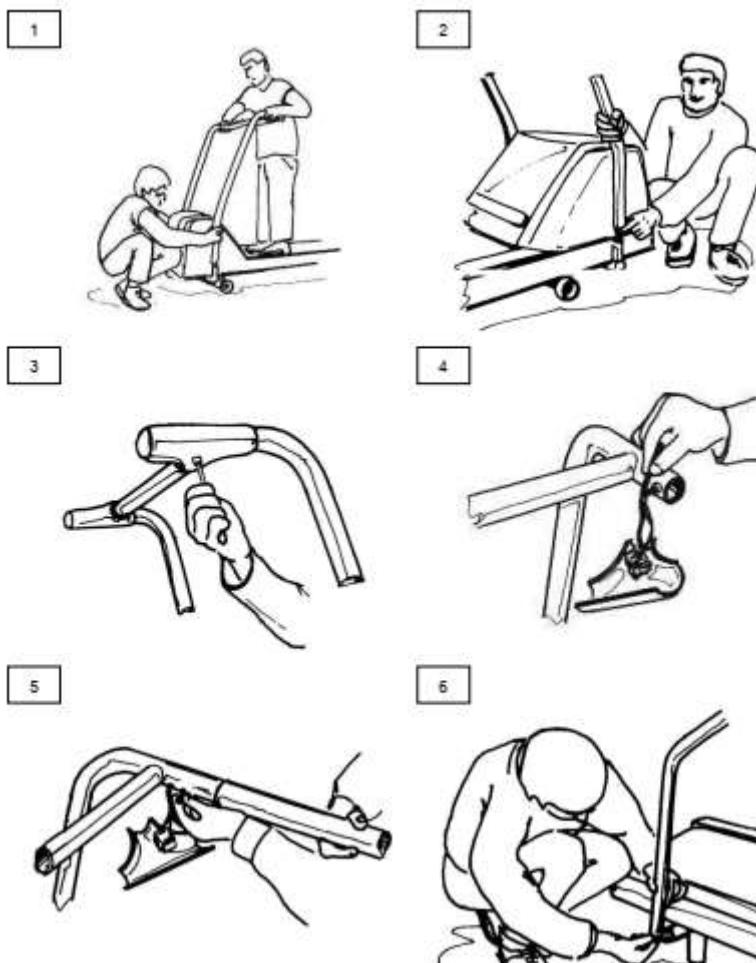
3.3.2.1 Implementación de sistema informático:

El sistema informático viene preconfigurado con el sistema operativo Windows 10 Pro, por lo que el único requerimiento es la instalación de los software Cardiopoint para el procesamiento de señales cardíaca y Pistón XP (BTL CPET) para el procesamiento de espirometría e intercambio de gases.

3.3.2.2 Implementación de banda caminadora:

Antes de empezar la instalación de la caminadora se debe verificar que no haya piezas dañadas luego de abrir el embalaje. En caso de haber algún daño, no debe ensamblarse la caminadora inmediatamente un informe y devolverla al distribuidor para su reemplazo.

Una vez verifica la integridad procedemos al armado de la estructura de barandas:



1. Colocar la baranda frontal, en ella se encuentra el conector de los pulsadores de parada de emergencia.
2. El conector de los botones de parada de emergencia se conecta a la base a través del tubo de sujeción de la baranda.
3. Se colocan los ángulos de protección que servirán de guía para las bandas laterales.
4. Se instalan el cordón con clip de parada de emergencia que un botón de magnetizado que apaga la caminadora por si el paciente sufre un tropiezo o caída, esto para minimizar el impacto.
5. Se colocan las bandas o manubrios laterales.
6. Finalmente se ajustan las bandas laterales a la base de la caminadora.

Finalmente debe conectar la caminadora a la PC a través del cable RS232 conectado a un convertidor RS232/USB para poder ser controlado remotamente.



Cable de comunicación RS-232



Convertidor BTL RS232/USB

Figura 28, Cables de interface de conexión al PC de caminadora.
Fuente: (BTL Industries Limited, 2019)

3.3.2.3 Implementacion de Electrocardiógrafo inalámbrico:

El instrumento que BTL proporciona es el electrocardiógrafo inalámbrico ECG Flexi que un electrocardiógrafo inalámbrico de 12 canales que establece a través de una res Wifi hotspot generada desde el mismo instrumento para que la PC pueda conectarse a él en una conexión dedicada como se muestra en la siguiente figura:

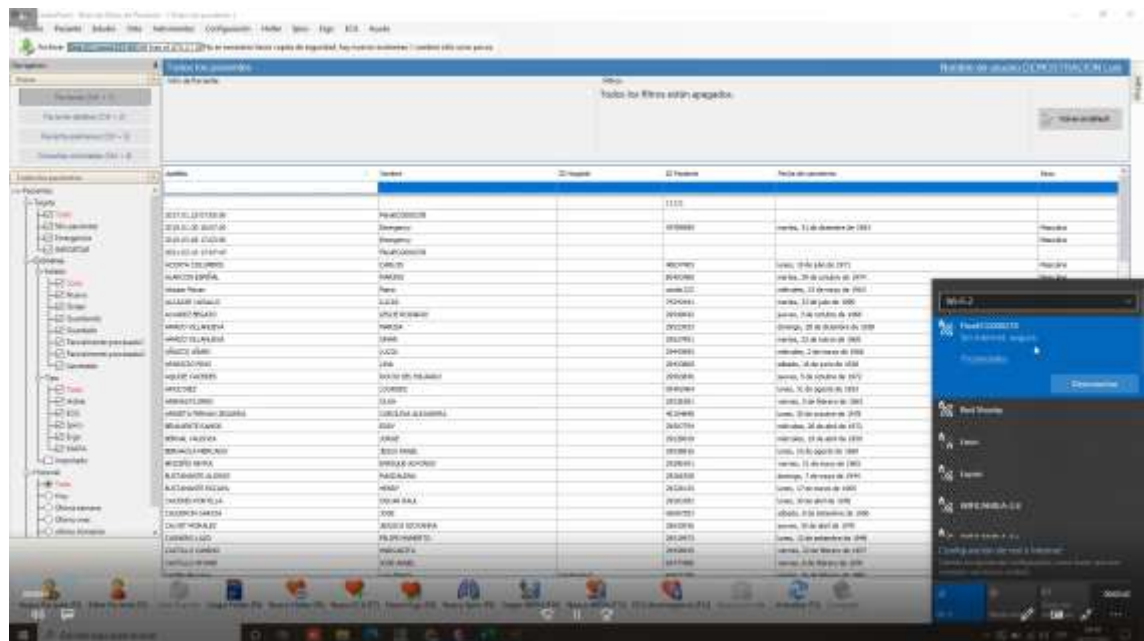


Figura 29, Conexión de red ECG Flexi
Fuente: Elaboración propia.

El equipo dispone un receptor Wifi para garantizar la conexión dedicada y no privar de su conexión primaria a la nube.



Figura 30, Electrocardiógrafo Flexi y adaptador de red Wifi.
Fuente: (BTL Industries Limited, 2019)

El instrumento esta listo para ser utilizado una vez se haya establecido la conexión inalámbrica.

3.3.2.4 Implementacion de coche de transporte

El sistema informático, el anclaje del electrocardiógrafo y sistema de calibración van montados en el coche de transporte, todos estos elementos tienen anclajes para todos los elementos complementarios de la prueba de esfuerzo cardiopulmonar. Este ya viene preensamblado de fabrica por lo que solo es necesario montar el sistema informático, el balón de gas de calibración y la jeringa de calibración.

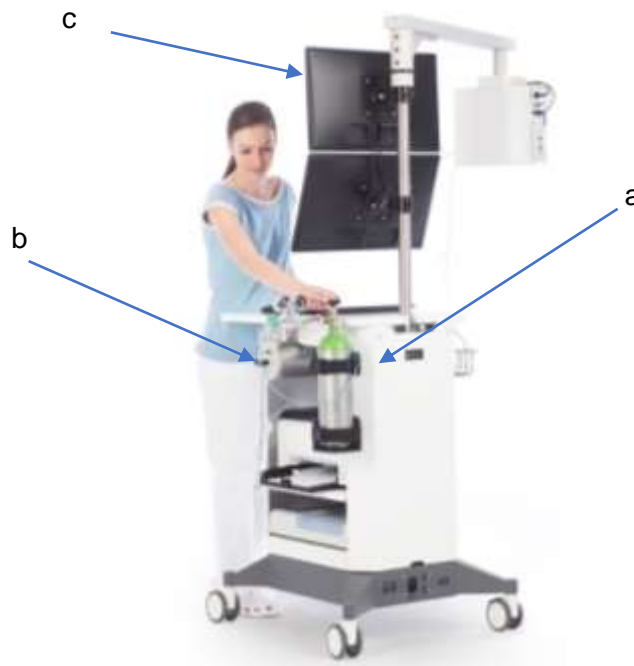


Figura 31, Coche de transporte, se observa el gas de calibración de los sensores (a) y la jeringa de calibración del flujómetro (b) y sistema informático (c). Fuente: (BTL Industries Limited, 2019)

3.3.2.5 Implementación de sistema de Intercambio de gases

El sistema de intercambio de gases o analizador de gases es un sistema de espirometría que utiliza un sensor de flujo de tubo de Pitot a través de un circuito de paciente que consiste en una máscara facial conectada a un anclaje que a su vez se conecta al instrumento de medición. El modelo es el Pre-201 que se maneja a través del software PistónXP, que adquiere y procesa los datos medidos para su posterior revisión.



Figura 32, Pre-201 Analizador de Gases.
Fuente: (BTL Industries Limited, 2019)

El circuito de conexión consiste en una máscara tipo V2 un adaptador para el sensor de flujo, mangueras para el muestreo del flujo y una manguera capilar de Nafion para el muestreo de intercambio gaseoso, este último es de suma importancia porque asegura la precisión y la conservación de los sensores que pueden ser afectados por la humedad generada por el cuerpo humano.



Figura 33, Circuito de paciente.
Fuente: (BTL Industries Limited, 2019)

Este circuito puede ser usado hasta por 25 ciclos de esterilización en autoclave de vapor de agua Clase B, o por un tiempo de hasta un año limpiándolo con agentes antisépticos. (Piston Medical, 2017).

El circuito una vez conectado al dispositivo Pre-201, por medio de micro bombas de aire va tomando muestras del conector de sampleo (la manguera de Nafion) para ser distribuidas a los sensores de O₂ y CO₂, los tubos de flujo que son las mangueras de poliuretano van conectadas a las tomas de flujo, las que están conectadas a los sensores de presión para el calculo del caudal.

El analizador de gases se monta al coche de transporte por medio de un brazo móvil para mayor comodidad al momento de realizar una prueba como se muestra en siguiente figura:



*Figura 34, Coche implementado completamente.
Fuente: (BTL Industries Limited, 2019)*

El brazo tiene un ángulo de movimiento de 180 grados por delante del coche para una mejor maniobrabilidad del sistema.

3.3.3 Verificación:

En esta etapa se realiza el protocolo de pruebas de operación del equipo y se levanta el acta de entrega, estos son verificados por el administrador del centro Cardiosalud encargado de la supervisión y de un medico asignado por la dirección:

Tabla 27, Protocolo de pruebas para ergoespirómetro BTL.

N°	Descripción de la prueba	Procedimientos p/realizar cada prueba	Instrumentos, insumos y/o medios físicos a emplear (*)	Tiempo estimado de realización	Resultado – Valor esperado
1	Prueba de encendido del sistema	Enchufar y encender el sistema informático, el analizador de gases y la banda caminadora en ese orden.	No requiere	02 minutos	Se enciende e inicia el sistema operativo en el PC, se encienden los indicadores luminosos de los demás componentes.
2	Prueba de Conexiones	Se ejecuta el software Cardiopoint y se realiza a través del menú de conexiones la verificación de conexión de la caminadora, analizador de gases y electrocardiógrafo.	No requiere	03 minutos	Se visualiza en pantalla que existe una conexión establecida.
3	Prueba de funcionamiento	Se inicia una prueba de demostración con un simulador ecg y colocando la mascara V2 a una persona para verificar el funcionamiento, no debe haber nadie de pie en la caminadora o algún objeto sobre ella.	Simulador ecg, sensor de flujo.	03 minutos	En la pantalla se visualiza las 12 derivaciones a la frecuencia programada, el software analizador de gases se inicia al mismo tiempo y se puede la generación de las graficas de ventilación y de muestreo de gases. En paralelo la banda caminadora comienza a rodar según el protocolo por defecto (Bruce).
4	Calibración	Se realiza el procedimiento de calibración como indica el manual de uso, colocando el sensor de flujo en la jeringa de calibración y cerrando el circuito del muestreador de gases.	Jeringa de calibración de flujómetro y gas de calibración.	05 minutos	Se realiza una prueba de flujo y volumen a través de una grafica en la que se deben alcanzar un movimiento de 3 litros de aire y en el caso de los gases una concentración de 15% O2 y 6% de CO2. El software emite un mensaje de éxito si se lograron medir con éxito los parámetros por defecto.
6	Guardado de resultados	Una vez finalizado, se da click al botón de guardado en el software Pistón para llevar un control de las calibraciones.	No requiere	01 minutos	Se guarda el resultado de calibración, a partir de la segunda calibración se empezara a trazar un gráfico del estado de los sensores de O2 y CO2..

Fuente: Elaboración propia.

3.3.4 Mantenimiento:

En esta etapa se hace entrega del cuadro de actividades de mantenimiento, el cronograma de mantenimiento y la carta de garantía del producto final.

Tabla 28, cuadro de actividades de mantenimiento.

Fuente: Elaboración Propia.

El cuadro hace referencia a las actividades generales de mantenimiento pero adicionalmente se debe considerar la adquisición anual del circuito de paciente, el tubo de muestreo con filtro antibacterial (manguera de Nafion) y anclaje del sensor

DESCRIPCION ACTIVIDAD	PERIODO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO					
	2 años de garantía					
(Años comprendidos 2019-2021)						
Meses	4	8	12	16	20	24
Inspección global del equipo y/o accesorios			x			x
limpieza de interior y exterior del equipo			x			x
Test de seguridad Eléctrica			x			x
Revisión y limpieza de tarjetas electrónicas			x			x
Revisión y medición de voltaje de baterías, conexiones en general.			x			x
Verificación de balón de gas de calibración			x			x
Test a de fuga a jeringa de calibración			x			x
Lubricación de partes y piezas móviles del coche			x			x
Verificación de circuito de paciente y sensores de flujo						
Pruebas operativas con simulador de paciente.			x			x
Prueba de funcionamiento del equipo. (simulación o prueba con paciente)			x			x

de flujo.

Capítulo 4

4 Resultados

Los resultados del proyecto son la parte más importante del mismo porque se informa finalmente si se lograron los objetivos planteados al comienzo y si las aseveraciones finales agregan valor o conocimiento al tema de estudio, a continuación, se presenta los resultados en función a los objetivos trazados en el contexto de la investigación, cabe destacar que esta información se obtuvo de las impresiones de los expertos que utilizan el equipo:

4.1 Resultado en función del objetivo general

Con respecto al objetivo principal Finalmente, a 1 año y medio de implementado el sistema de ergoespirometría para mejorar el diagnóstico, se obtuvo mediante en constante comunicación con los expertos del centro Cardiosalud, se concluye que los objetivos se vienen cumpliendo progresivamente y se están documentando nuevas estadísticas con respecto a la actividad del centro Cardiosalud. Presentamos a continuación el cuadro de patrones utilizado en el diagnóstico base:

Tabla 29, Patrones básicos de la función cardiopulmonar.

	Sano	Enfermedad cardíaca	Enfermedad obstruiva	Enfermedad intersticial	Enfermedad vascular	Neuronus- cular	Desacondi- cionamiento	Obeso
VO ₂ máx.	N	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓ (normal para el peso ideal)
O ₂ /HR	N	↓	↓	No ↓	↓	↓	↓	N
FC pico	N	Variable, nor- ma en leve	Variable, nor- ma en leve	↓	↓	No baja	No ↓	N
Reserva cardíaca	Ausente (< 20 lpm)	Ausente o pequeño (20 lpm)	Grande (> 30 lpm)	Ausente o pequeño (20 lpm)	Ausente o pequeño (20 lpm)	Grande (> 30 lpm)	Grande (> 30 lpm)	N
VE máx./VVM	< 0.8	< 0.8	> 0.8	< 0.8	< 0.8	< 0.8	< 0.8	< 0.8
UA	Presente (40-60% de VO ₂ máx. predicho)	Variable (< 30% de VO ₂ máx. predicho)	Variable (40-60% de VO ₂ máx. predicho)	Presente (40-60% de VO ₂ máx. predicho)	Presente (40-60% de VO ₂ máx. predicho)	Presente (40-60% de VO ₂ máx. predicho)	Presente (40-60% de VO ₂ máx. predicho)	Presente (40-60% de VO ₂ máx. predicho)
VDVT	↓	↓	↓	↑ o sin cambio	↑ o sin cambio	↓	↓	↓
SaO ₂	N	N	↓	↓	↓	N	N	N
PaO ₂	N	N	Variable	↓	↓	N	N	N
PETCO ₂	↓	↓	↑ o sin cambio	↓	↓	↓	↑ sin cambio	↑ o sin cambio
GA-a	N	N	↑	↑	↑	N	N	N o ↓

VO₂ máx. (consumo máximo de O₂), O₂/HR (gusto de O₂), FC pico (frecuencia cardíaca pico), VE máx./VVM (reserva ventilatoria), UA (umbral ventilatorio), VDVT (espacio muerto), SaO₂ (Saturación de O₂), PaO₂ (Presión arterial de O₂), PETCO₂ (CO₂ al final de la espiración), GA-a (gradiente aorto-arterial de O₂). N: normal, ↑ aumentado, ↓ disminuido, lpm: latidos por minuto.

Fuente: tomado de (Cid-Juárez Silvia, 2015), <http://www.scielo.org.mx/img/revistas/nct/v74n3/a8t8.jpg>.

Con respecto a los pacientes atendidos por Cardiosalud durante el primer año se anota un aumento en el diagnóstico oportuno para dar el tratamiento adecuado a los pacientes de alto riesgo como se detalla:

Tabla 30, Cuadro de diagnósticos por año.

Diagnósticos/Año	Enfermedad Cardíaca	Enfermedad Obstructiva	Enfermedad Intersticial	Enfermedad Vascular	Enfermedad Neuromuscular	Desacondicionamiento	Obesidad
2017	59	17	19	32	12	77	90
2018	55	20	21	35	13	84	98
2019	74	37	23	38	25	91	107
2020	78	39	24	40	36	96	112

Fuente: Elaboración propia.

En la práctica los especialistas han podido detectar y confirmar enfermedades cardíacas, EPOC, diagnosticar el estado físico de una paciente para determinar si podrá soportar una intervención quirúrgica y últimamente en la rehabilitación cardíaca de estos pacientes.

Finalmente podemos decir en función de los resultados que hubo una mejora en la producción de diagnósticos en pacientes de alto riesgo para que los especialistas y expertos puedan tomar las decisiones más acertadas para la salud de sus pacientes.

4.1.1 Resultado en función de los objetivos específicos

“Establecer la banda de correr como el ergómetro que brinda mejores resultados siendo el ejercicio más completo y del que se tiene un mejor control en la intensidad.”

- La experta en el uso a fin de probar el objetivo establecido se hizo una entrevista con tales resultados agregar cuadros con resultados dra. Valencia confirma que el ejercicio en caminadora activa la mayor cantidad de músculos, aunque inefectiva para medir el trabajo en contraste genera una mejor respuesta en función de la medición de volúmenes de oxígeno y de la salida cardíaca.

Medir los volúmenes de aire inspirados y expirados nos da información de cómo evoluciona el paciente en respuesta al ejercicio en función flujo de aire y frecuencia respiratoria, medir la concentración de intercambio de gases O₂ y CO₂ nos brinda información con respecto al metabolismo, el gasto energético, el estado y capacidad física del paciente, siendo esta información muy relevante para el diagnóstico.

- En función a este objetivo lo expertos confirman la excelente respuesta y mejora del diagnóstico que proporciona el equipo, en el caso de la rehabilitación cardíaca se ha podido mejorar la calidad de vida de muchos pacientes además de la obtención de respuesta de recuperación más rápida y efectiva al poder monitorear estos parámetros en cada sesión con paciente de alto riesgo sobre todo en los de alto riesgo

Establecer en los protocolos la toma de exámenes previos de espirometría ECG y muerte súbita, esto permitirá tener de antemano información que podría resultar vital porque podría ser determinante para tomar la decisión de realizar o no la

prueba de ergoespirometría; conocer de antemano los valores predictivos permite hacer un pronóstico y valoración de los resultados al finalizar el examen.

- Las pruebas basales previas que permite hacer el equipo tanto de ECG basales y espirometría en reposo (FVC), permiten al especialista determinar si es consecuente someter al paciente a la prueba, los expertos han podido en este contexto evitar someter a pacientes con capacidad pulmonar limitada a protocolos de ejercicio que podrían causar alguna respuesta de riesgo en los pacientes.

Establecer un sistema de ECG inalámbrico para favorecer a la calidad de adquisición de la señal eléctrica del corazón, minimizar el ruido de señal, artefactos de movimiento y dificultad que tiene el paciente para moverse con las conexiones en sistemas cableados convencionales.

- El establecimiento de un sistema de ECG inalámbrico mejora tremendamente la calidad de los exámenes, incluso la Dra. Valencia nos comparte que las pruebas de esfuerzo convencionales y ECG en reposo han pasado a ser evaluadas con los instrumentos de BTL, al tener mejor respuesta en función de artefactos y ruido que presentan las pruebas con equipos de sobremesa.

4.2 Presupuesto

El proyecto será implementado a todo costo por parte del contratista BTL Perú S.A.C., a continuación, se desglosará los gastos en los que se realizarán en la implementación, el detalle en las siguientes tablas de costos:

Tabla 31, Costo para Cardiosalud total cotiza:

Descripción	Costo	Total, incluido Impuestos
Implementación de Sistema de Ergoespirometría	S/199,142.37	S/ 230,146.40
	Total	S/ 230,146.40

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32, Costo para el contratista BTL Perú S.A.C.:

Descripción	Costo	Total, incluido Impuestos
Sistema de Ergoespirometría	S/184,938.98	S/ 218,228.00
Pasajes aéreos	S/474.58	S/ 560.00
Flete de envío	S/1,525.42	S/. 1,800.00
Viáticos de Gerente de proyecto	S/5,491.53	S/ 6,480.00
Adquisiciones	S/3,661.02	S/ 4,320.00
Reserva de contingencia	S/3,050.85	S/. 3,600.00
	Total	S/ 230,146.40

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se hace un pequeño resumen y se revisa que sen la totalidad de la implementación del sistema a todo costo se pudo constatar que Cardiosalud solo ejecuto 85% del presupuesto limite que fijo inicialmente sobre la cotización presentada por el contratista y el monto ejecutado:

Descripción	Monto	Ahorro Cliente (PC-CC)	Ahorro Contratista (CC-I)
Presupuesto del Cliente (PC)	S/ 266,400.00		
Cotización Contratista (CC)	S/ 230,146.40	S/ 36,253.60	
Monto ejecutado en la implementación (I)	S/ 226,285.60		S/ 3,860.80

El cliente obtuvo una mejora o ahorro del 15% con respecto al gasto presupuestado, el contratista obtuvo un rendimiento adicional de 1.6% con respecto al monto cotizado ya que se redujeron algunos gastos durante la implementación.

Conclusiones

Con respecto a los resultados se concluye:

El objetivo principal de implementar un sistema de ergoespirometría a más de 1 año de su implementación se da por satisfecho ya que se comprueba que el sistema a mejorado la producción de resultados y la confirmación de los mismos.

En función de los objetivos específicos podemos concluir:

El establecimiento de la banda de correr como el ergómetro brindo mejores resultados siendo el ejercicio más completo, cuya aplicación y protocolos son los más estudiados y tienen mayor aceptación diagnóstica a nivel mundial.

Medir los volúmenes de aire inspirados y expirados resulta de importancia determinantes en el diagnóstico de EPOC e isquemia, el estado físico también puede ser evaluado y ayuda a la rehabilitación o reacondicionamiento de los pacientes con resultados puntuales.

Establecer en los protocolos la toma de exámenes previos de espirometría ECG y muerte súbita, permite tener de antemano información que podría resultar vital porque podría ser determinante para tomar la decisión de realizar o no la prueba de ergoespirometría; conocer de antemano los valores predictivos permite hacer un pronóstico y valoración de los resultados al finalizar el examen.

Establecer un sistema de ECG inalámbrico para favorecer a la calidad de adquisición de la señal eléctrica del corazón, minimizar el ruido de señal, artefactos de movimiento y dificultad que tiene el paciente para moverse con las conexiones en sistemas cableados convencionales.

Recomendaciones

Con respecto a la mejora del diagnóstico recomendamos mantener un control sobre las estadísticas y estar atentos un control del mantenimiento para evitar resultados mermados por obsolescencia de los componentes.

Con respecto al equipo de ergometría, muchas veces se tienen pacientes de alto riesgo que no pueden realizar el ejercicio de caminar y mucho menos correr por lo que se recomienda también la implementación de ergómetro tipo bicicleta de pies o de manos y/ mesa basculante en caso el paciente no pueda realizar movimiento alguno.

En alusión a la electrocardiografía inalámbrica se recomienda tener no mas de 2 o 3 dispositivos Wifi o bluetooth a menos de 5 metros del instrumento para evitar interferencia electromagnética.

El sistema puede ser mejorado con instrumentación adicional para medir la saturación de oxígeno en la sangre (SPO2) y la presión arterial no invasiva por método auscultatorio.

Se recomienda dada, la utilidad del equipo ha sido comprobada y avalada por los especialistas y en el caso de la ciudad de Arequipa ha despertado el interés de implementar el sistema en el Hospital Nacional Carlos Alberto Seguin Escobedo, y se está evaluando la implementación de 2 sistemas para la región por lo que se recomienda replicar el sistema y normalizar su uso.

Las recomendaciones para el usuario final es mantener un programa de mantenimiento anual y cambia de kit de mantenimiento cada 2 años.

Referencias

- Antuna Duarte, P. (2015). *Guía de procedimientos para la elaboración y presentación del proyecto de investigación de tesis*. Juárez, Durango: Editorial de la Universidad.
- Bernal, C. A. (2010). *Metodología de la investigación*. Bogotá D.C., Colombia: Pearson Education.
- Blog.Tecnomed. (2018). *Blog Tecnomed 2000*. Obtenido de <http://blog.tecnomed2000.com/>:
<http://blog.tecnomed2000.com/2018/07/05/prueba-de-esfuerzo-que-es-y-para-que-sirve-una-ergoespirometria/>
- Bojacá Alba, S. C., & Tengono Céspedes, D. A. (2018). Tesis. *Diseño de la metodología para el desarrollo de los procesos gerenciales de la empresa consultoría e imagen sas, gestión de los interesados, gestión del alcance y gestión de integración de proyectos, estructurado desde la guía PMBOK*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Obtenido de https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22459/1/METODOLOGIA%20BASADA%20EN%20PMBOK_PROYECTO-%20ESPECZ_SILVIA%20BOJACA_DIEGO%20TENGONO.pdf
- BTL. (Enero de 2020). www.btlnet.es. Obtenido de <https://www.btlnet.es/productos-cardiologia-btl-cardiopoint-cpet>
- BTL Industries Limited. (3 de Septiembre de 2019). Manual Usuario Cardiopoint Ergo. Hertfordshire, Reino Unido.
- Cajal Flores, A. (14 de Julio de 2019). <https://www.lifeder.com>. Recuperado el 20 de Febrero de 2021, de <https://www.lifeder.com/fundamento-teorico/>.
- Cid-Juárez Silvia, M.-R. J.-T.-R.-R.-C. (08 de 10 de 2015). <http://www.scielo.org.mx>. Obtenido de Librería Electrónica Scielo:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0028-37462015000300008&lng=es.
- Colomé, D. G. (2018). *Metodología de investigación para cursos de posgrado en ingeniería*. San Juan, Argentina: Ediciones Plaza.
- Cosmed. (2018). www.Cosmed.com. Obtenido de <https://www.cosmed.com/en/products/cardio-pulmonary-exercise-testing/k5>
- Dávila Becerril, A. J. (Diciembre de 2012). La Guía PMBOK. (U. A. Mexico, Ed.) Mexico D.F., Mexico. Obtenido de <https://uacm123.weebly.com/1-gestioacuten-del-alcance-del-proyecto.html>
- Enciclopedia de Ejemplos. (2019). <https://www.ejemplos.co>. Obtenido de <https://www.ejemplos.co/7-ejemplos-de-justificacion-de-trabajo-o-investigacion/>
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez-Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la investigación (4ta ed.)*. Mexico: McGraw-Hill Interamericana.
- Ilarraza-Lomeli, H. (Junio de 2012). Prueba de ejercicio con análisis de gases espirados. *Archivos de cardiología de México*, 160 - 169. Recuperado el 12 de Enero de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-99402012000200013&lng=es&tlng=es
- Lara Vargas, J. I.-L. (18 de 05 de 2015). Utilidad pronóstica de la prueba de esfuerzo en la estratificación de riesgo de pacientes con insuficiencia cardiaca. *Archivos de cardiología de México*, 85(3), 201-206.
- Llahí, N., & Pardell, X. (15 de Enero de 2021). <https://www.pardell.es/>. Recuperado el 10 de Febrero de 2021, de <https://www.pardell.es/curso-electrocardio-grafos.html>
- Mayo, C. (s.f.). <https://www.mayoclinic.org/>. Obtenido de <https://www.mayoclinic.org/es-es/tests-procedures/spirometry/about/pac-20385201>

- Piston Medical. (2017). Manual CPET. *Manual de usuario*. Budapest, Hungría.
- Pita Fernández, S. y. (2002). *Investigación cuantitativa y cualitativa*. La Coruña: Unidad de Epidemiología Clínica Juan Canalejo.
- Plaza Moreno, E. (2020 de Diciembre de 2020). <https://www.urgenciasyemergen.com/>. Recuperado el 10 de Febrero de 2021, de https://www.urgenciasyemergen.com/derivaciones-del-electrocardiograma-iii_4/
- Project Management Institute. (2017). *Guía de los fundamentos para la dirección*. Pennsylvania: Estados Unidos.
- Raffino, M. E. (26 de Octubre de 2020). <https://concepto.de/>. Recuperado el 24 de Marzo de 2021, de <https://concepto.de/teoria/>
- Real Academia Española. (2014). Diccionario de la Lengua Española. (R. A. Española, Ed.) Madrid, España. Recuperado el Febrero de 2021, de <https://dle.rae.es/erg%C3%B3metro>
- Rodriguez, D. M. (s.f.). *Fundacion Española del Corazon*. Obtenido de <s://fundaciondelcorazon.com: s://fundaciondelcorazon.com/informacion-para-pacientes/metodos-diagnosticos/electrocardiograma.html>
- Rosa, E. G. (1996). *El proyecto de investigación*. Caracas: Juego de Ciencias.
- Sociedad Interamericana de Cardiología. (2015). <http://www.siacardio.com/>. Obtenido de <http://www.siacardio.com/educacion/cursos-siac/electrocardiografia/>: <http://www.siacardio.com/wp-content/uploads/2015/01/ECG-Capitulo-10-Errores-y-artefactos-comunes-en-ECG.pdf>
- Tafur, R. (2008). *Tesis Universitaria*. Lima, Peru: Editorial Montero.
- Taquete SR, M. M. (Junio de 2016). <https://www.scielo.br/>. Obtenido de https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-73312016000200417&lng=pt&tlng=pt
- Teledyne Analytical instruments. (2008). UFO - 130. California, Estados Unidos de America.
- Valdes, a. (2016). Utilidad de la Ergoespirometría en el diagnóstico y evaluación de las enfermedades cardiovasculares. *Revista Cubana de Cardiología y cirugía cardiovascular, 2016*, http://www.revcardiologia.sld.cu/index.php/revcardiologia/article/view/631/html_33.
- Valle, D. A. (2010). <https://fundaciondelcorazon.com/>. Obtenido de <https://fundaciondelcorazon.com/informacion-para-pacientes/metodos-diagnosticos/ergometria.html>
- Wuhan Cubics Electronic. (16 de Diciembre de 2014). Infra red carbon oxide gas detector user manual. Wuhan, China.