



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

Estado: No vigente

**“Diseño e implementación de un prototipo IoMT para el seguimiento de la capacidad inspiratoria de pacientes durante neumonía en la rehabilitación respiratoria en el centro de terapia física – Fisiostar de la ciudad de Tulcán”**

**Trabajo de Titulación para optar al título de:  
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**

**Autor:**

**Chiles Huera Ruber Alexis**

**Tutor:**

**Dr. Marlon Basantes Valverde, PhD.**

**Riobamba Ecuador**

**2023**

## DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, **Ruber Alexis Chiles Huera**, con cédula de ciudadanía **0401859236**, autor del trabajo de investigación titulado: **“Diseño e implementación de un prototipo IoMT para el seguimiento de la capacidad inspiratoria de pacientes durante neumonía en la rehabilitación respiratoria en el centro de terapia física – Fisiostar de la ciudad de Tulcán”**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor de la obra referida será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 1 de noviembre del 2023.



Ruber Alexis Chiles Huera  
C.I: 0401859236

**DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL;**

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO IOMT PARA EL SEGUIMIENTO DE LA CAPACIDAD INSPIRATORIA DE PACIENTES DURANTE NEUMONÍA EN LA REHABILITACIÓN RESPIRATORIA EN EL CENTRO DE TERAPIA FÍSICA – FISIOSTAR DE LA CIUDAD DE TULCÁN**, presentado por RUBER ALEXIS CHILES HUERA, con cédula de identidad número 040185923-6, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 01 noviembre de 2023.

Mgs. Deysi Vilma Inca Balseca  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



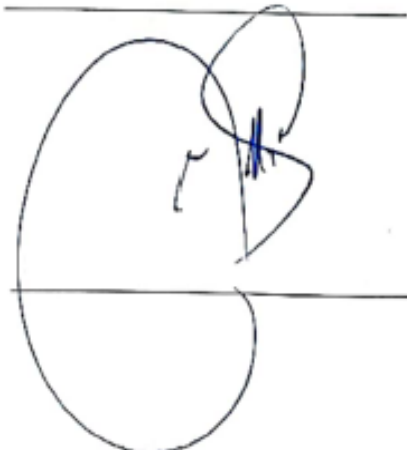
Leonardo Fabian Rentería Bustamante, PhD.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Manuel Antonio Meneses Freire PhD.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Dr. Marlon Danilo Basantes Valverde PhD.  
**TUTOR**



## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL


Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO IOMT PARA EL SEGUIMIENTO DE LA CAPACIDAD INSPIRATORIA DE PACIENTES DURANTE NEUMONÍA EN LA REHABILITACIÓN RESPIRATORIA EN EL CENTRO DE TERAPIA FÍSICA – FISIOSTAR DE LA CIUDAD DE TULCÁN**, presentado por RUBER ALEXIS CHILES HUERA, con cédula de identidad número 040185923-6, bajo la tutoría de Dr. Marlon Danilo Basantes Valverde PhD; certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 01 de noviembre de 2023

Mgs. Deysi Vilma Inca Balseca  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**

  
Firma

Leonardo Fabian Rentería Bustamante PhD.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**

  
Firma

Manuel Antonio Meneses Freire PhD.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**

  
Firma



Dirección  
Académica  
VICERRECTORADO ACADÉMICO

*en movimiento*



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD  
UNACH-RGF-01-04-02.20  
VERSIÓN 02: 06-09-2021

## CERTIFICACIÓN

Que, RUBER ALEXIS CHILES HUERA con CC: 040185923-6, estudiante de la Carrera **ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES, NO VIGENTE**, Facultad de INGENIERÍA; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado " **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO IOMT PARA EL SEGUIMIENTO DE LA CAPACIDAD INSPIRATORIA DE PACIENTES DURANTE NEUMONÍA EN LA REHABILITACIÓN RESPIRATORIA EN EL CENTRO DE TERAPIA FÍSICA – FISIOSTAR DE LA CIUDAD DE TULCÁN**", cumple con el 1 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 27 de Octubre de 2023

Dr. Marlon Danilo Basantes Valverde PhD.  
TUTOR TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

## **DEDICATORIA**

A mis amados padres, Héctor Chiles y María Huera, y a mi querida hermana, Katherinne Chiles.

Este logro no solo representa el resultado de mis esfuerzos individuales, sino también el reflejo de su amor incondicional, paciencia y apoyo constante a lo largo de mi travesía académica. Las palabras alentadoras, sacrificios y guía han sido la luz que iluminó mi camino, convirtiendo los desafíos en oportunidades y los sueños en realidades.

A ustedes, mis pilares fundamentales, dedico este trabajo con profundo agradecimiento y amor. Cada página lleva impreso el impacto de su presencia en mi vida, y cada logro alcanzado es un tributo a la familia que me ha brindado un sólido cimiento.

A través de este esfuerzo compartido, celebro no solo mi éxito, sino también la fortaleza y el amor que hemos cultivado como familia. Que esta tesis sirva como testimonio de nuestra unión, de los valores que compartimos y del camino que hemos recorrido juntos.

Con gratitud eterna,

***Ruber Alexis Chiles Huera***

## **AGRADECIMIENTO**

Quisiera expresar mi profundo agradecimiento a las personas que han sido fundamentales en la realización de este trabajo académico. En primer lugar, quiero agradecer a mis padres, Héctor Chiles y María Huera, por su inquebrantable apoyo, aliento y sacrificio a lo largo de esta travesía. Su amor y dedicación han sido la fuerza impulsora que me ha llevado a alcanzar este logro.

A mi querida hermana, Katherinne Chiles, le agradezco por su constante inspiración, comprensión y motivación. Su presencia ha iluminado mi camino y ha hecho que cada desafío sea más llevadero.

Mi gratitud al PhD. Marlon Basantes Valverde y a la Ing. Daysi Inca Balseca por su orientación experta y valiosos aportes que han enriquecido este trabajo de investigación

A todos aquellos que de alguna manera han contribuido a este proyecto, ya sea con sus conocimientos, tiempo o estímulo emocional, les estoy sinceramente agradecido. Este logro no hubiera sido posible sin su generosidad y colaboración. Este trabajo está dedicado a quienes han sido mis pilares fundamentales, y a quienes comparten conmigo la alegría de este logro.

¡Gracias!

*Ruber Alexis Chiles Huera*

# ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN

ABSTRACT

**CAPÍTULO I..... 15**

**1. INTRODUCCION..... 15**

1.1. Antecedentes..... 16

1.2. Planteamiento del Problema..... 17

1.3. Justificación ..... 19

1.4. Objetivos..... 20

1.4.1. General..... 20

1.4.2. Específicos..... 20

**CAPÍTULO II ..... 21**

**2. MARCO TEÓRICO..... 21**

2.1. Estado del arte..... 21

2.2. Espirómetros: Definición y Funciones..... 21

2.2.1. ¿Qué es un espirómetro?..... 21

2.2.2. Importancia y aplicaciones médicas de los espirómetros..... 22

2.2.3. Tipos de pruebas espirométricas..... 22

2.2.4. Tipos de espirómetros ..... 23

2.2.5. Funcionamiento del espirómetro volumétrico..... 23

2.3. Visión Artificial ..... 24



2.3.1.	Concepto.....	24
2.3.2.	Principios básicos de la visión artificial .....	24
2.3.3.	Aplicaciones de la visión artificial en el ámbito médico .....	25
2.4.	Sistemas de Bases de Datos .....	27
2.4.1.	¿Qué es una base de datos? Conceptos básicos.....	27
2.4.2.	Diferencias entre bases de datos locales y en línea .....	27
2.4.3.	Introducción a MySQL: características y ventajas .....	28
2.5.	Desarrollo Web y Plataformas en la Nube .....	29
2.6.	Integración de Tecnologías en Salud .....	33
2.6.1.	La importancia de la digitalización en el sector salud .....	34
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>35</b>
<b>3. METODOLOGIA .....</b>		<b>35</b>
3.1.	Tipo de Investigación .....	35
3.2.	Diseño de Investigación.....	35
3.3.	Modalidad de la Investigación.....	35
3.3.1.	Investigación bibliográfica.....	35
3.3.2.	Investigación de campo.....	36
3.3.3.	Investigación experimental .....	36
3.4.	Técnicas de recolección de Datos.....	36
3.5.	Población.....	36
3.6.	Muestra.....	37
3.6.1.	El nivel de confianza .....	37
3.6.2.	Estimación de la proporción.....	37
3.6.3.	Margen de Error.....	37
3.6.4.	Cálculo del Tamaño de la muestra.....	37
3.7.	Hipótesis y variables.....	38
3.7.1.	Hipótesis Nula (Ho).....	38
3.7.2.	Variable dependiente .....	38
3.7.3.	Variable independiente .....	38
3.8.	Operacionalización de variables .....	39
<b>CAPÍTULO IV.....</b>		<b>52</b>
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>		<b>52</b>

4.1. Análisis e interpretación de los datos recolectados.....	53
4.1.1.Datos en milisegundos (ms) con dispositivo automatizado del Paciente A. .....	53
4.1.2.Datos en milisegundos (ms) con dispositivo no automatizado del Paciente A .....	56
4.2. Gráfica y tendencias de la distribución de los datos: histogramas de frecuencia .....	56
4.2.1. Dispositivo automatizado.....	56
4.2.2. Dispositivo no automatizado.....	57
4.3. Gráfica y tendencias de la distribución de los datos con diagramas de caja con dispositivo automatizado.....	58
4.4. Gráfica y tendencias de la distribución de los datos con diagramas de caja con dispositivo no automatizado.....	60
4.5. Test de normalidad.....	61
4.5.1. Test de normalidad de los datos de tiempo dispositivo automatizado .....	61
4.5.2. Test de normalidad de los datos de tiempo dispositivo no automatizado .....	61
4.6. Datos del Paciente A. Volumen de inspiración en (ml).....	62
4.6.1. Variación del volumen promedio de inspiración paciente con dispositivo automatizado .....	62
4.6.2. Variación del volumen promedio de aspiración paciente a dispositivo no automatizado .....	62
4.7. Prueba de hipótesis.....	63
4.7.1. Primera parte.....	64
4.7.2. Segunda parte .....	64
4.7.3. Tercera parte .....	65
4.8. Control de calidad y estudio de la métrica $6\sigma$ (Software R con RComander) .....	66
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>68</b>
<b>5. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>68</b>
5.1. Conclusiones.....	68
5.1.1. Conclusiones Generales.....	68
5.1.2. Conclusiones específicas.....	68
5.2. Recomendaciones.....	69

<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	71
<b>ANEXOS</b> .....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Operalización de variables .....	39
<b>Tabla 2</b> Implementación de la capa dispositivo .....	45
<b>Tabla 3</b> Análisis descriptivo del tiempo de la primera toma de la mañana .....	53
<b>Tabla 4</b> Análisis descriptivo del tiempo de la segunda toma de la mañana.....	54
<b>Tabla 5</b> Análisis descriptivo del tiempo de la tercera toma de la mañana.....	54
<b>Tabla 6</b> Análisis descriptivo del tiempo de la primera toma de la tarde.....	54
<b>Tabla 7</b> Análisis descriptivo del tiempo de la segunda toma de la tarde.....	54
<b>Tabla 8</b> Análisis descriptivo del tiempo de la tercera toma de la tarde.....	54
<b>Tabla 9</b> Análisis descriptivo del tiempo de la primera toma de la noche .....	55
<b>Tabla 10</b> Análisis descriptivo del tiempo de la segunda toma de la noche.....	55
<b>Tabla 11</b> Análisis descriptivo del tiempo de la tercera toma de la noche.....	55
<b>Tabla 12</b> Análisis descriptivo del tiempo promedio del dispositivo automatizado.....	55
<b>Tabla 13</b> Análisis descriptivo del tiempo promedio del dispositivo no automatizado .....	56
<b>Tabla 14</b> Diagramas de caja .....	60
<b>Tabla 15</b> Shapiro-Wilk normality test.....	61
<b>Tabla 16</b> Shapiro-Wilk normality test.....	61
<b>Tabla 17</b> Descriptivos.....	62
<b>Tabla 19</b> Variación en la toma de los datos dispositivo automatizado.....	63
<b>Tabla 20</b> Descriptivos .....	63
<b>Tabla 21</b> Variación en la toma de los datos dispositivo no automatizado.....	63
<b>Tabla 22</b> Descriptivos .....	63
<b>Tabla 23</b> Wilcoxon signed rank test with continuity correction.....	64
<b>Tabla 24</b> Wilcoxon signed rank test with continuity correction.....	65
<b>Tabla 25</b> Matriz de correlaciones dispositivo automatizado .....	65
<b>Tabla 26</b> Matriz de correlaciones dispositivo no automatizado .....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS (si aplica)

<b>Figura 1</b> La columna con número de 0 a 10000 del lado izquierdo representa el número de muertes de cada enfermedad durante el 2019.....	18
<b>Figura 2</b> Pautas para la utilización del espirómetro.....	23
<b>Figura 3</b> Cámara web HD C270 .....	40
<b>Figura 4</b> Raspberry Pi3 .....	40
<b>Figura 5</b> Pantalla Nextion NX4832T035 011 .....	41
<b>Figura 6</b> Arduino nano.....	42
<b>Figura 7</b> Diseño del prototipo.....	43
<b>Figura 8</b> Prototipo IoMT.....	44
<b>Figura 9</b> Implementación de la arquitectura IoMT.....	45
<b>Figura 10</b> Dispositivos del prototipo IoMT.....	46
<b>Figura 11</b> Red de comunicación del prototipo IoMT .....	47
<b>Figura 12</b> Implementación de la capa plataforma.....	47
<b>Figura 13</b> Proceso capa aplicación.....	48
<b>Figura 14</b> Interfaz principal con el paciente/usuario .....	49
<b>Figura 15</b> Comunicación entre la pantalla Nextion y la Raspberry Pi.....	50
<b>Figura 16</b> Interfaz del especialista .....	50
<b>Figura 17</b> Proceso de control de calidad y productividad.....	51
<b>Figura 18</b> Histograma del tiempo con dispositivo automatizado .....	56
<b>Figura 19</b> Curva de predicción del tratamiento Paciente A con dispositivo automatizado	57
<b>Figura 20</b> Histograma del tiempo con dispositivo no automatizado.....	57
<b>Figura 21</b> Curva de predicción del tratamiento Paciente A con dispositivo automatizado	58
<b>Figura 22</b> Diagrama de caja de la mañana con dispositivo automatizado.....	58
<b>Figura 23</b> Diagrama de caja de la tarde y noche con dispositivo automatizado .....	59
<b>Figura 24</b> Diagrama de caja con dispositivo no automatizado.....	60

## RESUMEN

Este estudio se centra en el desarrollo e implementación de un prototipo de Internet de las Cosas Médicas (IoMT) integrado en un espirómetro. El objetivo principal es medir la capacidad inspiratoria de pacientes diagnosticados con neumonía en el centro de terapia física Fisiostar, ubicado en la ciudad de Tulcán. La metodología utilizada en este proyecto es de carácter experimental, lo que implica la implementación y evaluación práctica del prototipo en el entorno clínico.

El prototipo IoMT tiene como propósito fundamental mejorar la monitorización de la función respiratoria de los pacientes con neumonía. A través de una cámara y conectividad inalámbrica, el espirómetro IoMT permite la recopilación precisa de datos en tiempo real. Este enfoque innovador busca no solo medir la capacidad inspiratoria, sino también contribuir a la toma de decisiones médicas informadas y mejorar la calidad del cuidado proporcionado.

La metodología experimental se traduce en la evaluación directa del prototipo en situaciones prácticas, permitiendo observar cómo su implementación incide en la calidad de vida de los pacientes. Se espera que los resultados demuestren una mejora sustancial en la eficacia del tratamiento y, por ende, en la calidad de vida de los individuos afectados por neumonía.

En resumen, este estudio representa un paso significativo hacia la integración de tecnologías IoMT en la atención médica, con el potencial de impactar positivamente en la gestión clínica de pacientes con neumonía, mejorando su calidad de vida a través de una medición más precisa y continua de la capacidad inspiratoria.

**Palabras claves:** IoMT, datos, pacientes, espirómetro.

## ABSTRACT

The main objective of this research study was to focus on the development and implementation of a prototype of Internet de las Cosas Médicas (IoMT) integrated into a spirometer. The main objective is to measure the inspiratory capacity, through an automated prototype of patients diagnosed with pneumonia in the physical therapy center Fisiostar, located in the city of Tulcán. The methodology used in this project is experimental, which implies the implementation and practical evaluation of the prototype in the clinical environment. The main purpose of the IoMT prototype is to improve the monitoring of respiratory function in patients with pneumonia. Through a camera and wireless connectivity, the IoMT prototype enables accurate real-time data collection. This innovative approach aims not only to measure inspiratory capacity but also to contribute to informed medical decision-making and improve the quality of care provided. The experimental methodology translates into direct evaluation of the prototype in practical situations, allowing us to observe how its implementation impacts patients' quality of life. The results are expected to demonstrate increased patient responsibility in the treatment and thus quality of life of individuals affected by pneumonia. In summary, this study represents a significant step towards the integration of IoMT technologies in healthcare, with the potential to positively impact the clinical management of patients with pneumonia, improving their quality of life through more accurate and continuous measurement of inspiratory capacity.

**Keywords:** IoMT, data, patients, spirometer.



**Reviewed by:**  
Mgs. Marco Antonio Aquino  
ENGLISH PROFESSOR  
C.C. 1753456134

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCION

Internet of Medical Things (IoMT) es un conjunto de dispositivos y aplicaciones conectadas a un sistema de atención médica mediante una red informática en Internet. La telemedicina es la práctica de emplear dispositivos IoMT para monitorear pacientes de forma remota en el hogar. La tecnología médica permite el uso de dispositivos médicos que son capaces de monitorear a los pacientes y enviar sus datos en tiempo real al médico para evaluar su salud e intervenir inmediatamente incluso antes de que se produzca un problema [1].

La neumonía es una inflamación de los pulmones en respuesta a la presencia de microorganismos en las vías aéreas distales y el parénquima. Hay muchos síntomas diferentes que puede presentar la neumonía y, a menudo, pueden ser una combinación de los siguientes: malestar general, fiebre, escalofríos y dificultad para respirar especialmente durante el esfuerzo o las actividades habituales. Para evaluar la presencia de neumonía, es probable que el médico ordene una radiografía de tórax y pueda determinar si los niveles de oxígeno son bajos mediante oximetría o gases en sangre, si es necesario [2].

La aplicación de la telemedicina a la práctica clínica diaria es cada vez más frecuente. En el caso concreto de la rehabilitación respiratoria y pulmonar son escasas las pruebas de su posible aplicación; no obstante, desde un punto teórico las potenciales aplicaciones son evidentes [3]. Se ha demostrado que la rehabilitación respiratoria (RR) es eficaz en el tratamiento de afecciones respiratorias distintas de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). Con una sólida base de evidencia y recomendación, la RR es una intervención que mejora significativamente la disnea, la capacidad de ejercicio y la calidad de vida relacionada con la salud. En los últimos años se ha demostrado que la RR se puede realizar tanto en el ámbito hospitalario como en el domicilio de los pacientes, incluso mediante el uso de sistemas de telemedicina [4].

Es notable la falta de plataformas digitales que facilitan el acceso a programas de rehabilitación física pulmonar de forma remota que permitan el acceso a este tipo de recursos como una alternativa temporal, en un tiempo estructurado, responsable y personalizado en base a recomendaciones del médico. En el presente trabajo propone desarrollar un prototipo IoMT en un espirómetro incentivador volumétrico que permite medir la capacidad inspiratoria en pacientes con neumonía, el cual se va a someter a pruebas de fiabilidad para comprobar su funcionamiento y en el futuro poder utilizarlo en pacientes con neumonía en el centro de terapia física – Fisiostar de la ciudad de Tulcán.

El desarrollo del prototipo favorece tanto al paciente como al especialista; al paciente le facilita el acceso al tratamiento sobre todo si existe una movilidad reducida o si vive en zonas rurales de difícil acceso. Y al especialista le permite llevar un seguimiento de la capacidad inspiratoria del paciente desde cualquier lugar; que tenga acceso a internet, en el caso de no tener acceso, los datos que genera el paciente mediante el prototipo IoMT que trabaja en

conjunto con el espirómetro incentivador volumétrico, se guardarán en una tarjeta microSD extraíble de la Raspberry Pi. La sociedad actual necesita un enfoque interdisciplinario para hacer de la tecnología no sólo un recurso que apoye la comunicación y la conexión entre las personas, sino también un recurso que proporcione acceso a servicios de forma segura, sencilla y confiable. También permite eximir a los especialistas de la responsabilidad del tratamiento si el paciente no cumple las condiciones para utilizar el prototipo.

### **1.1. Antecedentes**

La neumonía implica la inflamación aguda del tejido pulmonar; que afecta uno o ambos pulmones, es causada por muchos microorganismos como gérmenes, bacterias, virus u hongos. También puede desarrollarse como resultado de la inhalación de líquidos o productos químicos. El diagnóstico de neumonía suele requerir una radiografía de tórax, examen físico y, una vez diagnosticado, el tratamiento debe comenzar lo antes posible. En los casos más leves no se requiere hospitalización, pero en casos más graves, la hospitalización puede ser necesaria debido al estado del paciente. El riesgo de desarrollar neumonía también aumenta si tiene una enfermedad crónica o prolongada como asma, enfermedad cardíaca, cáncer o diabetes [5].

La espirometría es una prueba de función pulmonar que mide el volumen y el flujo respiratorio de un paciente, es decir, la capacidad de recolectar aire en los pulmones y la capacidad de moverlo. La espirometría es una prueba rápida y no invasiva que permite el diagnóstico y seguimiento de enfermedades respiratorias. Los resultados normales de la espirometría varían de persona a persona. Se basan en la edad, la altura, la raza y el sexo. Antes de la prueba, el médico calculará el valor normal esperado. Después de completar la prueba, analizarán sus resultados y los compararán con el valor previsto. Los resultados se consideran normales si alcanzan el 80% o más del valor previsto [6].

La telemedicina se considera uno de los avances tecnológicos, culturales y sociales más importantes en el campo de la atención sanitaria porque aumenta el acceso a los servicios sanitarios y al mismo tiempo mejora la calidad de la atención y la eficacia organizativa. La dedicación de la telemedicina a ofrecer soluciones a los problemas que los cambios socioeconómicos plantean a los sistemas sanitarios del siglo XXI (demanda de asistencia sanitaria, envejecimiento de la población, aumento de la movilidad de los ciudadanos, necesidad de gestionar grandes cantidades de información, competitividad global y prestación de una mejor asistencia sanitaria), y todo ello en un entorno de restricciones financieras y contención de costes [7].

Un equipo interdisciplinario que incluye médicos, fisioterapeutas, terapeutas respiratorios, enfermeras, psicólogos, especialistas en conducta, fisiólogos del ejercicio, nutricionistas, terapeutas ocupacionales y trabajadores sociales implementa la rehabilitación pulmonar. Sobre la base de evaluaciones iniciales y continuas de las necesidades del paciente, incluida la gravedad, la complejidad y las comorbilidades de la enfermedad, las intervenciones deben adaptarse a las necesidades de cada paciente [8].



El IoMT ha provocado un cambio revolucionario al facilitar el manejo de enfermedades, mejorar los enfoques de diagnóstico, tratamiento de enfermedades, reducción de costos y errores de atención médica. La calidad de la atención sanitaria tanto para los pacientes como para el personal médico de primera línea ha mejorado significativamente como resultado de este cambio. El IoMT es una colección en red de equipos y software médicos; muchos proveedores de atención médica están utilizando las últimas tendencias de TI, como la virtualización, la nube, la movilidad y el análisis de big data, para establecer las bases para la próxima generación. La mayoría de los proveedores están pensando detenidamente en cómo las redes, pueden facilitar la movilidad de los cuidadores, conectar el ecosistema de médicos, pacientes y dispositivos médicos, ofrecer una plataforma escalable para nuevos modelos de atención y, en última instancia, proteger los datos de los pacientes [9].

En estudios que analizan la calidad de las espirometrías realizadas tanto en atención primaria como en medicina pulmonar se ha observado con frecuencia una mala conservación de las pruebas y transmisión de datos entre algunos niveles de atención (con mayor frecuencia, la ausencia de curvas espirométricas para comprobar su validez, pero también registros en papel que acaban perdiéndose con el tiempo o de los que no queda ningún registro). La espirometría siempre debe guardarse íntegra, incluyendo las curvas espirométricas (para poder comprobar su validez), la información personal del paciente, sus valores pre y post broncodilatación y sus datos personales [10].

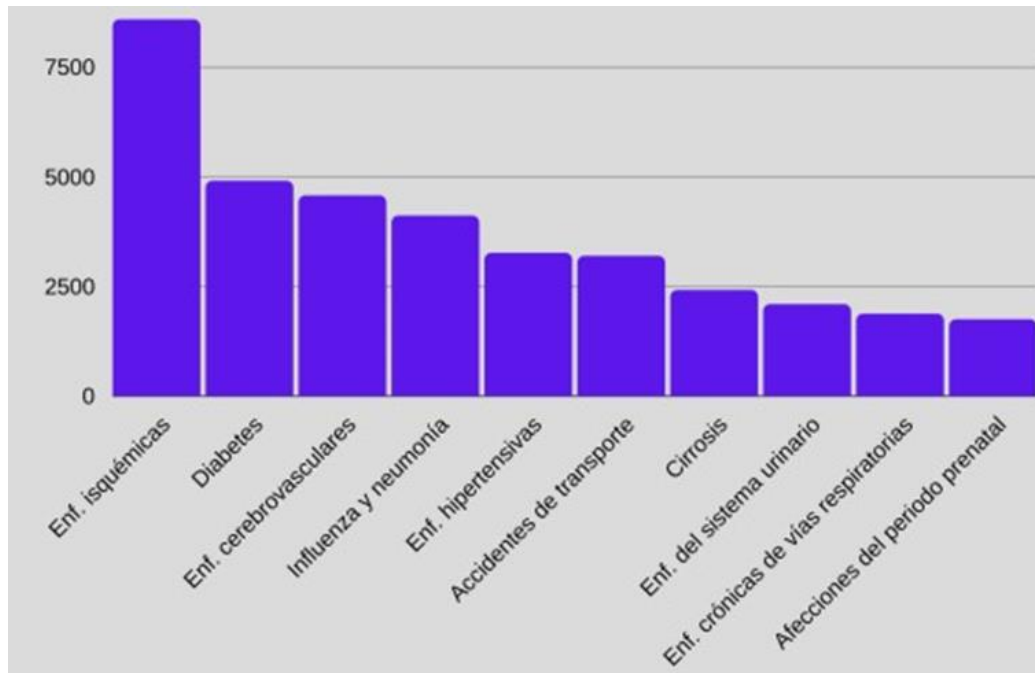
Debido a que la información del cuadrante de Miller es redundante con el resto de los datos, es el único componente que se puede ignorar. Asimismo, cuando estos datos se envíen de un servicio sanitario a otro (de Neumología a Atención Primaria, o viceversa; o entre asistencia privada y pública, etc. (es decir, nunca deben omitir ninguna información), siempre deberán enviarse de la misma manera, los resultados de las pruebas. La espirometría se está incluyendo ahora en la historia clínica informatizada como un documento más que se puede guardar, conservar en formato digital sin deterioro y acceder desde cualquier ordenador conectado a la misma red gracias a los últimos avances en este campo. Esto apoya los estudios de revisión, así como el seguimiento de enfermedades crónicas a largo plazo [11].

## **1.2. Planteamiento del Problema**

La inteligencia artificial y el aprendizaje automático serán sin duda, una posible solución inmediata en el consumo y procesamiento del conjunto de datos que eventualmente podrán extraerse de cualquier tipo de tratamiento médico automatizado, al igual que las innovadoras técnicas de administración de infraestructura, como la informática de borde y las soluciones de visibilidad de la red. Considerando que el objetivo de la tecnología es satisfacer las necesidades humanas y facilitar el desarrollo de cualquier actividad usando los recursos disponibles, los IoMT permitirán un mejor procesamiento de datos, para generar casos de estudio a los sistemas de prevención y tratamientos de enfermedades [12].

Para el año 2019 el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos – INEC, estableció las 10 principales causas de muerte en los ecuatorianos, como se puede evidenciar en la (Figura 1)

con una gran incidencia de la neumonía en el país, siendo muy necesaria una rehabilitación respiratoria y pulmonar [13].



**Figura 1** La columna con número de 0 a 10000 del lado izquierdo representa el número de muertes de cada enfermedad durante el 2019.

**Fuente:** [13].

La neumonía, en este contexto, es una infección del tejido pulmonar que provoca la proliferación de fluidos y mediadores inflamatorios en el tejido pulmonar y alveolar: esto impide el funcionamiento normal de los pulmones, siendo una de las principales causas de hospitalización y muerte de los pacientes. La valoración y atención de los pacientes con patologías respiratorias tanto agudas como crónicas es responsabilidad de la especialidad de fisioterapia conocida como fisioterapia respiratoria

Para conseguirlo se aplican diversas técnicas cuyo objetivo general es mantener y mejorar la función respiratoria, la oxigenación, la función de los músculos respiratorios, la disnea (o sensación de ahogo al respirar) o la tolerancia al ejercicio. Para mejorar la calidad de vida de los pacientes se centra en ayudarlos a adaptarse mejor a las actividades diarias de su vida a pesar de tener o haber tenido una patología del sistema respiratorio. Está demostrado que el esfuerzo del fisioterapeuta especializado en fisioterapia respiratoria permite disminuir la estancia en esta unidad minimizando las complicaciones y acelerando la recuperación muscular y funcional [14].

Actualmente la sociedad exige un enfoque multidisciplinario, lo que permite a la tecnología no ser únicamente un recurso que facilita la conexión y comunicación entre personas sino también un recurso que provea el acceso a servicios de forma segura, fácil y confiable. Por esta razón, al especialista le permitirá llevar un control de las mediciones de la capacidad inspiratoria del paciente desde cualquier lugar que tenga acceso a internet; en el caso de

no disponer del servicio, los datos que genera el paciente mediante el espirómetro basado en el IoMT; se guardarán en un registro físicamente extraíble.

En el Centro de Terapia Física – Fisiostar de la ciudad de Tulcán, basado en el conocimiento y registros de los fisioterapeutas. Se ha podido establecer que los ejercicios de espirometría, que un paciente debe realizar en su hogar, no tienen la rigurosidad esperada. El paciente, en casi todos los casos, carece de disciplina; y el cumplimiento en el número de repeticiones no se da. Por lo cual, el resultado del tratamiento es mediocre y casi siempre culmina en la ingesta de medicamentos; esto conlleva, inevitablemente, a un mayor tiempo para su recuperación lo que implica además gastos no planificados.

Implementar un prototipo automático en Fisiostar para medir la capacidad inspiratoria de los pacientes que lleve a cabo un control de datos para el seguimiento del tratamiento es necesario. Entre las principales ventajas para el paciente se tienen: automatización del seguimiento y control de la terapia; tecnología no invasiva; disminución radical en la ingesta de fármacos; seguimiento y predicciones del tratamiento; fiabilidad y calidad en la recolección, almacenamiento y análisis de los datos [15].

### **1.3. Justificación**

La neumonía puede impedir que el oxígeno llegue de forma normal al torrente sanguíneo, provocando que la persona sienta ahogo; los niveles bajos de oxígeno son potencialmente mortales. Para ayudar a los pacientes con neumonía a recuperarse de manera efectiva se trabajará de forma integral en fortalecer la capacidad pulmonar mediante terapias. Las sesiones de ejercicio son supervisadas por personal de rehabilitación pulmonar que prepara un programa de ejercicio personalizado [16].

A partir del uso de tecnologías conectadas, la implementación de IoT facilita un análisis personalizado y eficiente ofrecido por la combinación de sensores, redes de datos, metodologías de análisis y algoritmos de inteligencia artificial. Los datos recopilados se transmiten a través de tecnologías de comunicación estándar o específico, al personal médico dispuesto para el diagnóstico y de control de la salud de los pacientes. El desarrollo de un estándar de calidad basado en la experiencia del paciente puede ser un elemento que contribuya a impulsar el cambio en esta dirección. Este prototipo estará diseñado especialmente para aquellos pacientes que no pueden acceder a la atención en instituciones privadas, ya que permite tomar los datos desde la comodidad de su casa; para facilitar la reintegración a las actividades diarias [17].

La espirometría es la prueba de función respiratoria más estandarizada y conocida. Evalúa las propiedades mecánicas del sistema respiratorio y es el estándar para identificar obstrucción al flujo aéreo. Mide flujos y volúmenes de aire exhalado desde una inspiración máxima; la ejecución de la maniobra es sencilla, rápida y no invasiva. Los parámetros funcionales más útiles que se obtienen con la espirometría son la capacidad vital forzada (FVC), el volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV1) y el cociente FEV1

/FVC. La presente investigación resume los estándares para la realización de la espirometría forzada, adhiriéndose al documento vigente emitido por la Sociedad Americana del Tórax y la Sociedad Respiratoria Europea en el año 2005 [18].

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. General**

Diseñar e implementación de un prototipo IoMT para el seguimiento de la capacidad inspiratoria de pacientes durante neumonía en la rehabilitación respiratoria en el centro de terapia física – Fisiostar de la ciudad de Tulcán”,

### **1.4.2. Específicos**

- Diseñar un prototipo automatizado de un espirómetro comercial basado en la tecnología IoMT y un software para modelación 3D, para que los datos del tratamiento de los pacientes con neumonía, en el centro de terapia física Fisiostar de la ciudad de Tulcán, se puedan almacenar y analizar automáticamente en el proceso.
- Construir el prototipo del espirómetro automatizado, uniendo un espirómetro incentivador volumétrico Coach 2, el modelado 3D y una Raspberry Pi 3 programada en Python, para que el paciente pueda realizar su tratamiento de manera automática.
- Implementar el prototipo del espirómetro volumétrico automatizado, verificando su correcta adaptación mediante pruebas repetidas, para medir la capacidad inspiratoria en los pacientes con neumonía en el centro de terapia física Fisiostar de la ciudad de Tulcán.
- Realizar un análisis comparativo, mediante una prueba de comparación de medias para muestras dependientes, entre el tratamiento de los pacientes con neumonía que utilizarán un espirómetro comercial no automatizado y el tratamiento de los mismos pacientes con neumonía que utilizarán el prototipo de espirómetro automatizado.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Estado del arte

En nuestro país es posible el acceso a diversos equipos de espirometría, gracias a la importación, pero esto implica diversas cuestiones; un alto precio por tratarse de tecnología creada en países desarrollados, gastos de envío e impuestos, los tiempos de entrega, complejo proceso para hacer efectivas las garantías, etc.

La necesidad de crear un dispositivo que pudiera medir el volumen pulmonar surgió del alto costo del equipo médico utilizado para monitorear la capacidad vital pulmonar para prevenir atelectasias en los pacientes. El desarrollo de sistemas de monitorización permite observar la función pulmonar del paciente con un espirómetro, que luego convierte en una señal eléctrica. Para determinar los valores del espirómetro y enviarlos a la computadora, el microcontrolador analiza, acondiciona y procesa la señal de flujo espiratorio que pasa por el espirómetro, donde se encuentra el sensor en base a las mediciones. A través del sitio web se mostrarán los valores de volumen inspiratorio del paciente en tiempo real a través de la interfaz de usuario [19].

Gracias a los avances tecnológicos, los ingenieros ahora utilizan tecnología biomédica. Los planes incluyen un prototipo de espirómetro portátil con una interfaz de usuario intuitiva a través de teléfonos inteligentes Android o el uso de computadores. Mediante el uso del espirómetro se obtiene señales de flujo respiratorio. En comparación con el uso de turbinas tradicionales, este método es más fiable. El prototipo transmite los resultados de la prueba en la nube y en una microSD, resultados que se podrán observar en una página y se pueden compartir fácilmente con un médico calificado para revisar los resultados [20].

La necesidad de crear un dispositivo que pudiera medir el volumen de la capacidad pulmonar surgió del alto costo del equipo médico utilizado para monitorear la capacidad vital pulmonar para prevenir atelectasias en los pacientes. En las gráficas se mostrará los valores del volumen de la capacidad pulmonar del paciente a lo largo del tiempo a través de la interfaz de usuario [19].

#### 2.2. Espirómetros: Definición y Funciones

##### 2.2.1. ¿Qué es un espirómetro?

Un dispositivo médico electrónico que mide los volúmenes y flujos de la inhalación y la exhalación. Para lograr esto, el sujeto de la investigación debe estar conectado a través de un micrófono o interfaz similar y completar una serie de tareas de acuerdo con estándares predeterminados. El software que contiene permite el registro y cálculo de numerosas variables, lo que permite inferir o excluir diversos trastornos respiratorios [21].

### **2.2.2. Importancia y aplicaciones médicas de los espirómetros**

Las enfermedades respiratorias son la causa más común de muerte y discapacidad en todo el mundo. La enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) está considerada como la tercera causa de muerte en todo el mundo; millones de personas mueren de neumonía cada año y la neumonía es la principal causa de muerte en niños menores de 5 años. Los pulmones son los órganos más susceptibles a las infecciones porque están constantemente expuestos a sustancias químicas y agentes infecciosos en el aire.

Por lo tanto, la prevención, el manejo y la promoción de la salud respiratoria deben estar al frente de todo el proceso de toma de decisiones. Se utiliza un dispositivo médico llamado espirómetro para medir el volumen pulmonar y la capacidad vital. El espirómetro fue desarrollado en 1844 por el botánico y taxónomo británico John Hutchinson para establecer una forma sencilla y precisa de detectar enfermedades utilizando el espirómetro. Su investigación fue publicada en 1846 en el artículo "Sobre la capacidad y función respiratoria de los pulmones". [22].

La espirometría se utiliza para controlar la salud pulmonar y diagnosticar enfermedades pulmonares como asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), bronquitis crónica, enfisema, fibrosis pulmonar, neumonía y otras enfermedades relacionadas con la respiración. Este proceso suele tardar sólo unos minutos.

### **2.2.3. Tipos de pruebas espirométricas**

Existen dos versiones de espirometría: simple y forzada. se conoce como espirometría la determinación, mediante un espirómetro o un neumotacógrafo, de los volúmenes pulmonares (espirometría simple) y la rapidez con que estos pueden ser movilizados (flujos respiratorios), (espirometría forzada) [23].

- La espirometría simple es un complemento a la espirometría forzada y ofrece datos de mayor utilidad clínica. La espirometría simple o no forzada pide al paciente que exhale tanto aire como sea capaz después de su inspiración máxima, tomándose el tiempo necesario.
- La espirometría forzada requiere que el paciente expulse todo el aire de sus pulmones con la mayor rapidez y fuerza posible después de respirar profundamente. Una contraindicación para la realización de una espirometría forzada es cualquier situación o situación clínica que impida el ejercicio, empeore el estado clínico del paciente o pueda provocar un deterioro en la calidad de la experiencia de evaluación.

A menudo existen contraindicaciones relativas y absolutas. Las complicaciones después de una espirometría forzada son raras. Los más comunes incluyen: ataques de tos, broncoespasmo, dolor en el pecho y aumento de la presión intracraneal. En raras ocasiones, los pacientes pueden experimentar desmayos o neumotórax [24].

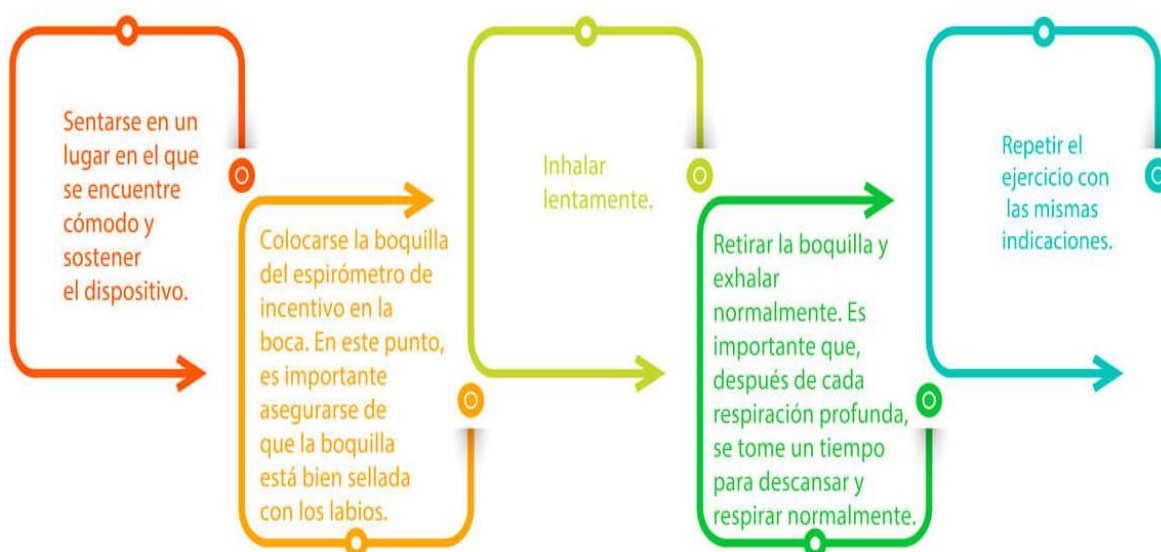
## 2.2.4. Tipos de espirómetros

Básicamente, existen dos tipos de espirómetros: cerrados o volumétricos, y abiertos o por sensor de flujo [25].

- Los espirómetros cerrados o volumétricos se basan en el principio de que al entrar aire en un circuito cerrado se produce un desplazamiento del mecanismo (campana, fuelle, etc.) que se puede registrar en una gráfica, relacionándolo con el tiempo transcurrido, se obtienen así curvas de volumen tiempo. Por lo general, el espirómetro incentivador se puede utilizar al menos diez veces por hora. El fisioterapeuta especificará la frecuencia de uso del espirómetro.
- En los espirómetros abiertos o por sensor de flujo, el paciente respira en un dispositivo abierto en el que hay un cabezal con un sensor que determina el flujo de aire que pasa por él en cada instante. El flujo obtenido puede relacionarse con el tiempo, y mediante integración, que realiza un microprocesador, permite obtener los volúmenes. Así, se pueden representar tanto las curvas de flujo-volumen como las de volumen-tiempo.

## 2.2.5. Funcionamiento del espirómetro volumétrico

El objetivo principal de esta rehabilitación es reducir sus síntomas respiratorios para que pueda vivir una vida más plena y realizar las actividades diarias lo mejor que pueda. A largo plazo, queremos mejorar tu estado de ánimo, mejorar tu rendimiento físico y ampliar tu capacidad pulmonar para reducir las dificultades y complicaciones respiratorias. La actividad de estimulación del volumen varía según el flujo de volumen del paciente (Figura 2). Por lo tanto, nos enfocamos en pacientes con flujo volumétrico bajo y pacientes con flujo volumétrico alto [26].



**Figura 2** Pautas para la utilización del espirómetro  
**Fuente:** [27]

### **2.3. Visión Artificial**

La visión artificial, también conocida como visión por computadora, tiene como objetivo imitar la capacidad de algunos organismos vivos para percibir, comprender y responder adecuadamente a las imágenes. La tecnología de visión artificial es cada vez más necesaria en aplicaciones industriales. Este campo es una tecnología en constante evolución y ha logrado rápidos avances en las últimas décadas, como lo demuestran extensas investigaciones y publicaciones de la comunidad científica.

Constantemente se desarrollan nuevos algoritmos y aplicaciones en este campo; se debe a la abundancia de contenido visual como imágenes y videos que se producen actualmente, las capacidades de procesamiento y almacenamiento de los dispositivos electrónicos y la disponibilidad de herramientas, bibliotecas y lenguajes de programación para este propósito. Una variedad de campos puede beneficiarse de la aplicación de la tecnología de visión por computadora, incluida la biología, la medicina, la seguridad, etc. [28].

Al aplicar algoritmos para visión por computadora a diversas industrias, estos deben construirse con requisitos específicos de robustez, precisión y velocidad de cálculo para abordar las condiciones exclusivas del problema en cuestión. A pesar de que algunos métodos sugeridos producen resultados positivos, todavía no existen suficientes tratamientos genéricos, rentables y seguros para una variedad de dolencias.

#### **2.3.1. Concepto**

La visión artificial o visión por computador es la ciencia y la tecnología que permite a las "máquinas" ver, extraer información de las imágenes digitales, resolver alguna tarea o entender la escena que están visionando. Actualmente, las aplicaciones de la visión artificial están muy extendidas y van desde el campo de la industria (contar botellas, comprobar defectos en una cadena de montaje) y el campo de la medicina (recuento y búsqueda de células), hasta los sistemas más complejos, que permiten a los robots orientarse en un entorno desconocido, pasando por el reconocimiento de patrones de la realidad aumentada, entre otras muchas aplicaciones [29].

El objetivo de la visión por computadora, un subcampo de la inteligencia artificial es crear sistemas informáticos que puedan imitar la visión y la percepción humanas. Estos sistemas analizan, categorizan y sacan conclusiones sobre datos visuales, como imágenes y videos, utilizando algoritmos, sensores y tecnologías de imágenes. Con la ayuda de esta tecnología, las máquinas pueden "ver" e interpretar imágenes y vídeos de una manera similar a la de un humano. Seguridad, robótica, automatización industrial, control de calidad, diagnóstico médico y realidad aumentada son sólo algunas de las industrias que utilizan la visión por computadora [29].

#### **2.3.2. Principios básicos de la visión artificial**



Desde la industria hasta la seguridad, la robótica y la medicina, esta tecnología tiene aplicaciones en una amplia gama de campos. Mediante el uso de estas técnicas, los sistemas de visión artificial pueden, entre otras cosas, reconocer rostros, identificar objetos, analizar movimientos, medir distancias y detectar anomalías [30]. Los siguientes son algunos de los aspectos principales de la visión por computadora:

- **Percepción:** Capacidad de recopilar y analizar datos visuales para darle sentido al entorno y extrapolar información pertinente.
- **Reconocimiento de objetos:** La capacidad de reconocer y categorizar objetos en imágenes y vídeos.
- **Análisis de movimiento:** es el proceso de detectar y seguir cambios en el entorno visual.
- **Aprendizaje automático:** la capacidad de mejorar con el tiempo mediante retroalimentación y aprendizaje automático.
- **Robustez:** La capacidad de funcionar bien en circunstancias desafiantes, como la presencia de ruido en videos o una variedad de condiciones de iluminación.

### 2.3.3. Aplicaciones de la visión artificial en el ámbito médico

La definición de inteligencia sigue siendo un tema de debate, y se vuelve aún más generalizado cuando se utiliza para describir sistemas computacionales o de información. En los seres humanos, generalmente se acepta que la inteligencia es la cualidad que permite a nuestros semejantes comprender el mundo en el que vivimos y aprender a interactuar con nuestros pares; todo esto se hace con el deseo de tener una vida plena y consciente, llena de realización tanto física como emocional. La inteligencia general humana (IH)

es en realidad una cualidad emergente y única compuesta por una colección armoniosamente interconectada de cualidades o competencias particulares que se distinguen fenomenológicamente por ser conscientes y enfocadas en objetivos sensibles y emocionalmente significativos y que, cuando se conocen y conceptualizan como problemas, puede resolverse para alcanzar un estado de homeostasis coherente con la supervivencia de la especie, la calidad de vida y la satisfacción [31].

El estado actual de las ciencias de la salud, y en particular de la medicina, se caracteriza por la creciente importancia de la inteligencia artificial (IA), que prevé el establecimiento de un nuevo modelo de medicina. Junto con los innegables beneficios que proporciona el uso de la IA para el diagnóstico y tratamiento de problemas clínicos complejos, surgen cuestiones éticas que exigen una cuidadosa consideración. Actualmente, la mayor parte de la literatura que analiza los dilemas morales que plantea la aplicación de la IA en medicina [32].

El concepto de salud está cambiando como resultado de los avances tecnológicos y las necesidades de salud están influyendo en el desarrollo tecnológico. La inteligencia artificial (IA) es la capacidad de las máquinas de tomar decisiones para casos particulares basándose en reglas generales utilizando un conjunto de algoritmos lógicos que han sido suficientemente entrenados. Esta tecnología tiene usos en el diagnóstico, seguimiento y evaluación pronóstica de los pacientes. Además, al fusionar la robótica y esta tecnología, podemos construir máquinas inteligentes que puedan ofrecer sugerencias de diagnóstico o realizar sus tareas de manera mucho más efectiva [33].

#### **2.3.4. Herramientas y técnicas más comunes en visión artificial**

A continuación, se describen algunas de las herramientas de visión artificial más utilizadas:

##### **2.3.4.1. Open CV (Open Computer Vision Library)**

Open CV es una biblioteca gratuita desarrollada originalmente por Intel. Fue lanzado en 1999. Aunque fue escrito originalmente en C/C++, su mayor ventaja es que es multiplataforma y puede ejecutarse en diferentes sistemas operativos (Linux, Windows, Mac OS X, Android, iOS). La biblioteca Open CV es una API con aproximadamente 300 funciones y tiene las siguientes características:

- Gratis para uso comercial y no comercial.
- No utiliza bibliotecas numéricas externas, pero puede usar una de ellas en tiempo de ejecución si está disponible.
- Admite la biblioteca de procesamiento Intel® (IPL) y utiliza las primitivas de rendimiento integradas (IPP) Intel® para mejorar el rendimiento si están disponibles en el sistema.
- Hay interfaces para varios otros idiomas y entornos. EiC: intérprete de ANSI-C escrito por Ed Breen. Hawk y CvEnv son entornos interactivos (escritos en MFC y TCL, respectivamente) que utilizan el intérprete EiC. Ch: intérprete ANSI C/C++ creado y soportado por SoftIntegration. Matlab®: un excelente entorno para cálculos numéricos y simbólicos creado por Mathworks, etc. [34].

##### **2.3.4.2. Detección de movimiento**

Fases que debes seguir para crear un algoritmo que pueda detectar movimiento en OpenCV. Este proceso realiza varias tareas.

- Conversión de escala de grises y reducción de ruido.
- Operación de resta entre fondo y primer plano.

- Aplica un umbral a la imagen resultante de la resta.
- Detección de contornos o manchas.

Muy comunes en informática, especialmente en visión por computadora, son los parámetros. Cada parámetro puede tener un rango de valores. El valor correcto depende de muchos factores. Depende de nosotros adaptar cada valor a nuestra situación específica. Existen varias técnicas que se pueden utilizar para estimar qué conjunto de valores dará los mejores resultados. Uno de ellos es el recocido simulado. Esta técnica es bastante compleja y no es el objetivo de este artículo, por lo que no la explicaré. Sin embargo, deberías considerarlos si quieres crear aplicaciones profesionales. Ésta es la única forma de ajustar los parámetros y lograr resultados aceptables [35].

## **2.4. Sistemas de Bases de Datos**

Un conjunto de programas, procedimientos, lenguajes, etc. que proporciona a los distintos usuarios de una base de datos las herramientas necesarias para describir, recuperar y manipular los datos almacenados en la base de datos manteniendo la integridad, la confidencialidad y la seguridad.

### **2.4.1. ¿Qué es una base de datos? Conceptos básicos**

“Una base de datos es un conjunto ordenado y estructurado de datos que representa una realidad objetiva y que están organizados independientemente de las aplicaciones, significa que pueden ser utilizadas y compartidas por usuarios y aplicaciones diferentes” [36].

Una de las partes más importantes de las aplicaciones es una base de datos, que se utiliza para respaldar la persistencia de los datos que los programas necesitan rastrear para responder a los usuarios de la manera correcta. Pueden verse como una aplicación especializada que se utiliza para crear otras aplicaciones con un enfoque orientado al almacenamiento. En la actualidad, las bases de datos se usan tan ampliamente que se pueden encontrar en organizaciones de todos los tamaños, desde grandes corporaciones y agencias gubernamentales, hasta pequeños negocios e incluso en hogares.

### **2.4.2. Diferencias entre bases de datos locales y en línea**

Podemos preguntarnos, cuando necesitamos una base de datos para un proyecto de desarrollo, si seremos los encargados de gestionar los servidores donde se instalarán los sistemas gestores de bases de datos, así como de su administración. La alternativa sería utilizar un servicio en la nube que ofrezca la infraestructura sin que tengamos que instalarla ni gestionarla [37].

- Una base de datos local normalmente será menos costosa porque sólo necesitamos comprar el servidor donde se instalará el sistema de administración de la base de

datos. Sin embargo, seguiremos siendo responsables del mantenimiento de la base de datos, lo que no siempre es sencillo. Además de ser más económicas, las bases de datos que gestionamos nosotros mismos nos pueden aportar más versatilidad porque tendremos más control sobre la configuración y modelo del sistema de gestión [38].

- Por otro lado, las bases de datos en la nube, a las que podemos acceder como servicio, nos dan la opción de alojar nuestros datos sin tener que estar al día con un sistema de gestión. El mantenimiento, disponibilidad, optimización del funcionamiento, etc. de los servidores de bases de datos serán competencia del host. Estas soluciones están diseñadas para proporcionar una implementación rápida, proteger a los desarrolladores de la dificultad del mantenimiento del servidor y proporcionar alta disponibilidad y escalabilidad inmediata.

### 2.4.3. Introducción a MySQL: características y ventajas

Desde hace décadas, MySQL ha dominado el mercado de los sistemas de gestión de bases de datos relacionales. Ahora es una base de datos de nivel empresarial, a pesar de que comenzó como un proyecto con pocas funciones y estaba muy centrado en sistemas pequeños y simples. Actualmente, MariaDB, un fork de MySQL con un fuerte enfoque "Open Source", ha sido creado desde su adquisición por la empresa Oracle [39].

- **Características de MySQL**

Para los desarrolladores, MySQL es muy intrigante debido a algunos beneficios. La más obvia es que utiliza bases de datos relacionales, lo que significa que utiliza numerosas tablas conectadas para almacenar y organizar adecuadamente la información. Debido a que está basado en código abierto, es sencillo de usar y la gran mayoría de programadores que trabajan en desarrollo web han utilizado MySQL en alguno de sus proyectos. Esto se debe a que, además de ser ampliamente utilizado, MySQL también cuenta con una importante comunidad de usuarios que brinda soporte a otros usuarios. Sin embargo, como veremos a continuación [40], estas no son las únicas cualidades:

- **Arquitectura de cliente y servidor:** la arquitectura de cliente y servidor es la base del funcionamiento de MySQL. Para lograr un mejor rendimiento, los clientes y servidores se comunican entre sí de diferentes maneras. Cada cliente puede ejecutar consultas a través del sistema de registro para obtener datos, modificarlos, guardar los cambios o crear nuevas tablas de registro, por ejemplo.
- **Compatibilidad con SQL:** La industria usa SQL con frecuencia. Dado que es un estándar de MySQL, cambiar a MySQL no será un problema si anteriormente trabajó con otro motor de base de datos.
- **Vistas:** Ahora se pueden configurar en MySQL a partir de la versión 5.0 de manera similar a como se hace en otras bases de datos SQL. Las vistas se convierten en una

herramienta vital en grandes bases de datos.

- **Procesos almacenados:** MySQL tiene la característica de no procesar las tablas directamente, sino que a través de procedimientos almacenados es posible aumentar la eficacia de nuestra implementación.
- **Desencadenantes:** También podemos automatizar algunas operaciones de bases de datos usando MySQL. Cuando ocurre un evento, se inicia otro para actualizar registros o mejorar su funcionalidad.
- **Transacciones:** Es una representación de la ejecución de diferentes operaciones en el dispositivo de base de datos. El sistema de base de registros garantiza que todos los procedimientos estén configurados correctamente; protege los datos para mantener la integridad de la base de datos en caso de un corte de energía o problema.

- **Ventajas de usar MySQL**

Una buena opción para usar en un entorno profesional es MySQL. Debido a su base de código abierto, se puede confiar en que las aplicaciones creadas por pequeñas empresas y desarrolladores estarán estandarizadas. Por ejemplo, MySQL ayuda a gestionar de forma adecuada y ordenada una lista de clientes, una tienda online con un catálogo de productos o incluso una gran cantidad de contenido multimedia [41].

## 2.5. Desarrollo Web y Plataformas en la Nube

La computación en la nube incorpora tecnologías de virtualización que se pueden utilizar alquilando infraestructura física a un costo menor que la forma tradicional de diseñar software web. La computación en la nube es un modelo que proporciona acceso conveniente y bajo demanda a recursos informáticos compartidos configurables (por ejemplo, redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios) que se pueden aprovisionar y desmantelar rápidamente con una gestión o esfuerzo mínimos [42].

### 2.5.1. Introducción a la programación en JavaScript y Node.js

Para crear interactividad dinámica en sitios web, JavaScript es un poderoso lenguaje de programación que se puede agregar a un documento HTML; lo creó Brendan Eich, cofundador del proyecto Mozilla. Con JavaScript casi todo es posible; puede comenzar con elementos simples como carruseles, galerías de imágenes, diseños variables y respuestas al presionar botones. A medida que adquiere experiencia, podrá producir juegos, animaciones 2D y 3D y aplicaciones integradas basadas en bases de datos.

El lenguaje principal de JavaScript es bastante pequeño pero muy flexible, y los desarrolladores han creado un montón de herramientas sobre él, desbloqueando un montón de funciones adicionales con poco trabajo [43].

- **Características y ventajas**

Una de las capacidades más importantes de JavaScript es su capacidad para crear la forma en que funciona una aplicación completa, incluido el front-end con el que interactúan los usuarios y el servidor, la base de datos y los back-ends de seguridad. Aprender a programar en JavaScript permite aprovechar una amplia gama de posibilidades en un único lenguaje de programación. Puede crear cualquier cosa, desde sitios web hasta aplicaciones para refrigeradores, incluidos videojuegos. JavaScript también es un lenguaje de programación de alto nivel y es "fácil" de leer y escribir.

Cuanto más alto es el nivel, más se parece al lenguaje humano que al lenguaje de máquina. El hecho de que JavaScript sea un lenguaje muy popular también es un factor importante en el aprendizaje de JavaScript. JavaScript es uno de los lenguajes de programación más solicitados por las empresas. Además, en comparación con el tiempo que lleva aprenderlo, es más valioso que cualquier otro trabajo que una persona pueda realizar en términos de salario. JavaScript es un lenguaje flexible, fácil de aprender y popular [44].

### **2.5.2. Desarrollo de aplicaciones web**

El proceso de desarrollar herramientas que las personas puedan utilizar en línea se conoce como desarrollo de aplicaciones web. Podemos interactuar con funciones que facilitan la comunicación entre el sitio web, sus usuarios y nosotros mismos, o podemos obtener información de este. Este tipo de aplicaciones guardan sus datos en un servidor web o hosting, desde donde se envían a nuestros dispositivos una vez que se han almacenado por completo. Como no es necesario descargar nada para acceder a los sitios web, esta característica los hace increíblemente útiles [45].

Los programas informáticos creados utilizando tecnologías web, incluidos HTML, CSS, JavaScript y PHP, se conocen como aplicaciones web. Esto simplifica a los desarrolladores la creación y gestión de contenido en línea y, al mismo tiempo, permite a los usuarios interactuar con la aplicación a través de un navegador web. Cualquier persona con una conexión a Internet puede compartir archivos, trabajar juntos en proyectos y finalizar tareas utilizando aplicaciones web.

#### **2.5.2.1. Características de una aplicación web**

Es importante tener en cuenta que, si bien hay algunas características que son bastante comunes entre las aplicaciones web, no todas las comparten.

- Al estar alojados en el servidor y ser accesibles desde cualquier navegador, no es necesario descargarlos ni instalarlos en el dispositivo, evitando restricciones de espacio.
- Son muy accesibles y compatibles. Para que puedan funcionar en varios sistemas

operativos y ser accedidos desde cualquier dispositivo con conexión a Internet, los sistemas web deben desarrollarse una vez.

- Actualizarlo y mantenerlo es fácil. Todos los usuarios utilizan la misma versión, por lo que no existe incompatibilidad entre ellos.

### **2.5.2.2. Aplicaciones tecnológicas que están revolucionando la medicina**

Debido a la pandemia, la investigación se ha acelerado y ha sacado a la luz el papel fundamental que juega la tecnología para garantizar la salud de la población, el buen funcionamiento del sistema sanitario y el bienestar general de la sociedad. Además, la industria de la tecnología sanitaria ya sirve como motor económico clave.

### **2.5.2.3. Diagnóstico precoz de enfermedades como el Parkinson o el Alzheimer**

Se ha demostrado que la utilización de tecnología de seguimiento ocular mejora los tiempos de diagnóstico de enfermedades como la demencia, el Parkinson y el Alzheimer hasta en diez años. Esto tiene un impacto positivo significativo en los resultados del tratamiento y la recuperación del paciente. Dado que la sociedad actual es cada vez más vieja, esta aplicación es especialmente crucial ya que plantea un desafío global para la medicina. La neurología puede beneficiarse enormemente del seguimiento ocular. Esta tecnología permite la recopilación diaria de datos neurofisiológicos esenciales de las personas mayores, que pueden ayudar con el diagnóstico, el pronóstico y el seguimiento.

### **2.5.3. Introducción a Heroku**

Heroku es una plataforma como servicio (PaaS) para plataformas digitales que se ejecuta en la nube, construida específicamente dentro de un contenedor virtual en un host compartido confiable con todas las dependencias necesarias. Estos contenedores se denominan dinámicos y los desarrolladores pueden escalar temporalmente una aplicación web simplemente aumentando la cantidad de contenedores o los tipos de contenedores en los que se ejecuta la aplicación. Este servicio cuenta con contenedores virtuales que se encargan de operar y mantener la aplicación. Estos contenedores virtuales pueden crecer a cualquier tamaño según sus necesidades, tanto en cantidad como en rendimiento.

#### **2.5.3.1. Características**

Antes de encontrarnos con Heroku, no es posible apreciar plenamente su profundidad. Al principio sólo se ve la punta del iceberg. No obstante, puedes llamar la atención sobre algunos de sus rasgos más intrigantes o notables.

**Git:** siempre debería ser imprescindible para cualquier proyecto o desarrollo, pero se vuelve aún más importante cuando se usa Heroku. El control de versiones es sólo una característica

de Git. También conecta su desarrollo local a la nube de Heroku. La implementación de aplicaciones en Heroku utiliza los familiares comandos push de Git.

**Dynos:** Los contenedores virtuales que mantienen la funcionalidad de una aplicación se denominan dynos. Hay varios tipos según la velocidad de procesamiento y se pueden utilizar combinaciones de cantidad y tipo. Son totalmente escalables bajo demanda, lo que resulta beneficioso para aplicaciones que tienen una gran demanda en determinados días (como el Black Friday o Navidad). Heroku cobra por segundo de procesamiento, por lo que es importante realizar un seguimiento de cuándo y cuántos dinamómetros están activos.

**CLI:** Heroku proporciona comandos especiales de interfaz de línea de comandos para aquellos que prefieren usar la terminal. Su increíble poder le permite completar rápidamente cualquier tarea realizada a través de la interfaz web.

**Add – ons:** Los complementos son herramientas que amplían una aplicación y no son la aplicación en sí, por lo que se pueden modificar y funcionar de manera efectiva sin el programa principal. Heroku ofrece varios complementos, la mayoría de los cuales son creados por socios u otras empresas. Ganas dinero porque puedes cobrar diferentes precios por artículos nuevos en tu tienda dependiendo de tus opciones de configuración. Es muy similar a Salesforce y AppExchange.

**Buttons:** Componentes, bibliotecas o plantillas de aplicaciones son ejemplos de botones que se pueden implementar con un clic en Heroku incluyen componentes, bibliotecas o plantillas de aplicaciones. Una vez que instales la aplicación Button, podrás personalizarla según tus necesidades. En este caso, el código abierto es relevante (al menos para algunos botones que mencionan explícitamente el código abierto). Esto se debe a que hacer clic en el botón Heroku, por ejemplo, es lo mismo que crear una bifurcación en Github.

### **2.5.3.2. Ventajas de utilizar Heroku en desarrollos web**

Admite muchos lenguajes de programación diferentes, incluidos Java, Python, PHP y Node.js y tiene una gran selección de complementos que aceleran el desarrollo de aplicaciones. Es un sistema sólido que permite el despliegue y operación de aplicaciones

### **2.5.3.3. Integración de Heroku con bases de datos alwaysdata**

Cada servidor de la plataforma Alwaysdata puede admitir una gran cantidad de cuentas, lo que garantiza flexibilidad y escalabilidad. Hay funciones completas disponibles para cada cuenta, incluidos intérpretes, bases de datos, servicios de correo electrónico, copias de seguridad, acceso remoto y una API para la administración de configuraciones. Además, cada cuenta puede alojar varios sitios web, cumpliendo una variedad de requisitos de alojamiento. Alwaysdata fue fundada por ingenieros apasionados por la tecnología e inicialmente investigó varios proyectos antes de convertirse en una plataforma en la nube completa. Los valores fundamentales son:



- Los valores fundamentales de la empresa enfatizan su dedicación a la excelencia técnica, mantenerse a la vanguardia de las nuevas tecnologías y ofrecer un servicio al cliente de primer nivel. La empresa se enorgullece de contar con un personal de soporte atento y eficaz que se mantiene en estrecho contacto con sus clientes. Los clientes pueden navegar y utilizar la plataforma con facilidad gracias a interfaces intuitivas y accesibles, que mejoran la experiencia del usuario.
- Alwaysdata se ha ganado una reputación de excelencia entre los desarrolladores en un período de tiempo relativamente corto, tanto para usuarios individuales como empresariales. Estados Unidos, China, Brasil, Rusia, Polonia y Canadá son sólo algunas de las naciones fuera de Francia donde la comunidad tecnológica global siente este reconocimiento.
- La seguridad y el comportamiento moral son dos cosas que siempre prioriza en todos los aspectos de su negocio. Para encontrar debilidades en su tecnología, la empresa colabora activamente con investigadores de seguridad calificados. Promueve la divulgación ética de fallas de seguridad y ofrece una estructura de colaboración, asegurando que cualquier problema se solucione de inmediato y sea debidamente recompensado. La empresa prohíbe estrictamente las acciones que comprometan datos, redes o infraestructura y mantiene reglas transparentes para garantizar un comportamiento moral dentro de su programa de recompensas.

## **2.6. Integración de Tecnologías en Salud**

El tratamiento humano, eficaz y sostenible se logra mediante la integración de la tecnología y los sistemas de salud. Los principales temas de salud que se debaten actualmente en América Latina se relacionan con la introducción de una atención médica basada en valores y la urgente necesidad de apoyar la innovación disruptiva, especialmente la innovación centrada en el paciente y de la más alta calidad posible. La tecnología digital es un aliado importante en la transición hacia una atención médica basada en valores, ya que siempre hay margen de mejora en los sistemas, servicios y experiencias de los pacientes. Las innovaciones tecnológicas mejoran la seguridad, la calidad, la transparencia y reducen los tiempos de respuesta en el tratamiento de los profesionales sanitarios [46].

Internet de las Cosas, gestión de la información, crecimiento exponencial de los datos, su procesamiento e integración. Estos introducen un nuevo concepto con el término "big data" o big data. La situación de pandemia de COVID-19 ha puesto de relieve el valor de la toma rápida de decisiones en la vida diaria, así como en diversos escenarios de salud, pero la realidad actual ha añadido un contexto adicional. La subutilización de los recursos y datos de la IA es un problema importante para los sistemas tecnológicos [47]. Actualmente, los sistemas de salud enfrentan obstáculos ya que la adopción de innovaciones en la gestión de datos de salud aún es limitada. Es hora de realizar cambios para poder aprovechar los numerosos beneficios de la reorganización del sistema, incluida la optimización de recursos y la reducción del desperdicio. Además de la reducción de costos, la introducción de nuevas

tecnologías aumenta significativamente la calidad y la rentabilidad del sistema. La creación de modelos de atención y prevención de vanguardia con componentes que permiten disolver las normas existentes ha revolucionado la atención sanitaria [48].

### **2.6.1. La importancia de la digitalización en el sector salud**

En el ámbito sanitario, la inteligencia artificial tendrá un gran impacto en el desarrollo de algoritmos para el diagnóstico y tratamiento de diversas enfermedades, la creación de modelos de historias clínicas electrónicas, modelos de atención centrados en datos y como herramienta para mejorar el acceso a los servicios sanitarios. dado. Sin embargo, también se han identificado desafíos en la implementación de esta tecnología. Por lo tanto, conocer las percepciones de los profesionales de la salud sobre el uso de esta tecnología puede informar sus interpretaciones, sesgos y alcance de esta tecnología en el campo médico [49].

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Tipo de Investigación

La investigación es de tipo experimental. La implementación del prototipo IoMT en el espirómetro para la medición de la capacidad inspiratoria de pacientes con neumonía en Fisiostar – Tulcán. Se recabo información de los tratamientos de los pacientes. Posteriormente el prototipo IoMT, que se basa en la tecnología IoMT, tiene la función de registrar datos de la capacidad inspiratoria de los pacientes, con el fin de evaluar y correlacionar estos datos entre el dispositivo automatizado con el no automatizado.

Luego de aplicar un modelo estadístico puede predecir la evolución temporal de los datos clínicos de la comunidad para así estudiar y poder su prever. La siguiente función del prototipo IoMT es promover su uso ya que es un problema para poder realizar una mejor recuperación.

#### 3.2. Diseño de Investigación

El diseño de la investigación experimental se utiliza para establecer una relación entre la causa y el efecto de una situación. Es un diseño de investigación donde se observa el efecto causado por la variable independiente sobre la variable dependiente.

#### 3.3. Modalidad de la Investigación

Este proyecto de investigación se realizó de acuerdo con varios conceptos de investigación aplicada, debido a que se usó los conocimientos ya existentes para el diseño e implementación del prototipo para el seguimiento de pacientes con neumonía.

##### 3.3.1. Investigación bibliográfica

Para esta investigación se llevó a cabo una exhaustiva revisión de la literatura, recopilando datos científicos relacionados al IoMT en la rama médica. Esta búsqueda tenía como objetivo principal la innovación, incorporando nuevas funcionalidades y aprovechando las tecnologías más recientes.

La información fue extraída de fuentes científicas disponibles en la UNACH, así como de documentos de diferentes repositorios de acceso abierto en línea. Se revisaron artículos, libros, publicaciones, estudios científicos y revistas para recolectar y analizar información sobre tecnología IoMT, rehabilitación pulmonar, neumonía, bases de datos, Python y cualquier información relevante al tema. En este proceso, se seleccionaron diferentes bases de datos científicas clave: PubMed, IEEE Xplore, Google Scholar, Web of Science, Scopus.

### **3.3.2. Investigación de campo**

Se realizó la revisión de literatura sobre tecnología IoMT en el seguimiento de respiratorio, entrevistar a profesionales de la salud para comprender las necesidades específicas de los pacientes con neumonía, para de esta manera pensar en las soluciones, adquirir los componentes necesarios para la construcción del prototipo, realizando pruebas piloto para ajustar y optimizar el funcionamiento del prototipo y finalmente recopilar los datos de la capacidad inspiratoria en un periodo específico para realizar el análisis estadístico.

### **3.3.3. Investigación experimental**

El proyecto obtiene datos a través de la experimentación y los compara con las variables, a fin de determinar las causas y los efectos de los fenómenos en estudio. En esta investigación se comparará los tratamientos de la capacidad inspiratoria de dos espirómetros, uno comercial no automatizado y otro automatizado basado en la tecnología IoMT, en pacientes con neumonía del centro de terapia física Fisiostar.

## **3.4. Técnicas de recolección de Datos**

En esta investigación se va a tomar en cuenta el método de investigación cuantitativo y cualitativo utilizando la técnica de uso de Sensores y Dispositivos Tecnológicos para recopilar datos de manera automática y continua para la comprensión de un fenómeno.

Procedimientos de recolección de datos:

- **Investigación cualitativa:** Recopilación y análisis de información secundaria.
- **Investigación cuantitativa:** Medición y comprobación mediante datos numéricos de la capacidad inspiratoria en pacientes con neumonía de 21 – 65 años.
- **Documentos cuantitativos:** Documentos de medición de espirometría de los pacientes con neumonía del centro de rehabilitación Fisiostar.
- **Materiales digitales:** Datos proporcionados por el prototipo.

## **3.5. Población**

Para la población se tomaron en cuenta los pacientes con neumonía que han tenido y tienen un tratamiento periódico y recurrente de rehabilitación por neumonía, en el centro de terapia física Fisiostar desde el año 2022 (registros físicos de Fisiostar – Tulcán).

La población es de carácter finito y se basa en la información obtenida tanto de los registros como de los fisioterapeutas, tomada como los datos recogidos de 10 pacientes, 10

mediciones no presenciales por día (el tratamiento es realizado por el paciente en su hogar sin supervisión), los fisioterapeutas contemplan que el tratamiento para neumonía utilizando un espirómetro normal es de 90 días, dando un total de 9000 datos.

### 3.6. Muestra

Suponemos que los datos de la población son finitos (menos de 11000 datos) y la variable principal es cualitativa, entonces se puede aplicar la siguiente fórmula para obtener una muestra donde está considerada la hipótesis de la investigación:

Fórmula:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * (1 - p)}{2! * (n - 1)(n - 1)(n - 1)} n = \frac{N * Z^2 * p * (1 - p)}{(N - 1) * e^2 + Z^2 * p * (1 - p)}$$

#### 3.6.1. El nivel de confianza

Este parámetro considerado está basado en la opinión de los fisioterapeutas en Fisiostar – Tulcán es del 92%, ( $\alpha = 0.08$ ); entonces, en términos de desviaciones típicas que definen ambos extremos del intervalo, la semidistancia estandarizada:

$$Z = 1.75$$

#### 3.6.2. Estimación de la proporción

El dato de estimación  $p$  se obtiene de estudios anteriores, basados en la experiencia de los fisioterapeutas y los médicos que visitan el centro regularmente y se considera que la condición la cumplan un 50%, por lo tanto, que no la cumplan será  $(1 - p)$  el otro 50%.  
 $p * (1 - p) = 0.5 * (1 - 0.5) = 0.5$

#### 3.6.3. Margen de Error

Es la diferencia entre la media muestral y la media poblacional. Por esto el margen de error que se está dispuesto a tolerar es del 8% (0.08).

#### 3.6.4. Cálculo del Tamaño de la muestra

Para encontrar el tamaño de la muestra para esta investigación se tomarán en cuenta los siguientes parámetros.

Donde:

$n$ = tamaño de la muestra

$N$ = población (9000 mediciones)

$$p = 0.5$$

$$q = 1 - p = 1 - 0.5 = 0.5$$

N-1=corrección que se usa para muestras mayores a 30 unidades E= margen de error 8%

Z calculado = 1.75

Así:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * (1 - p)}{(N - 1) * e^2 + Z^2 * p * (1 - p)}$$

$$n = \frac{9000 * 1.75^2 * 0.5 * (1 - 0.5)}{(9000 - 1) * 0.08^2 + 1.75^2 * 0.5 * (1 - 0.5)}$$

$$n \approx 118.073 = 119$$

El número de datos en la muestra es de 119. Sin embargo, se puede considerar también un número mayor. El número considerado será (por la facilidad en la toma de los datos) de 135 mediciones.

La muestra será repartida de acuerdo con el peso de cada variable de la siguiente manera: 3 personas, 3 datos diarios, en la mitad de un mes (o sea, 15 días) para cada paciente serán 45 mediciones, dando un total de 135 mediciones por los 3 pacientes, para el dispositivo no automatizado y otras 135 mediciones para el dispositivo automatizado.

### 3.7. Hipótesis y variables

#### 3.7.1. Hipótesis Nula (Ho)

El prototipo IoMT implementado en el espirómetro volumétrico (espirómetro no automatizado) permite una mejor rehabilitación y datos más confiables de la capacidad inspiratoria de los pacientes con neumonía en el centro de terapia física Fisiostar de la ciudad de Tulcán, que con un espirómetro no automatizado. ( $\mu_2 > \mu_1$ ).

#### 3.7.2. Variable dependiente

Capacidad inspiratoria: volumen que puede ser inspirado después de una espiración normal (capacidad residual funcional) terminado el tratamiento con y sin el espirómetro automatizado.

#### 3.7.3. Variable independiente

- Grado de funcionalidad del espirómetro
- Condición médica del paciente

### 3.8. Operacionalización de variables

**Tabla 1**

Operalización de variables

<b>Variable</b>	<b>Concepto</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Medio</b>
<b>Dependiente:</b> Capacidad inspiratoria	La capacidad inspiratoria es el volumen que puede ser inspirado después de una expiración normal. Terminado el tratamiento con y sin el espirómetro automatizado	Volumen en mililitros (registro de cada espirómetro de acuerdo con la indicación del fisioterapeuta)	Espirómetro automatizado y no automatizado.
<b>Independiente:</b> Grado de funcionalidad del espirómetro	Mecanismo para desarrollar acciones para cada espirómetro	Fiabilidad  Control de calidad del proceso	Disponibilidad y tolerancia a fallos Por atributos y variables
Condición médica del paciente	Estado o situación de un paciente antes y después del tratamiento	Bueno Regular Grave Crítico	Diagnóstico del especialista

**Fuente:** El autor.

### 3.9. Componentes de la capa dispositivo

#### 3.9.1. Webcam HD C270-SAMR

La cámara web HD C270 (Figura3) ofrece conferencias nítidas y fluidas en pantalla panorámica Corrección de iluminación automática produce colores reales y naturales.



**Figura 3** Cámara web HD C270

**Fuente:** El autor.

Características técnicas:

- Intel Core2 Duo de 2,4 GHz, 2 GB de RAM, 200 MB de espacio en el disco duro
- Captura de vídeo: hasta 1280 x 720 píxeles, cristal fluido Logitech.
- Tipo de enfoque: enfoque fijo Tecnología de fotos nítidas de 3 MP,
- USB 2.0 de alta velocidad Compatible con: Windows 8 o posterior, macOS 10.10 o posterior, Chrome OS, con puerto USB-A.
- Nítidas videollamadas HD 720p/30 fps con un campo visual diagonal de 55° y corrección de iluminación automática.
- Compatible con plataformas populares incluidas Skype™ y Zoom.
- El micrófono integrado con reducción de ruido hace que se te escuche claramente hasta a 1,5 metros de distancia, incluso en entornos ruidosos.
- La función RightLight™ 2 de C270 ajusta el video a las condiciones de iluminación para producir imágenes más brillantes y con más contraste [50].

### 3.9.2. Raspberry Pi 3



**Figura 4** Raspberry Pi3

**Fuente:** El autor.

La Raspberry Pi 3 modelo B+ (Figura 4) es una evolución del modelo B que aporta varias funciones y características adicionales, muy valoradas en el uso habitual. El procesador



Broadcom BCM2837B0 gana 200 Mhz en comparación con su predecesor, para lograr una computación aún más rápida y fluida. Se ha prestado especial atención a disipar el calor de esta Pi 3 B+ para optimizar el rendimiento incluso cuando aumenta la temperatura. Todos los accesorios de la Raspberry Pi 3 B son compatibles con esta nueva versión.

Características técnicas:

- Placa base Raspberry Pi 3 tipo B+
- Procesador Broadcom BCM2837B0 Cortex-A53 64-bit SoC @ 1,4 GHz
- RAM: 1 GB LPDDR2 SDRAM
- Conexiones inalámbricas: Bluetooth 4.2 BLE, Wi-Fi Dual Band b/g/n/ac
- Conexión por cable: Gigabit Ethernet
- Decodificación y codificación H.264 1080p30
- Admite PoE (PoE HAT no suministrado)
- Lector de tarjetas micro-SD
- Header GPIO 40 pines
- Admite boot PXE
- Puerto de cámara CSI para conectar la cámara Raspberry Pi
- Puerto de visualización DSI para conectar la pantalla táctil Raspberry Pi
- 4 USB 2.0
- Compatible con los accesorios de Pi 3 Modelo B
- Alimentación 5V / 2,5 A (transformador no suministrado) [51]

### 3.9.3. Pantalla Nextion NX4832T035 011 de 3.5”

Nextion (Figura5) es una solución perfecta de interfaz hombre-máquina (HMI) que proporciona una interfaz de control y visualización entre un ser humano y un proceso, máquina, aplicación o dispositivo. Nextion se aplica principalmente al campo de IoT o electrónica de consumo.



**Figura 5** Pantalla Nextion NX4832T035 011

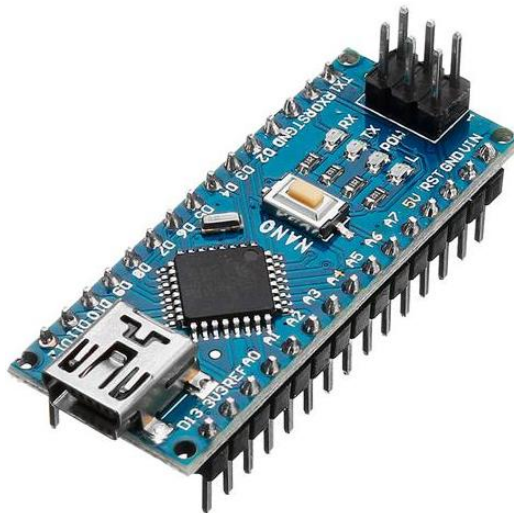
**Fuente:** El autor.

Características técnicas:

- Resolución 480 x 320
- RGB 65K fiel a los colores de la vida
- Pantalla TFT con panel táctil resistivo integrado
- Interfaz serie TTL de 4 pines
- Memoria Flash de 16M para código de aplicación de usuario y datos
- Ranura para tarjeta micro SD integrada para actualización de firmware
- Área visual: 73.44 mm (L) × 48.96 mm (W)
- Brillo ajustable: 0 ~ 180 nit, el intervalo de ajuste es 1%
- Fuente de alimentación recomendada de 5V500mA DC
- Consumo de energía 5V145mA [52].

### 3.9.4. Arduino nano

Es la placa Arduino Uno R3 (Figura 6) en versión reducida, pero con dos pines analógicos adicionales.



**Figura 6** Arduino nano

**Fuente:** El autor.

Características técnicas:

- Microcontrolador: ATmega328P.
- Pinout: 14 pines digitales (6 PWM) y 8 pines analógicos.
- 1 puerto serie por hardware.
- Memoria: 32 KB Flash (2KB para bootloader), 2KB RAM y 1KB Eeprom
- Microcontrolador Arduino ATmega328
- Arquitectura, AVR
- Voltaje de operación, 5 V
- Memoria flash, 32 KB de los cuales 2 KB utilizados por bootloader

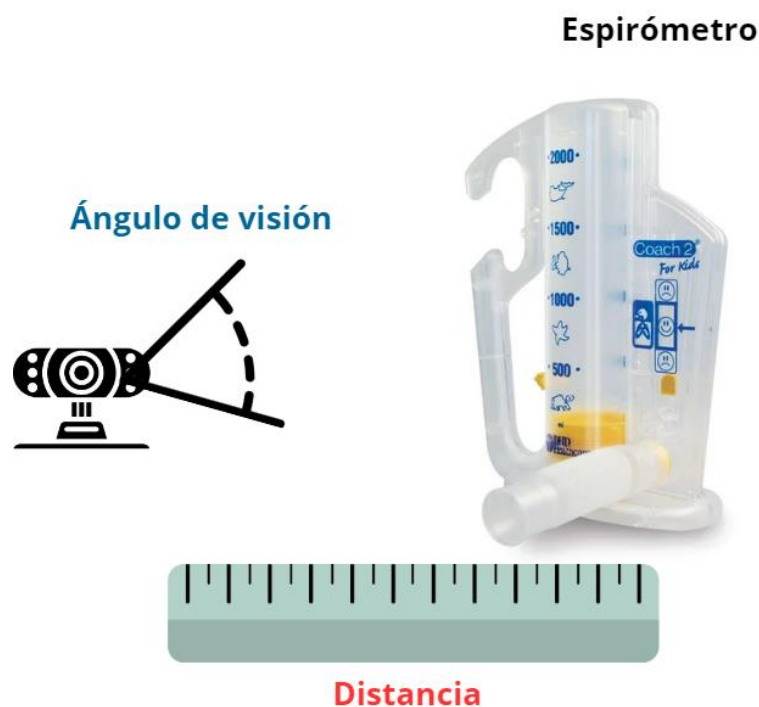
- SRAM 2 KB
- Velocidad del reloj 16 MHz
- Pines de E/S analógicas, 8
- EEPROM,1 KB
- Corriente continua por pin entrada salida, 40 mA (Pines de E/S)
- Voltaje de entrada, 7-12 V
- Salida PWM, 6
- Consumo de energía, 19 mA
- Tamaño de la placa de circuito impreso,18 x 45 mm
- Peso, 7 g [53].

### 3.10. Diseño y construcción del prototipo IOMT en el espirómetro

#### 3.10.1.Diseño

El diseño del prototipo IoMT (Figura 7) se llevó a cabo teniendo en cuenta la distancia específica entre la cámara web y el espirómetro incentivador volumétrico. Este enfoque indica una consideración cuidadosa de la disposición física y la relación espacial entre ambos componentes, lo cual es crucial para garantizar un funcionamiento óptimo del sistema.

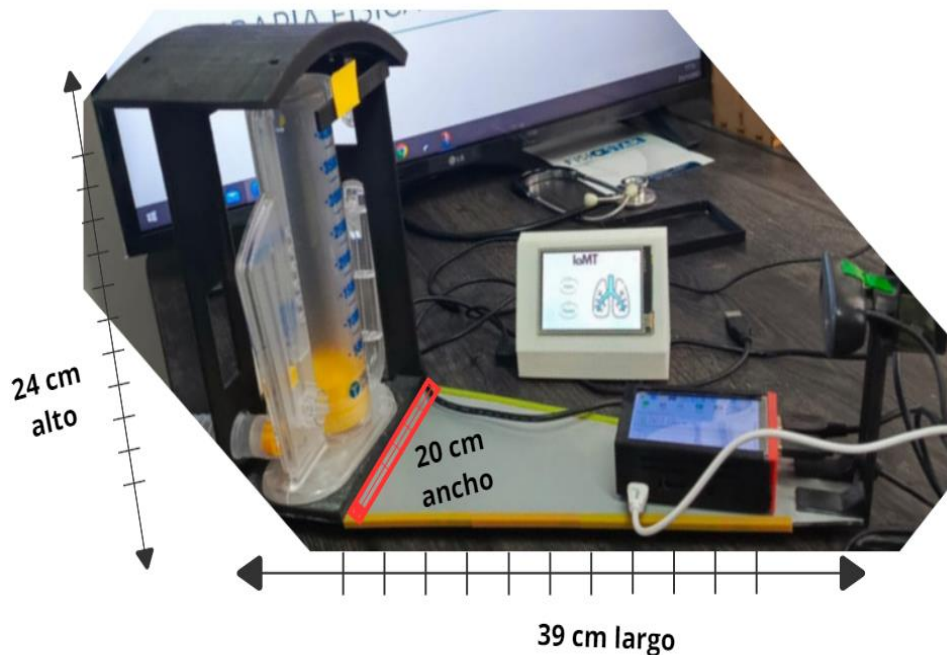
La consideración de la distancia también puede tener implicaciones ergonómicas, asegurando que la posición y la orientación de los componentes sean cómodas y prácticas para el usuario durante el uso del dispositivo.



**Figura 7** Diseño del prototipo  
**Fuente:** El autor.

### 3.10.2. Construcción del prototipo IoMT

La elección del software de modelado SOLIDWORKS para la estructura del diseño 3D del prototipo IoMT en el espirómetro proporciona una plataforma robusta y versátil para la creación de modelos precisos y funcionales (Figura 8). Durante este proceso, se consideró cuidadosamente la disposición y la relación entre la cámara web y el espirómetro, destacando la importancia de la distancia entre estos componentes para el correcto funcionamiento del dispositivo.



**Figura 8** Prototipo IoMT

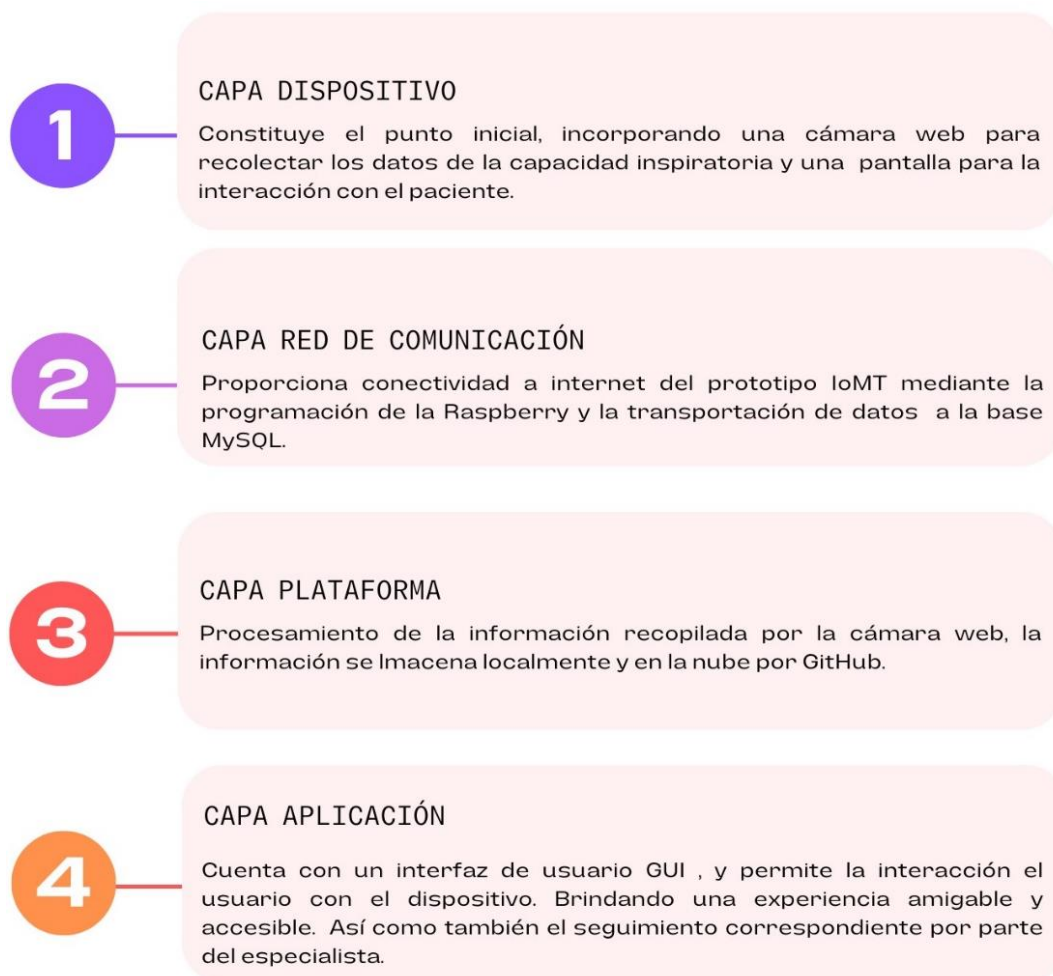
**Fuente:** El autor.

Las dimensiones del prototipo, establecidas en 24 centímetros de altura, 39 centímetros de largo y 20 centímetros de ancho, indican un diseño compacto y posiblemente portátil. Estas dimensiones pueden ser beneficiosas para la comodidad del paciente y la facilidad de uso en diferentes entornos. Además, la elección del material PLA (ácido poliláctico) para la construcción del prototipo ofrece varias ventajas, como la biodegradabilidad y la facilidad de impresión 3D. A excepción de la base que conecta la cámara web con el espirómetro es de material Alucobond

### 3.11. Implementación de la arquitectura IoMT

El prototipo IoMT incorpora una arquitectura de cuatro capas. En cada capa se integraron plataformas, tecnologías, tarjetas y procesamiento de imágenes que permiten recolectar y almacenar los datos de la capacidad inspiratoria que podrá ser visualizada a través de una página web.

La arquitectura IoMT consta de diversas capas, como se muestra en la Figura 9:



**Figura 9** Implementación de la arquitectura IoMT

**Fuente:** El autor.

Los dispositivos IoT para el cuidado de la salud están interconectados y pueden trabajar juntos para capturar una variedad de datos del paciente, lo que aumenta la precisión del diagnóstico, el tratamiento y los procedimientos quirúrgicos.

### 3.11.1. Implementación de la capa de dispositivos

La capa de dispositivos se compone de una cámara WEB, una pantalla Nextion que está conectada a la tarjeta de desarrollo Arduino Nano. Estos elementos se conectan a la Raspberry Pi 3 para que la cámara web recopile información de los datos de la capacidad inspiratoria del paciente (Tabla 2).

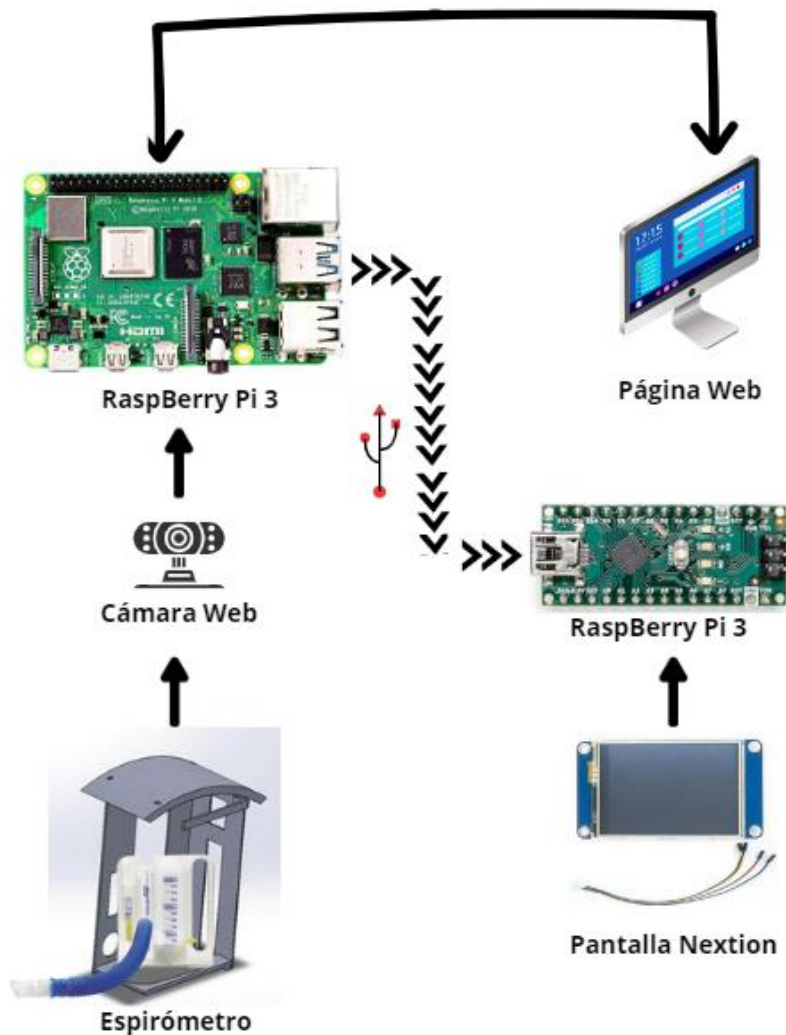
**Tabla 2**

Implementación de la capa dispositivo

<b>Id</b>	<b>Tipo</b>	<b>Componente</b>	<b>Tarjeta</b>
1	Detección color amarillo	Webcam HD C270-SAMR	Raspberry Pi 3

**Fuente:** El autor.

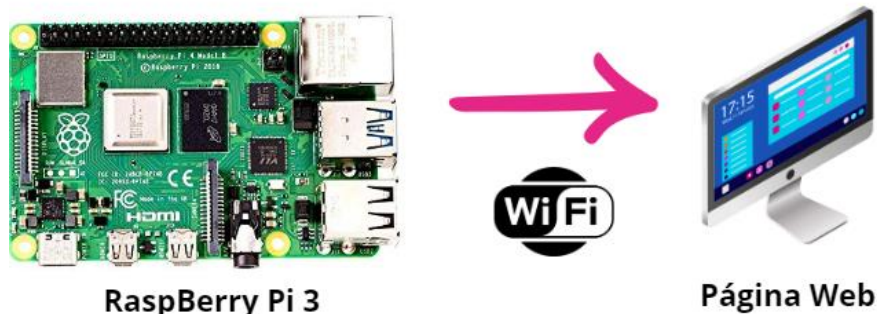
Los datos adquiridos por la cámara WEB, se transmiten a la tarjeta Raspberry Pi 3 B+, a través de la captura de imágenes (Figura10)



**Figura 10** Dispositivos del prototipo IoMT  
**Fuente:** El autor.

### 3.11.2. Implementación de la Capa Red de comunicación

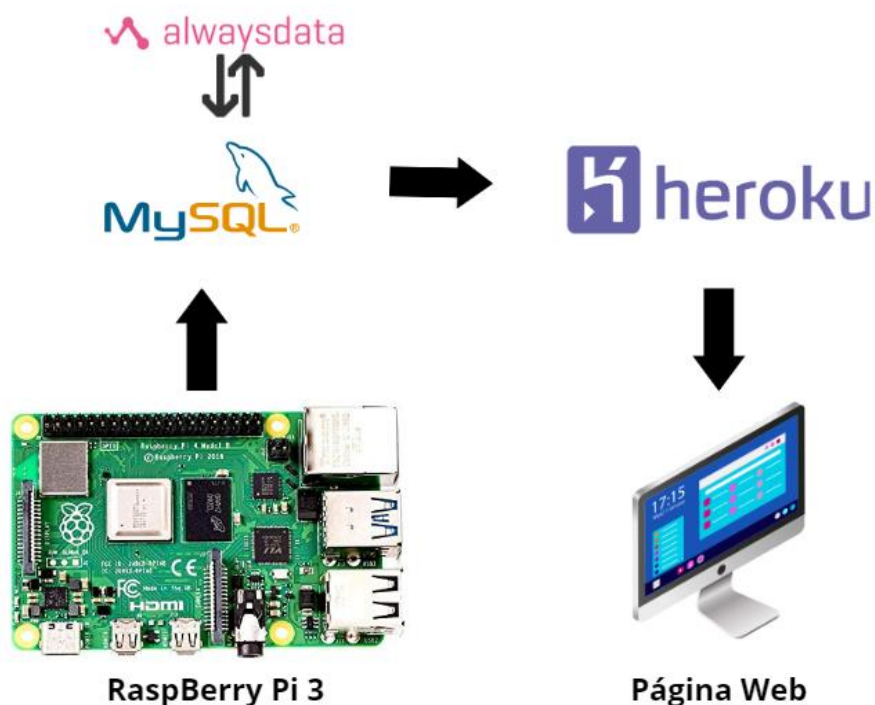
La conectividad a internet, según lo indicado en la Figura 11, es un elemento clave para enviar los datos recolectados a la nube. En este caso, se utiliza la tecnología Wi-Fi, y la implementación se lleva a cabo mediante la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 3 Model B (Figura 11), que cuenta con un módulo Wi-Fi incorporado compatible con los estándares 802.11 b/g/n/ac.



**Figura 11** Red de comunicación del prototipo IoMT  
**Fuente:** El autor.

### 3.11.3. Implementación de la Capa Plataforma

La implementación de un respaldo en formato .csv y el almacenamiento en una base de datos MySQL para la capacidad inspiratoria recolectada demuestra un enfoque integral en la gestión de datos del prototipo IoMT (Figura 12). A continuación, se describen los pasos en este proceso:



**Figura 12** Implementación de la capa plataforma  
**Fuente:** El autor.

La Raspberry Pi, como parte del prototipo IoMT, realiza mediciones de la capacidad inspiratoria y genera datos asociados.

Para respaldar la información localmente, se crea un archivo en formato CSV en la Raspberry Pi. Este archivo .csv actúa como un respaldo que proporciona una copia de seguridad accesible y estructurada de los datos de capacidad inspiratoria.

Simultáneamente, los datos de capacidad inspiratoria se insertan en la base de datos MySQL configurada en la Raspberry Pi. La base de datos actúa como un repositorio centralizado para facilitar la gestión de datos.

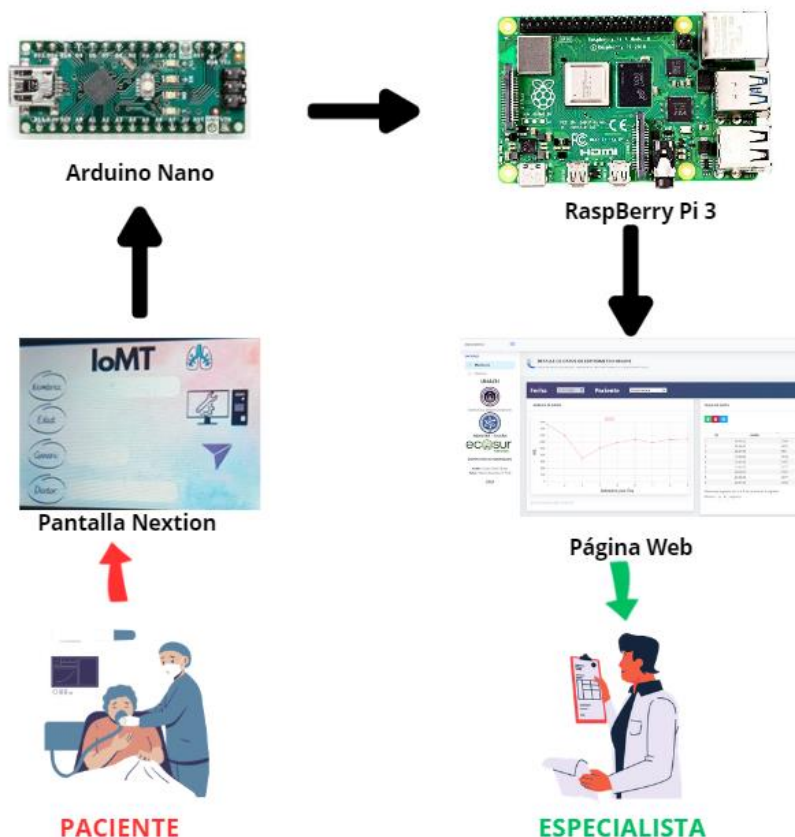
La información guardada en MySQL en la Raspberry Pi se transfiere a Always Data, que sirve como un entorno en la nube para el almacenamiento y la gestión remota de datos.

Posteriormente, los datos también se transportan a Heroku, una plataforma en la nube que permite desplegar la aplicación web asociada al prototipo IoMT. Heroku facilita la visualización de datos de manera remota y accesible a través de internet.

La página web asociada al prototipo IoMT, alojada en Heroku, accede a los datos almacenados en la base de datos MySQL en la Raspberry Pi y en Always Data. La visualización de la capacidad inspiratoria se logra de manera clara y comprensible en la interfaz de la página web.

### 3.11.4. Implementación de la capa aplicación

Para la capa aplicación lo que primero el especialista debe crear el usuario del paciente, una vez existe el usuario, el paciente se lleva a la casa el prototipo IoMT, una vez se recolecte la información, esta será revisada por el especialista (Figura 13).



**Figura 13** Proceso capa aplicación  
**Fuente:** El autor.



En el marco de la capa aplicación del prototipo IoMT, el especialista se encarga inicialmente de crear el perfil del paciente en la aplicación asociada. Este paso implica la introducción de detalles personales y médicos relevantes. Una vez configurado el usuario, se entrega al paciente el prototipo IoMT, destinados a la monitorización de la capacidad inspiratoria del paciente.

Posteriormente, el paciente utiliza el prototipo en su entorno doméstico, llevando a cabo mediciones y recolectando información según las indicaciones del especialista.

Una vez que los datos son recibidos por la aplicación, el especialista revisa minuciosamente la información recopilada por el paciente. Esto se lleva a cabo mediante una interfaz intuitiva y especializada que presenta de manera clara y comprensible los datos biomédicos y cualquier otra información relevante.

El especialista analiza los datos y proporciona feedback al paciente según las observaciones realizadas. Este feedback puede incluir ajustes en el plan de tratamiento, recomendaciones específicas o cualquier intervención necesaria. Este proceso de análisis y comunicación es crucial para adaptar las estrategias de atención médica de manera personalizada.

Este ciclo de interacción, que abarca desde la creación del usuario hasta la revisión y feedback del especialista, se repite periódicamente para permitir un seguimiento continuo de la salud del paciente. La colaboración entre el especialista y el paciente se fortalece mediante el uso efectivo de la tecnología IoMT, brindando la posibilidad de una monitorización remota eficaz y una gestión de la salud centrada en el paciente.

- **Interfaz de paciente/usuario**



**Figura 14** Interfaz principal con el paciente/usuario

**Fuente:** El autor.

La interfaz de usuario se programó en C++ y está diseñado para ser ejecutado en un entorno de desarrollo Arduino. Este código utiliza la biblioteca *SoftwareSerial* para establecer comunicaciones serie en pines específicos del Arduino (Figura 14).

El propósito principal del programa es la comunicación entre dos dispositivos serie: una pantalla Nextion y la Raspberry Pi. El código (Figura 15), maneja la recepción de datos de la pantalla Nextion a través del objeto *Serial2* y la recepción de datos desde otro dispositivo a través del objeto *Serial*. Además, el código realiza operaciones de manipulación de cadenas para procesar y enviar datos a la pantalla Nextion.

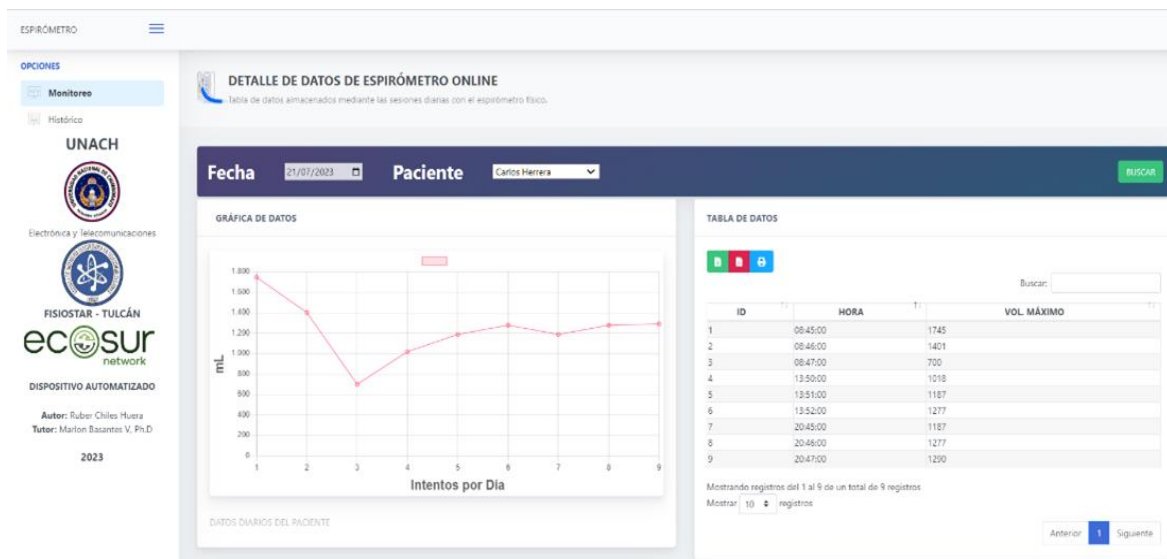
```
#include <SoftwareSerial.h>

// Configura la comunicación serial con la pantalla Nextion

const int maxDataLength = 50; // Tamaño máximo del búfer para recibir datos
char dataBuffer[maxDataLength]; // Búfer para almacenar los datos recibidos
int dataIndex = 0; // Índice para rastrear la posición actual en el búfer
SoftwareSerial Serial2(10, 11); // RX, TX
SoftwareSerial bt(5, 6); // RX, TX
String dato = "";
String dato2 = "";
String dato3 = "";
void setup() {
  // Inicializa la comunicación serial con una velocidad de baudios específica
  Serial.begin(9600);
  Serial2.begin(9600);
  bt.begin(9600);
}
```

**Figura 15** Comunicación entre la pantalla Nextion y la Raspberry Pi  
**Fuente:** El autor.

- **Interfaz del especialista**



**Figura 16** Interfaz del especialista  
**Fuente:** El autor.

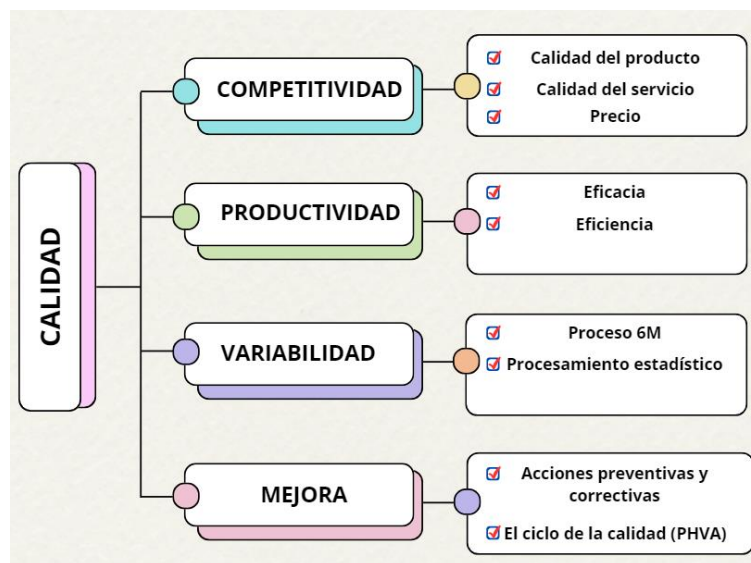
Una vez que el fisioterapeuta ingresa las credenciales, se procede a llenar los datos del paciente figura (datos paciente), los cuales se guardan en la base de datos (Figura 16). Una vez los datos del paciente han sido guardados, en la página web se podrá visualizar el valor de la capacidad inspiratoria de cada intento con la fecha y hora del intento como se indica en la Figura (página web).

### 3.12. Control de calidad del espirómetro

Las metodologías IoT (Internet of Things) e IoMT (Internet of Medical Things) son fundamentales para dirigir los procesos de desarrollo y aplicación de tecnologías que aprovechan las capacidades del internet, ofreciendo diversas ventajas en su implementación. No obstante, en el contexto del proceso de validación cuantitativa, que abarca el diseño, la construcción y la puesta a prueba del prototipo IoMT, se plantea un análisis comparativo entre los datos generados por el espirómetro no automatizado y aquellos producidos por el prototipo automatizado.

Este análisis comparativo se llevará a cabo mediante la Técnica de Estimación con Intervalos de Confianza. El objetivo es realizar una verificación rigurosa al calcular intervalos de confianza para los datos recopilados, permitiendo la identificación de pares de valores con una probabilidad determinada. Se establecerá un rango de tolerancia específico, con un límite máximo del 1%, con el fin de garantizar el óptimo desempeño del prototipo IoMT.

Adicionalmente, se propone realizar un estudio exploratorio Ad hoc de los Índices de Capacidad. Este análisis proporcionará una comprensión más profunda de la capacidad de los procesos implementados en el prototipo IoMT. Asimismo, se llevará a cabo un Análisis de Tolerancias, introduciendo conceptos del Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma (Figura 17). Estas metodologías se emplearán para evaluar y mejorar la precisión y consistencia de los procesos, asegurando estándares de calidad y eficiencia.



**Figura 17** Proceso de control de calidad y productividad

**Fuente:** El autor.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el contexto de la implementación del prototipo IoMT, se han recopilado distintos tipos de datos con el objetivo de evaluar y monitorizar diversos aspectos relacionados con la salud y la utilización del dispositivo. Estos datos se dividen en las siguientes categorías:

- **Datos Biomédicos.** - Se han obtenido datos biomédicos utilizando la cámara web. En este caso, se ha medido la Capacidad Inspiratoria de los pacientes. La capacidad inspiratoria es un indicador relevante de la función pulmonar y puede proporcionar información valiosa sobre la salud respiratoria de los individuos.
- **Datos de Identidad.** - Se han recopilado datos de identidad que incluyen nombres, edad y el médico tratante. Estos datos permiten identificar de manera única a cada paciente y asociar la información biomédica recolectada con su perfil específico.
- **Datos Cuantitativos.** - Se han registrado datos cuantitativos relacionados con el tiempo de utilización de cada intento realizado por el paciente. Este parámetro puede ser crucial para evaluar la adherencia y la eficacia del dispositivo IoMT, así como para realizar un seguimiento detallado de las interacciones del usuario con el prototipo.

La recopilación y análisis de estos datos proporcionan una visión integral de la eficacia y el impacto del prototipo IoMT en la monitorización de la salud. Estos datos pueden ser utilizados para realizar evaluaciones clínicas, ajustar el diseño del dispositivo según las necesidades de los usuarios y mejorar la efectividad del sistema en general. Además, la categorización de los datos en biomédicos, de identidad y cuantitativos facilita su gestión y análisis con enfoques específicos para cada tipo de información recopilada.

En este contexto, se ha planteado la siguiente hipótesis para todos los análisis:

**Hipótesis Nula (H0):** El espirómetro no automatizado permite una mejor rehabilitación y datos confiables.

**Hipótesis Alternativa (H1):** El espirómetro automatizado permite una mejor rehabilitación y datos más confiables.

Esto implica la evaluación del prototipo automatizado como el no automatizado. Para abordar esta cuestión, se emplearán pruebas estadísticas pertinentes, tanto paramétricas como no paramétricas, para determinar la validez de la hipótesis nula en cada conjunto de datos. La elección de las pruebas dependerá de la naturaleza de los datos y los objetivos específicos del análisis. En el proceso de evaluación de la hipótesis sobre el tipo de análisis considerado, se procede a realizar pruebas de normalidad con el objetivo de examinar la

distribución de los datos. El p-valor resultante en estas pruebas desempeña un papel fundamental en la toma de decisiones estadísticas. En particular, se emplea la siguiente interpretación de los p-valores:

Cuando el p-valor es menor que 0.05 ( $p\text{-valor} < 0.05$ ), se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), indicando que los datos no siguen una distribución normal. En este caso, se considera que los datos son no paramétricos.

Por otro lado, si el p-valor es mayor que 0.05 ( $p\text{-valor} > 0.05$ ), se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ), lo que sugiere que los datos pueden aproximarse a una distribución normal. En este escenario, se considera que los datos son paramétricos.

Es crucial tener en cuenta estos resultados al tomar decisiones sobre la parametricidad de los datos. Además, se deben considerar los criterios específicos de parametrización que se indican para cada conjunto de datos evaluado. La interpretación adecuada de los p-valores contribuirá a la correcta formulación de conclusiones en relación con la hipótesis inicial sobre la naturaleza de los datos recolectados.

#### 4.1. Análisis e interpretación de los datos recolectados

- **Muestra**

Los datos de la muestra son de 135 mediciones: 3 personas, 3 datos diarios, en la mitad de un mes (o sea, 15 días) para cada paciente serán 45 mediciones, dando un total de 135 mediciones por los 3 pacientes, para el dispositivo no automatizado y otras 135 mediciones para el dispositivo automatizado.

##### 4.1.1. Datos en milisegundos (ms) con dispositivo automatizado del Paciente A.

- **Análisis descriptivo**

En las Tablas (3-12 se presentan los promedios y desviaciones típicas del tiempo de uso (milisegundos) del espirómetro, con un total de 9 mediciones diarias, de las cuales se saca el promedio.

**Tabla 3**

Análisis descriptivo del tiempo de la primera toma en la mañana

Toma Mañana 1 (tm1)									
	Mean	sd	IQR	0%	25%	50%	75%	100%	n
Tiempo	6060.545	3092.538	5042.425	934.1843	3518.018	6104.5	8560.443	11183.61	30

**Fuente:** El autor.

**Tabla 4**

Análisis descriptivo del tiempo de la segunda toma en la mañana

Toma mañana 2 (tm2)									
	Mean	Sd	Iqr	0%	25%	50%	75%	100%	N
Tiempo	8046.954	3152.752	5222.941	2990.209	5414.377	8032.261	10637.32	13359.05	30

**Fuente:** El autor.

**Tabla 5**

Análisis descriptivo del tiempo de la tercera toma en la mañana

Toma mañana 3 (tm3)									
	Mean	Sd	Iqr	0%	25%	50%	75%	100%	N
Tiempo	8493.873	3067.353	5023.874	3316.965	5968.62	8521.773	10992.49	13535.69	30

**Fuente:** El autor.

**Tabla 6**

Análisis descriptivo del tiempo de la primera toma en la tarde

Toma tarde 1 (t1)									
	Mean	Sd	Iqr	0%	25%	50%	75%	100%	N
Tiempo	7929.887	3107.764	5082.407	2806.715	5386.891	7940.331	10469.3	13176.44	30

**Fuente:** El autor.

**Tabla 7**

Análisis descriptivo del tiempo de la segunda toma en la tarde

Toma tarde 2 (t2)									
	Mean	Sd	Iqr	0%	25%	50%	75%	100%	N
Tiempo	8593.588	3126.335	5169.681	3480.544	6006.921	8608.881	11176.6	13659.12	30

**Fuente:** El autor.

**Tabla 8**

Análisis descriptivo del tiempo de la tercera toma en la tarde

Toma tarde 3 (t3)									
	Mean	sd	IQR	0%	25%	50%	75%	100%	n
Tiempo	6595.032	2945.768	4718.512	1683.354	4261.09	6562.166	8979.602	11470.54	30

**Fuente:** El autor.

**Tabla 9**

Análisis descriptivo del tiempo de la primera toma en la noche

Toma noche 1 (tn1)									
	Mean	Sd	Iqr	0%	25%	50%	75%	100%	N
Tiempo	7259.475	3274.238	5362.013	1971.169	4551.175	7133.007	9913.188	12740.3	30

**Fuente:** El autor.**Tabla 10**

Análisis descriptivo del tiempo de la segunda toma en la noche

Toma noche 2 (tn2)									
	Mean	Sd	Iqr	0%	25%	50%	75%	100%	N
Tiempo	7619.511	3097.509	5093.191	2501.896	5041.07	7611.217	10134.26	12733.34	30

**Fuente:** El autor.**Tabla 11**

Análisis descriptivo del tiempo de la tercera toma en la noche

Toma noche 3 (tn3)									
	Mean	Sd	Iqr	0%	25%	50%	75%	100%	N
Tiempo	9339.516	3045.443	5074.299	4369.446	6786.624	9429.574	11860.92	14345.4	30

**Fuente:** El autor.

- **Tiempo promedio de toma paciente a dispositivo automatizado**

**Tabla 12**

Análisis descriptivo del tiempo promedio del dispositivo automatizado

	Mean	sd	IQR	0%	25%	50%	75%	100%	n
Tiempo promedio	7770.931	1021.885	1234.398	6060.545	6060.545	7259.475	8493.873	9339.516	9

**Fuente:** El autor.

El promedio del tiempo en la toma de datos para el Paciente A es de 7.770 s con una desviación estándar de 1.021 s.

Se concluye que el tiempo que demora el paciente en realizar una medición con el dispositivo automatizado es de 7.770 s.

### 4.1.2. Datos en milisegundos (ms) con dispositivo no automatizado del Paciente A

**Tabla 13**

Análisis descriptivo del tiempo promedio del dispositivo no automatizado

	Mean	sd	IQR	0%	25%	50%	75%	100%	n
Tiempo promedio	26.77778	2.488864	4	22	25	27	29	29	9

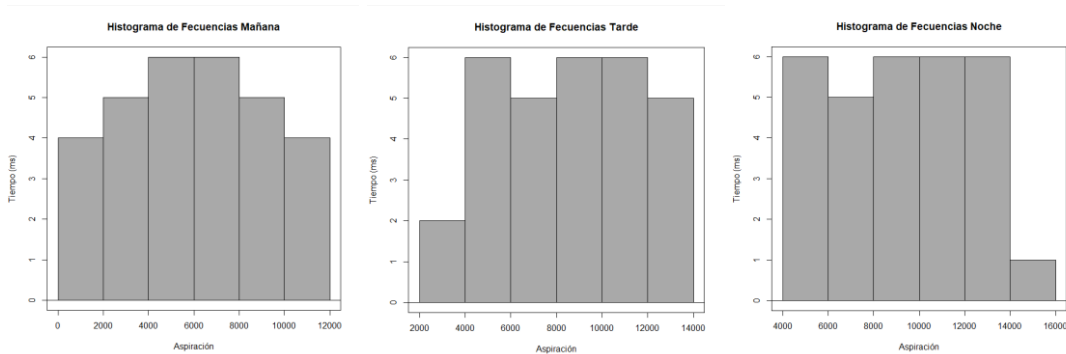
**Fuente:** El autor.

El promedio del tiempo en la toma de datos para el Paciente A es de 26.77 s con una desviación estándar de 2.48 s (nótese la escala en segundos)

Se concluye que el tiempo que demora el paciente en realizar una medición con el dispositivo NO automatizado es de 26.77 s.

## 4.2. Gráfica y tendencias de la distribución de los datos: histogramas de frecuencia

### 4.2.1. Dispositivo automatizado



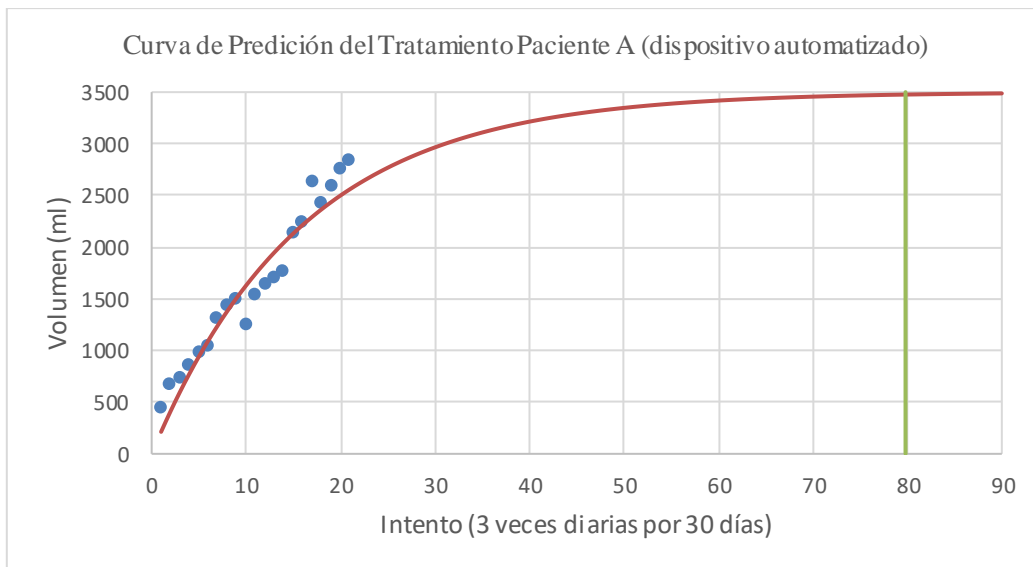
**Figura 18** Histograma del tiempo con dispositivo automatizado

**Fuente:** El autor.

Cada barra en el histograma representa una categoría específica, donde la altura de la barra refleja la frecuencia o el conteo de ocurrencias para cada combinación de inspiraciones y tiempo. La forma general del histograma proporciona información sobre la distribución de los datos, permitiendo identificar patrones de simetría o sesgo.

En los histogramas se visualiza la relación entre el tiempo en milisegundos y la cantidad de inspiraciones, permitiendo comparar fácilmente diferentes bloques. Puedes analizar la distribución del tiempo asociado a cada número de inspiraciones y obtener insights sobre la variabilidad en la duración de los eventos inspiratorios.



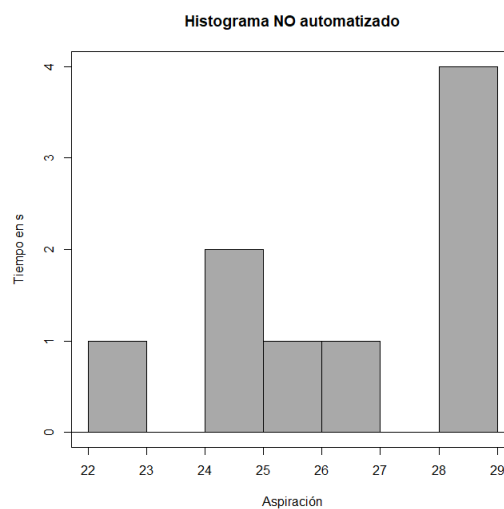


**Figura 19** Curva de predicción del tratamiento Paciente A con dispositivo automatizado  
**Fuente:** El autor.

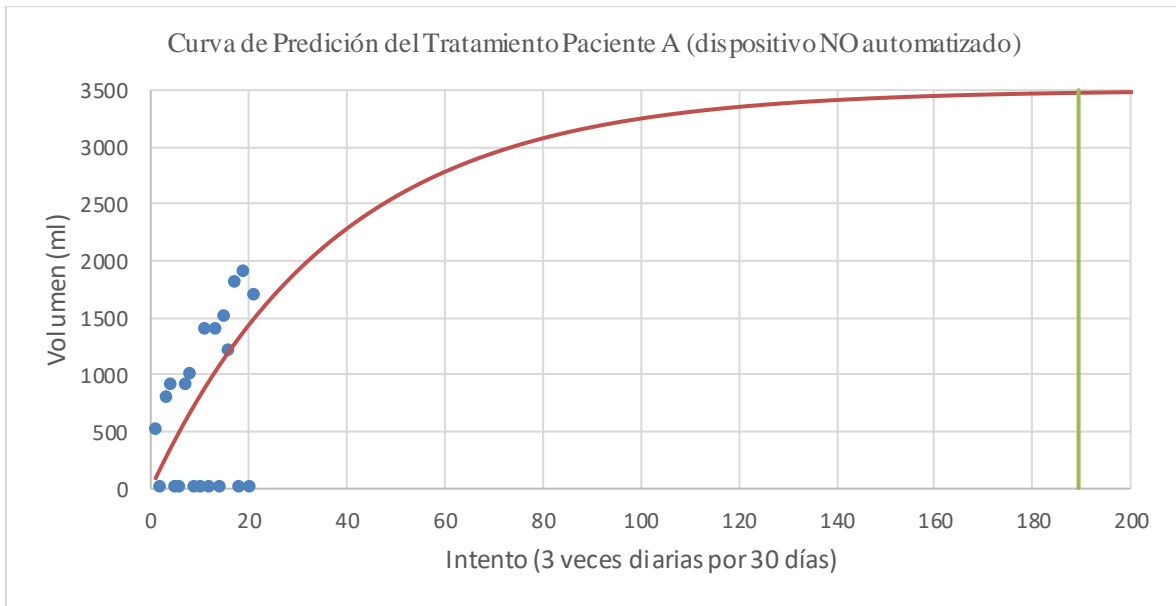
La descripción de la curva de predicción basada en la toma de datos de los primeros siete días, que totalizan 21 puntos, y el establecimiento de que el valor de 3500 ml indica una recuperación completa del paciente, en un poco más de un mes.

Este modelo podría proporcionar una herramienta para analizar y prever la evolución del volumen recuperado por el paciente en función del tiempo, considerando las características de la teoría de carga de un capacitor. Sin embargo, es fundamental tener en cuenta que esta analogía tiene limitaciones y que la relación entre los datos y la teoría del circuito RC en este contexto podría ser más compleja. Se recomienda consultar con profesionales de la salud para obtener una evaluación más completa de la recuperación del paciente.

#### 4.2.2. Dispositivo no automatizado



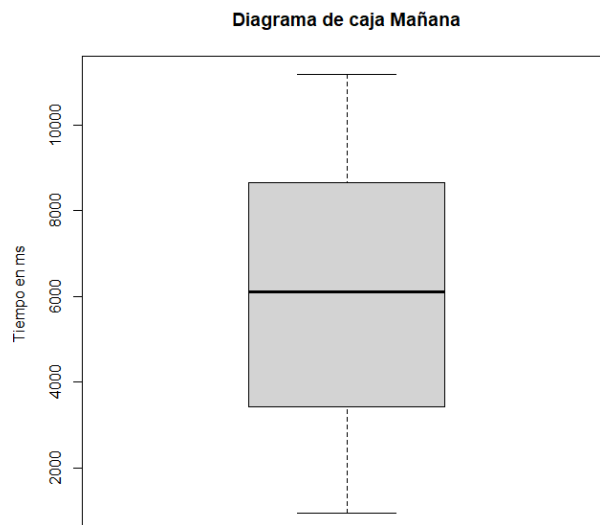
**Figura 20** Histograma del tiempo con dispositivo no automatizado  
**Fuente:** El autor.



**Figura 21** Curva de predicción del tratamiento Paciente A con dispositivo automatizado  
**Fuente:** El autor.

En la curva de predicción del paciente (A) se evidencia que la recuperación completa se evidencia en más de dos meses.

### 4.3. Gráfica y tendencias de la distribución de los datos con diagramas de caja con dispositivo automatizado



**Figura 22** Diagrama de caja de la mañana con dispositivo automatizado  
**Fuente:** El autor.

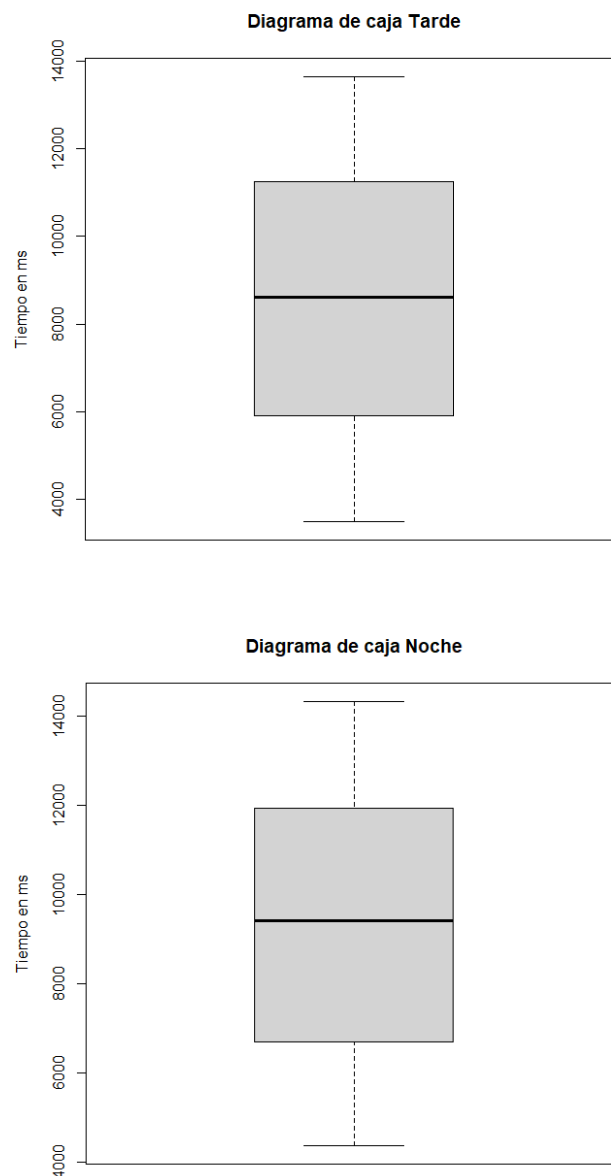
La mediana (Q2), situada en 6000 milisegundos, indica que el 50% de los datos se encuentra por debajo de este valor y el 50% está por encima. Es una medida de tendencia central que es menos sensible a valores atípicos.

Caja (Box):

La caja, que representa el rango intercuartil (IQR), refleja la dispersión intercuartil de los datos. Dado que la mediana es 6000 milisegundos, la caja sugiere que el 25% de los datos está por debajo del primer cuartil (Q1) y el 25% está por encima del tercer cuartil (Q3). Bigotes (Whiskers):

La longitud de los bigotes indica la variabilidad total de los datos más allá de la caja. Si los bigotes son cortos, la variabilidad fuera de la caja es limitada. Los bigotes generalmente se extienden hasta ciertos límites, y los valores fuera de estos límites podrían considerarse atípicos.

El valor mínimo es 3500 milisegundos y el valor máximo es 8500 milisegundos. Estos valores definen la amplitud total de los datos y, junto con los bigotes (whiskers), proporcionan información sobre la dispersión de los datos.



**Figura 23** Diagrama de caja de la tarde y noche con dispositivo automatizado  
**Fuente:** El autor.

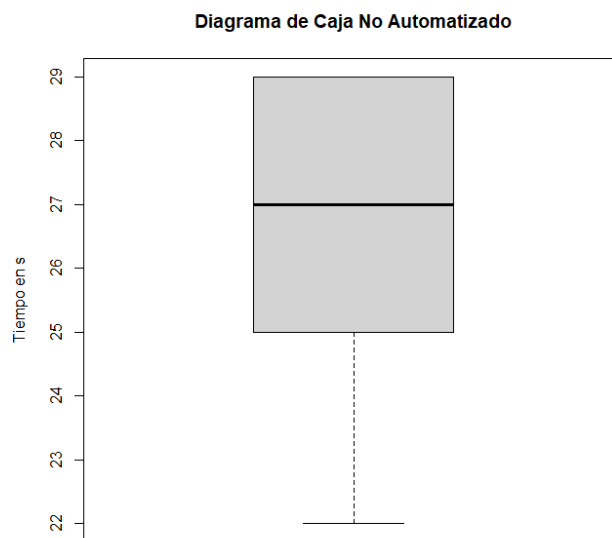
**Tabla 14**  
Diagramas de caja

Diagrama de caja tarde	Diagrama de caja noche
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valor mínimo: 6000 ms</li> <li>• Valor máximo: 11500 ms</li> <li>• Mediana: 8500 ms</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valor mínimo: 6500 ms</li> <li>• Valor máximo: 12000 ms</li> <li>• Mediana: 9500 ms</li> </ul>

Fuente: El autor.

#### 4.4. Gráfica y tendencias de la distribución de los datos con diagramas de caja con dispositivo no automatizado

Claramente la variación en el tiempo para la toma de los datos con el dispositivo automatizado es bastante uniforme que aquel con el dispositivo No automatizado.



**Figura 24** Diagrama de caja con dispositivo no automatizado

Fuente: El autor.

La mediana (Q2), ubicada en 27 segundos, indica que el 50% de los datos se encuentra por debajo de este valor y el 50% está por encima. Es una medida de tendencia central que es menos sensible a valores atípicos.

La caja representa el rango intercuartil (IQR), reflejando la dispersión intercuartil de los datos. Dado que la mediana es 27 segundos, la caja sugiere que el 25% de los datos está por debajo del primer cuartil (Q1) y el 25% está por encima del tercer cuartil (Q3).

La longitud de los bigotes indica la variabilidad total de los datos más allá de la caja. Si los bigotes son cortos, la variabilidad fuera de la caja es limitada. Los bigotes generalmente se

extienden hasta ciertos límites, y los valores fuera de estos límites podrían considerarse atípicos.

El valor mínimo es 25 segundos y el valor máximo es 29 segundos. Estos valores definen la amplitud total de los datos y, junto con los bigotes (whiskers), proporcionan información sobre la dispersión de los datos.

#### 4.5. Test de normalidad

##### 4.5.1. Test de normalidad de los datos de tiempo dispositivo automatizado

Para esta prueba se utiliza un “Test de Normalidad” de Shapiro-Wilk por el número de datos poblacionales.

**Tabla 15**

Shapiro-Wilk normality test

Variables	W	p-valor	Interpretación
Taza Efectiva	0.567295	0.0000023451	Puesto que el p-valor <0.05, los datos provienen de una distribución de probabilidades no normalizada con un 95% de significancia.

**Fuente:** El autor.

- data: Confiabilidad

Dado que el p-valor (0.0000023451) es menor que el nivel de significancia (0.05), se rechaza la hipótesis nula. La hipótesis nula en este contexto sería que los datos provienen de una distribución normal.

En términos prácticos, esto indica que los datos no siguen una distribución normal. En lugar de ello, provienen de una distribución de probabilidad no normalizada con un 95% de significancia.

##### 4.5.2. Test de normalidad de los datos de tiempo dispositivo no automatizado

Para esta prueba se utiliza un “Test de Normalidad” de Shapiro-Wilk por el número de datos poblacionales.

**Tabla 16**

Shapiro-Wilk normality test

Variables	W	p-valor	Interpretación
Taza Efectiva	0.128956	0.00000189250	Puesto que el p-valor <0.05, los datos provienen de una distribución de probabilidades no normalizada con un 95% de significancia.

**Fuente:** El autor.

- data: Confiabilidad

Al interpretar los resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, se observa un p-valor de 0.00000189250, el cual es menor que el nivel de significancia predeterminado de 0.05. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula que plantea que los datos provienen de una distribución normal. Según esta prueba, se concluye que los datos no siguen una distribución normal y, en su lugar, provienen de una distribución de probabilidad no normalizada con un 95% de significancia.

#### 4.6. Datos del Paciente A. Volumen de inspiración en (ml).

##### 4.6.1. Variación del volumen promedio de inspiración paciente con dispositivo automatizado

**Tabla 17**  
Descriptivos

Mean	sd	IQR	0%	25%	50%	75%	100%	n
1466.556	642.8645	888	641	1005	1479	1893	2528	9

**Fuente:** El autor.

El promedio del volumen aspirado en la toma de datos para el Paciente A es de 1466.556 ml con una desviación estándar de 642.8645 ml.

Se concluye que el volumen aspirado por el paciente A con el dispositivo automatizado es de 1466.556 ml en un día.

La variable "Volumen" tiene una media de alrededor de 1466.556, con una desviación estándar de 642.8645, lo que sugiere cierta variabilidad en los datos. El rango intercuartil (IQR) es de 888, indicando la dispersión en la parte central de la distribución. Los percentiles y el rango proporcionan información sobre la distribución de los datos en diferentes puntos. Con solo 9 observaciones, es un conjunto de datos relativamente pequeño.

##### 4.6.2. Variación del volumen promedio de aspiración paciente a dispositivo no automatizado

**Tabla 18**  
Variación del volumen promedio de aspiración

Mean	sd	IQR	0%	25%	50%	75%	100%	n
2444.444	283.3333	400	2100	2200	2500	2600	2900	9

El promedio del volumen aspirado en la toma de datos para el Paciente A es de 2444.444 ml con una desviación estándar de 283.3333 ml.

Se concluye que el volumen aspirado por el paciente A con el dispositivo no automatizado es de 2444.4444 ml en un día.

**Tabla 19**

Variación en la toma de los datos dispositivo Automatizado

Paciente A	m1 (ml)	m2 (ml)	m3 (ml)	t1 (ml)	t2 (ml)	t3 (ml)	n1 (ml)	n2 (ml)	n3 (ml)
Max	2528	641	2003	1479	706	1816	1128	1005	1893
Min	2405	635	1893	1362	577	1764	1122	992	1783
Diferencia	123	6	20	117	129	52	6	13	110

**Fuente:** El autor.

**Tabla 20**

Descriptivos

	Mean	sd	sé (mean)	IQR	0%	25%	50%	75%	100%	n
Volumen	6.555556	0.7264832	0.2421611	0.2421611	6	6	6	7	8	9

**Fuente:** El autor.

**Tabla 21**

Variación en la toma de los datos dispositivo No Automatizado

Paciente A	m1 (ml)	m2 (ml)	m3 (ml)	t1 (ml)	t2 (ml)	t3 (ml)	n1 (ml)	n2 (ml)	n3 (ml)
Max	3000	3200	3500	3200	3500	3500	2900	3200	3300
Min	900	700	1200	1000	800	600	800	600	700
Diferencia	2100	2500	2300	2200	2700	2900	2100	2600	2600

**Fuente:** El autor.

**Tabla 22**

Descriptivos

	Mean	sd	sé (mean)	IQ R	0%	25 %	50 %	75 %	100 %	n
Volume	2444.44	283.333	94.4444	400	0.115909	210	220	250	2900	9
n	4	3	4		1	0	0	0		

**Fuente:** El autor.

Se nota la mayor variación en los datos que se recolectaron con el dispositivo no automatizado que aquellos que se recolectaron con el dispositivo automatizado, evidenciándose en el coeficiente de variación,  $0.1108 < 0.1159$ .

#### 4.7. Prueba de hipótesis

Ho: El prototipo IoMT implementado en el espirómetro volumétrico permite obtener los datos de la capacidad inspiratoria de los pacientes con neumonía en el centro de terapia física Fisiostar de la ciudad de Tulcán, con mayor precisión, en un tiempo menor y con datos más confiables con respecto al dispositivo comercial no automatizado.

H1: El prototipo IoMT implementado en el espirómetro volumétrico permite obtener los datos de la capacidad inspiratoria de los pacientes con neumonía en el centro de terapia física Fisiostar de la ciudad de Tulcán, con menor o igual precisión, en un tiempo mayor o igual y con datos menos confiables con respecto al dispositivo comercial no automatizado.

Para la demostración de la Hipótesis, se ha dividido está en tres partes:

1. Primera parte: Los datos recolectados con el dispositivo automatizado se obtienen con mayor precisión en el volumen con respecto al dispositivo no automatizado
2. Segunda parte: Los datos recolectados con el dispositivo automatizado se obtienen en menor tiempo con respecto al dispositivo no automatizado
3. Tercera parte: Los datos recolectados con el dispositivo automatizado se obtienen con mayor confiabilidad en el tiempo con respecto al dispositivo no automatizado

#### 4.7.1. Primera parte

Para la verificación de la Hipótesis PRIMERA PARTE se utilizó un TEST NO PARAMÉTRICO DE WILCOXON para una muestra con Hipótesis nula:  $\mu=0.0$ .

**Tabla 23**

Wilcoxon signed rank test with continuity correction.

W	p-valor	Interpretación
135	0.1923	Puesto que el p-valor > 0.05 (5%) se acepta la hipótesis nula.

**Fuente:** El autor.

- data: Precisión

En las tablas de variación se puede ver también la gran diferencia que existe entre los datos mínimo y máximo para los datos del dispositivo no automatizado. El dispositivo automatizado tiene una menor variación. Esta diferencia puede atribuirse a la dificultad del paciente A en recolectar los datos de manera confiable.

#### 4.7.2. Segunda parte

Para la verificación de la hipótesis segunda parte se utilizó un test no paramétrico de Wilcox para una muestra con hipótesis nula:  $\mu=0.0$ .



**Tabla 24**

Wilcoxon signed rank test with continuity correction.

W	p-valor	Interpretación
135	0.2364	Puesto que el p-valor > 0.05 (5%) se acepta la hipótesis nula.

**Fuente:** El autor.

- data: Volumen

**4.7.3. Tercera parte**

Para esta prueba se utiliza un coeficiente de Spearman.

**Tabla 25**

Matriz de correlaciones dispositivo automatizado

Tiempo de muestra	# 1 mañana (ms)	# 2 mañana (ms)	# 3 mañana (ms)	# 1 tarde (ms)	# 2 tarde (ms)	# 3 tarde (ms)	# 1 noche (ms)	# 2 noche (ms)	# 3 noche (ms)
# 1 mañana (ms)	1.000000 0	0.999634 8	0.999912 4	0.999256 6	0.999701 9	0.999857 3	0.999794 9	0.999794 2	0.999804 7
# 2 de la mañana (ms)	0.999634 8	1.000000 0	0.999515 6	0.999826 6	0.999887 9	0.999678 3	0.999884 4	0.999743 8	0.999690 8
# 3 de la mañana (ms)	0.999912 4	0.999515 6	1.000000 0	0.999205 3	0.999673 4	0.999809 6	0.999707 9	0.999762 0	0.999755 9
# 1 de la tarde (ms)	0.999256 6	0.999826 6	0.999205 3	1.000000 0	0.999782 3	0.999260 4	0.999680 9	0.999533 7	0.999548 7
# 2 de la tarde (ms)	0.999701 9	0.999887 9	0.999673 4	0.999782 3	1.000000 0	0.999714 2	0.999892 4	0.999819 0	0.999775 5
# 3 de la tarde (ms)	0.999857 3	0.999678 3	0.999809 6	0.999260 4	0.999714 2	1.000000 0	0.999682 4	0.999888 0	0.999629 1
# 1 de la noche (ms)	0.999794 9	0.999884 4	0.999707 9	0.999533 7	0.999892 4	0.999682 4	1.000000 0	0.999749 6	0.999864 3
# 2 de la noche (ms)	0.999794 2	0.999743 8	0.999762 0	0.999533 7	0.999819 0	0.999888 0	0.999749 6	1.000000 0	0.999741 6
# 3 de la noche (ms)	0.999804 7	0.999690 8	0.999755 9	0.999548 7	0.999775 5	0.999629 1	0.999864 3	0.999741 6	1.000000 0

**Fuente:** El autor.

Se puede evidenciar una muy fuerte correlación entre todas las medidas de tiempo para el dispositivo automatizado. Se establece que el dispositivo tiene una fuerte confiabilidad en las tomas de los datos.

**Tabla 26**

Matriz de correlaciones dispositivo no automatizado

	Tiempos medios (ms) M	Tiempos medios (ms) N	Tiempos medios (ms) T
Tiempos medios (ms) M	1.0000000	-0.2893643	0.474359
Tiempos medios (ms) N	-0.2893643	1.0000000	0.238300
Tiempos medios (ms) T	0.4743590	0.2383000	1.0000000

**Fuente:** El autor.

Se puede evidenciar una muy baja correlación entre todas las medidas de volumen para el dispositivo no automatizado. Se establece que el dispositivo tiene una baja confiabilidad en las tomas de los datos.

#### **4.8. Control de calidad y estudio de la métrica 6σ (Software R con RComander)**

Dentro del estudio del control de calidad de un prototipo son importantes:

- La calidad y competitividad
- La productividad
- La medición del desempeño
- La variabilidad

Dentro del ciclo de calidad es necesario desarrollar proyectos de mejora: planear, hacer, verificar y actuar (PHVA).

Un PHVA se puede realizar en ocho pasos:

1. Seleccionar y caracterizar cualquier problema en el diseño e implementación del prototipo
2. Buscar todas las posibles causas del problema
3. Investigar las causas más importantes
4. Considerar las medidas de remediación
5. Implementar las posibles medidas de remedio
6. Revisar los resultados obtenidos
7. Prevenir la recurrencia del problema (si este persiste)
8. Y finalmente, concluir con una mejora en la calidad

En este trabajo de investigación, el control de calidad del dispositivo automatizado se basa en el tiempo de toma de datos y el volumen medido en cada aspiración y de la eficiencia en el manejo y resultados.

- **Coefficiente** de variación en el tiempo de toma de una medida y del volumen reportado dispositivo no automatizado

$$Cv = (27/135) * 100 = 19.26\%$$

- **Coefficiente** de variación en el tiempo de toma de una medida y del volumen reportado dispositivo automatizado

$$CV = (2.25/16.03) * 100 = 14.03 \%$$

Conclusión:

Existe una menor variación en el porcentaje de Coeficiente de Variación en el Tiempo de toma de una medida y del Volumen reportado del Dispositivo Automatizado frente al Coeficiente de Variación en el Tiempo de toma de una medida y del Volumen reportado del dispositivo NO automatizado.

- **Índice de capacidad potencial de proceso**

$$Cp = \frac{(ES - EI)}{6\sigma} = \frac{\text{Variación Tolerada}}{\text{Variación Real}}$$

ES: especificación superior para la característica de calidad

EI: especificación inferior para la característica de calidad

$6\sigma$  es 6 veces la desviación estándar, es la variación real debido a las distribuciones normales donde se afirma que entre  $\mu \pm 3\sigma$  se encuentra 99.73% de los valores de una variable con distribución normal.

Se toma la variación tolerada como 135 s, (al 95% de confiabilidad)

$$Cp = \frac{(120)}{6(14)} = 1.42$$

Conclusión:

Puesto que  $Cp=1.42$  es mayor que 1.33, la clase del proceso es 1 con una decisión adecuada.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

##### 5.1.1. Conclusiones Generales

- Se logró el desarrollo exitoso de un prototipo IoMT para medir la capacidad inspiratoria de pacientes con neumonía utilizando la Programación Python, cumpliendo con los objetivos establecidos.
- La implementación del prototipo IoMT en el espirómetro ha demostrado ser una solución tecnológica eficaz para el monitoreo automatizado de pacientes con neumonía, mejorando la eficiencia en el centro de terapia física Fisiostar en la ciudad de Tulcán.
- El período de implementación, comprendido entre abril y julio de 2023, permitió alcanzar los hitos establecidos en el proyecto, evidenciando una planificación y ejecución adecuadas.

##### 5.1.2. Conclusiones específicas

- El diseño y desarrollo del prototipo automatizado, fusionando la tecnología IoMT, modelado 3D y una Raspberry Pi 3 programada en Python, ha resultado en un sistema integral que facilita el almacenamiento y análisis automáticos de los datos del tratamiento de los pacientes con neumonía.
- La construcción del espirómetro automatizado, integrando un espirómetro incentivador volumétrico Coach 2, ha proporcionado una solución innovadora que permite a los pacientes llevar a cabo su tratamiento de manera autónoma y eficiente.
- La implementación del prototipo del espirómetro volumétrico automatizado se validó mediante pruebas repetidas, asegurando su correcto funcionamiento y adaptación al entorno clínico del centro de terapia física Fisiostar de la ciudad de Tulcán.
- El análisis comparativo entre el tratamiento de pacientes con neumonía utilizando un espirómetro comercial no automatizado y aquellos que utilizaron el prototipo automatizado reveló diferencias significativas, destacando la eficacia y potencial mejora del tratamiento con la implementación de la tecnología IoMT.

- En resumen, la integración de la Internet de las Cosas Médicas (IoMT) en el espirómetro ha demostrado ser una estrategia prometedora para mejorar la atención y el monitoreo de pacientes con neumonía, destacando su viabilidad técnica y beneficios potenciales en comparación con métodos convencionales.

## 5.2. Recomendaciones

- **Optimización del Prototipo:**

Continuar con el desarrollo y refinamiento del prototipo IoMT, buscando posibles mejoras en la eficiencia y precisión de las mediciones. Esto puede incluir la optimización del código Python, ajustes en la configuración de la Raspberry Pi, y la exploración de tecnologías emergentes para la mejora continua del sistema.

- **Integración de Retroalimentación del Usuario:**

Incorporar elementos de retroalimentación del usuario en el diseño del prototipo. Obtener comentarios directos de los pacientes y profesionales de la salud en el centro de terapia física Fisiostar puede ayudar a perfeccionar la experiencia del usuario y abordar cualquier problema específico.

- **Escalabilidad y Generalización:**

Evaluar la posibilidad de escalar el uso del prototipo a otros centros de terapia física o entornos clínicos similares. Asegurarse de que el sistema pueda adaptarse a diferentes contextos y condiciones médicas, considerando la diversidad de pacientes y necesidades.

- **Seguridad de Datos:**

Implementar medidas adicionales de seguridad para proteger la privacidad y confidencialidad de los datos de los pacientes. Considerar la encriptación de datos y la adopción de prácticas de seguridad recomendadas para garantizar la integridad y privacidad de la información recopilada.

- **Capacitación y Soporte Técnico:**

Proporcionar capacitación adecuada al personal del centro de terapia física Fisiostar en el uso y mantenimiento del prototipo IoMT. Establecer un sistema de soporte técnico para abordar cualquier problema o pregunta que pueda surgir durante la implementación y operación continua.

- **Investigación Adicional:**

Fomentar la investigación continua en el ámbito de la aplicación de la IoMT en el monitoreo y tratamiento de pacientes con neumonía. Explorar nuevas oportunidades y tecnologías emergentes que puedan enriquecer la funcionalidad del prototipo y contribuir al avance del campo.

- **Colaboración Interdisciplinaria:**

Fomentar la colaboración con profesionales de la salud, ingenieros biomédicos y otros expertos en disciplinas relacionadas. La colaboración interdisciplinaria puede proporcionar perspectivas valiosas para mejorar la efectividad clínica del prototipo y su integración en entornos médicos.

Estas recomendaciones buscan fortalecer y ampliar el impacto positivo del proyecto, asegurando su utilidad práctica, seguridad y relevancia continua en el ámbito de la terapia física para pacientes con neumonía.

## BIBLIOGRAFÍA:

- [1] O. Ruas, «Internet de las cosas en salud IoMT,» *Researchgate*, pp. 20-45, Octubre 2020.
- [2] J. Cortés, S. Cuervo, L. Nocua, M. Valderrama, E. Sánchez, A. Saavedra, J. Torres, D. Forero, C. Álvarez, A. Leal, J. Pérez, I. Rodríguez, F. Guevara, C. Saavedra, E. Vergara, F. Montúfar, T. Espinoza, W. Chavez, J. Carriosa, S. Meléndez, C. Espinoza, F. García, I. Guzmán, S. Cortés, J. Díaz y N. González, «Guía de práctica clínica para el manejo de la neumonía adquirida en la comunidad,» *Revista de la Facultad de Medicina*, vol. 70, n° 2, 2022.
- [3] OPS & OMS, Marco de Implementación de un Servicio de Telemedicina, Washington, D. C.: PAHO/WHO eHealth Program, 2016.
- [4] M. Guell, «Rehabilitación respiratoria: del arte a la evidencia,» *Open Respiratory Archives*, vol. 4, n° 1, pp. 1-6, January - March 2022.
- [5] J. Cortés, S. Cuervo, C. Nocua, M. Valderrama, E. Sánchez, A. Saavedra, J. Torres, D. Forero, C. Álvarez, A. Leal, J. Enríquez, I. Rodríguez, F. Guevara, C. Saavedra, E. Vergara, F. Montúfar, T. Espinoza, W. Chavez, J. Carrizosa, S. Meléndez, C. Espinoza, F. García, I. Guzmán, L. Sergio, J. Díaz y N. González, «Guía de práctica clínica para el manejo de la neumonía adquirida en la comunidad,» *Revista de la Facultad de Medicina*, vol. 70, n° 2, pp. 110-186, 2022.
- [6] L. Reyes y G. Camilo, «Caracterización clínica de los pacientes con paneles de Neumonía detectados en el hospital general de la plaza De la salud. Noviembre, 2020-septiembre, 2022,» 2023. [En línea]. Available: <https://repositorio.unphu.edu.do/handle/123456789/5195>.
- [7] J. Sommer, A. Torre, N. Bibiloni, F. Plazzotta, F. Vázquez, S. Terrasa, B. Boietti, L. Bruchanski, L. Mazzuocolo y D. Luna, «Telemedicina: validación de un cuestionario para evaluar la experiencia de los profesionales de la salud,» *Revista Panamericana de Salud Publica*, n° 46, 2022.
- [8] Asociación de Colombiana de Neumología y Cirugía de Tórax, «Enfoque 2. Rehabilitación Pulmonar y Neuromuscular,» *Revista Colombiana de Neumología*, vol. 34, n° 1, pp. 27-40, 2022.
- [9] W. Chango, T. Olivares y F. Delicado, «Topologías en el Internet de las Cosas Médicas (IoMT), revisión bibliográfica,» *Revista Tecnológica Espol – RTE*, vol. 34, n° 4, pp. 120-136, Diciembre 2022.
- [10] A. Chacón, R. Figueroa, N. Martínez, R. Gaitán y Y. Lanza, «Ejercicio físico y terapia respiratoria sobre la condición física, la calidad de vida y las funciones ejecutivas en un superviviente de neumonía inducida por SARS-CoV-2,» *Retos*, vol. 1, n° 47, pp. 339-346, 2023.
- [11] G. Romero, J. González, C. Rodríguez, R. Timiraos, M. Molina, M. Galego, R. García, G. González y R. Pérez, «Las 4 reglas de la espirometría,» *Habilidades terapéuticas - Cuadernos de atención primaria*, vol. 20, n° 1, pp. 7-50, 2013.

- [12] R. Cerceau, «Inteligencia artificial en la salud,» *Revista del grupo de Investigación - ITDATA*, vol. 1, nº 1, 2021.
- [13] Nutrición vida y salud, «10 Principales Causas de Muerte en Ecuador,» 2019. [En línea]. Available: <https://nutricionvidaysalud.org/10-principales-causas-de-muerte-en-ecuador/>.
- [14] A. Rodríguez, J. Velloso, C. Ruíz, C. Abecia y J. Seco, «Los ejercicios respiratorios postoperatorios reducen el riesgo de complicaciones pulmonares en pacientes sometidos a lobectomía,» *Archivos de Bronconeumología*, vol. 52, nº 7, pp. 347-353, Julio 2016.
- [15] F. Ibañez, «Sistema experto para la interpretación de Espirometría y Difusión pulmonar,» 2023. [En línea]. Available: <https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/147493/3/fibanezaTFM0123memoria.pdf>.
- [16] M. Herrero, A. García, E. Rositi y D. Villalba, «Fisioterapia respiratoria en sujetos adultos cursando internación por neumonía adquirida en la comunidad. Revisión bibliográfica,» *Anales de la Facultad de Ciencias Médicas (Asunción)*, vol. 56, nº 2, pp. 109-116, Agosto 2023.
- [17] M. Grilli, «Internet de las Cosas y su aplicación en Salud,» *Revista FASGO*, vol. 22, nº 3, pp. 97-112, Agosto 2023.
- [18] R. Benítez, L. Torre, N. Villca, R. Del Río, R. Pérez, J. Vázquez, M. Silva, S. Cid y L. Gochicoa, «Espirometría: recomendaciones y procedimiento,» *Neumol Cir Torax*, vol. 75, nº 2, pp. 173-190, Abril - junio 2016.
- [19] R. Díaz y A. Gómez, «Espirómetro Electrónico Portátil con Visualización en Dispositivo Móvil,» *Scientia et Technica*, vol. 9, nº 1, pp. 154-160, Abril 2019.
- [20] E. Prieto y S. Domínguez, «Obtención del volumen de oxígeno en la caja torácica humana mediante el procesamiento de imágenes,» *Anuario 2020*, vol. 1, nº 1, pp. 121-130, 2020.
- [21] S. Arce y C. Calabrese, «Guía práctica para la adquisición de espirómetros,» *Revista Americana de Medicina Respiratoria (RAMR)*, vol. 21, nº 2, pp. 209-220, Junio 2021.
- [22] S. Cabrera, «Dispositivo portátil de análisis y aplicación para monitorización de datos espirométricos,» 2019. [En línea]. Available: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/89543/TFG-2597-CABRERA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [23] D. Rivero, «Espirometría: conceptos básicos,» *Revista alergia México*, vol. 66, nº 1, pp. 76-84, 2019.
- [24] F. Álvarez, V. Barchilón, F. Casas, M. Compán, L. Entrenas, J. Fernández, A. González, A. Hidalgo, M. Jiménez, G. García, J. López, M. Lubián, A. Morán, J. Quintano, M. Solís y C. Trillo, «Documento de Consenso sobre la espirometría en Andalucía,» *Medicina de Familia. SEMERGEN*, vol. 35, nº 9, pp. 457-468, 2009.
- [25] E. Calvo, A. Fernández, J. González, M. Lobo, E. Mascarós, J. Molina, D. Ocaña, J. Pérez, M. Pimentel, M. Román, G. Romero, P. Simonet, R. Timiraos, C. Trillo y A.



- Uréndez, Guía de procedimiento para la ESPIROMETRÍA en Atención Primaria, Sociedad Española de Medicina de Familia y Comunitaria, 2021.
- [26] D. López y C. Fraile, Manual de procedimientos de fisioterapia respiratoria en cirugía torácica, S. E. d. N. y. C. Torácica, Ed., Editorial Respira - Fundación Española del Pulmón SEPAR, 2023.
- [27] European School Health Education (ESHE), «¿SABES QUÉ ES UN ESPIRÓMETRO Y CUÁLES SON SUS FUNCIONES?,» 2021. [En línea].
- [28] I. García y V. Caranqui, «La visión artificial y los campos de aplicación,» *Tierra Infinita - Ciencias y Biodiversidad*, vol. 1, pp. 98-108, Enero - diciembre 2015.
- [29] V. Alvear, «Internet de las Cosas y Visión Artificial, Funcionamiento y Aplicaciones: Revisión de Literatura,» *Enfoque UTE*, vol. 8, nº Supl.1, pp. 244-256, 2017.
- [30] S. Amao, H. Callañaupa, A. Lima, J. Morocco, A. Quispe y M. Zegarra, «Visión artificial,» 2020. [En línea]. Available: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/64522930/VISION\\_ARTIFICIAL-libre.pdf](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/64522930/VISION_ARTIFICIAL-libre.pdf).
- [31] J. García, «Visión general de la inteligencia artificial en medicina,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/373139984>.
- [32] M. Paladino, «Inteligencia artificial en medicina. Reflexiones éticas desde el pensamiento de Edmundo Pellegrino,» *Cuadernos de Bioética*, vol. 34, nº 110, pp. 25-35, 2023.
- [33] J. Avila, M. Mayer y V. Quesada, «La inteligencia artificial y sus aplicaciones en medicina I: introducción antecedentes a la IA y robótica,» *Atención Primaria*, vol. 52, nº 10, pp. 778-784, 2020.
- [34] Y. Tabra, «Open CV library,» *ResearchGate*, 2023.
- [35] H. López, «Visión artificial aplicada a la detección de personas,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.uv.es/lapeva/Thesis/TFM\\_2022\\_Hector\\_Lopez\\_compressed.pdf](https://www.uv.es/lapeva/Thesis/TFM_2022_Hector_Lopez_compressed.pdf).
- [36] Á. Pisco, J. Regalado, J. Gutiérrez, O. Quimis, K. Marcillo y J. Marcillo, Fundamentos sobre la gestión de base de datos, Editorial Área de Innovación y Desarrollo, S.L., 2017.
- [37] C. Ricardo, Bases de datos, México D.F: McGraw-Hill, 2009.
- [38] M. Fernández, «Pequeña introducción a las bases de datos,» *Technical Report*, pp. 1-20, Marzo 2023.
- [39] H. Huillcen, F. Palomino y I. Soria, Introducción a las bases de datos con MySQL, Rivero/Arequipa, 2022.
- [40] S. Combaudon, MySQL 5.7: administración y optimización, Cornella de Llobregat: ENI, 2018.
- [41] J. Lozano, «Creación y gestión de una base de datos con MySQL y phpMyAdmin,» 2018. [En línea]. <https://hdl.handle.net/10953.1/9445>.
- [42] V. Agut, «Desarrollo de aplicaciones en la nube (cloud computing),» 2017. [En línea]. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5109245.pdf>.

- [43] A. Muñoz, *Introducción a Node.JS a través de Koans*, Universidad Politécnica de Madrid, 2013.
- [44] J. Sánchez, *JavaScript - Manual de referencia*, 2003.
- [45] CEPAL, *Tecnologías digitales para un nuevo futuro*, 2022.
- [46] LLYC IDEAS, «Uso de alta tecnología y digitalización del sector salud, ¿Realidad o ficción?,» 2021. [En línea]. Available: <https://ideas.llorenteycuenca.com/2021/09/uso-de-alta-tecnologia-y-digitalizacion-del-sector-salud-realidad-o-ficcion/>.
- [47] A. Sonavane, A. Khamparia y D. Gupta, «Una revisión sistemática sobre Internet de las cosas médicas: técnicas, problemas abiertos y direcciones futuras,» 2023. [En línea]. Available: <https://saludbydiaz.com/2023/07/16/una-revision-sistemica-sobre-internet-de-las-cosas-medicas-tecnicas-problemas-abiertos-y-direcciones-futuras/>.
- [48] M. Vidal, A. Delgado, D. Gutiérrez y A. Rodríguez, «Ciencia de Datos en Salud,» *Educación Médica Superior*, vol. 37, n° 1, 2012.
- [49] E. Vidal, «La salud como bien común global y su abordaje en la comunidad internacional: perspectivas desde la ética del cuidado,» *Cuadernos electrónicos*, vol. 5, n° 1, pp. 1-16, 2023.
- [50] TECNOSMART, «WebCam Logitech C270,» 2023. [En línea]. <https://www.tecnosmart.com.ec/producto/webcam-logitech-c270/>.
- [51] Raspberry, «Raspberry Pi 3 Model B+,» [En línea]. <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>.
- [52] Nextion, «NX4832T035,» [En línea]. <https://nextion.tech/datasheets/nx4832t035/>.
- [53] J. Damián, «Electrogeek,» 2020. [En línea]. <https://www.electrogeekshop.com/arduino-nano-pinout-y-caracteristicas/>.
- [54] J. Bedoya, «Desarrollo de microservicios para la nube utilizando eclipse Microprofile y Heroku,» 2022. [En línea]. <https://repositorio.pucese.edu.ec/handle/123456789/3194>.

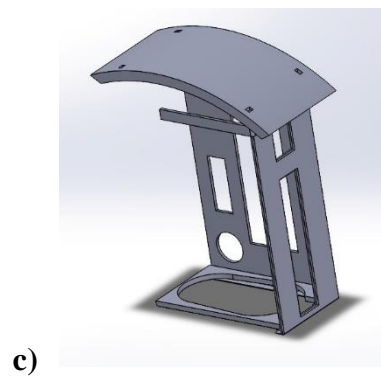
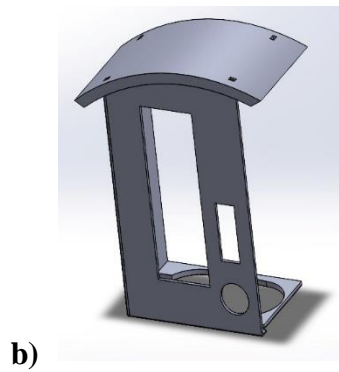
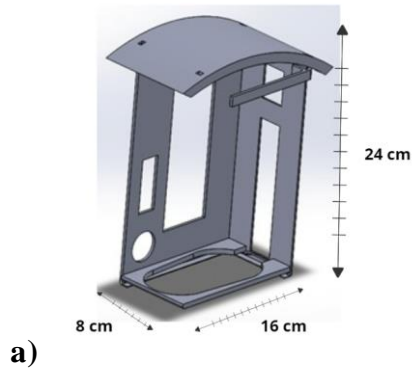
## ANEXOS

### *Anexo I* Diseño 3D del prototipo IoMT

El uso de SOLIDWORKS, combinado con la consideración cuidadosa de las dimensiones y la elección del material, sugiere un enfoque integral en la ingeniería del diseño del espirómetro dentro del prototipo IoMT. Este enfoque no solo tiene en cuenta la funcionalidad del dispositivo, sino también la viabilidad práctica y la experiencia del usuario, elementos fundamentales en el desarrollo de dispositivos médicos y tecnologías de la salud.

- a) Vista frontal
- b) Vista posterior
- c) Vista lateral

### Construcción del recubrimiento del espirómetro





FUNDACIÓN ECOSUR - ECUADOR

Riobamba, 12 de enero de 2023.

A la Escuela de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Chimborazo.

De nuestra mayor consideración:

Por este medio damos a conocer nuestro apoyo total y un cofinanciamiento, basado en el convenio que nuestra institución mantiene con la UNACH, para el desarrollo del trabajo de investigación titulado **"IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO IOMI EN UN ESPIRÓMETRO PARA LA MEDICIÓN DE LA CAPACIDAD INSPIRATORIA DE PACIENTES CON NEUMONÍA EN FISIOSTAR – TULCÁN,"** que el Dr. Marlon Basantes Valverde, Ph. D y su estudiante egresado Chiles Huera Ruber Alexis, desarrollará como proyecto de tesis de grado para la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones.

Con el firme compromiso de desarrollar estas actividades de investigación, en cooperación mutua en el marco ético y de acuerdo con lo establecido en el convenio entre nuestras Instituciones, informamos que dicha investigación es de gran importancia y forma de los ejes transversales dentro de los Proyectos que nuestra Institución desarrolla en Cooperación con Entidades Nacionales e Internacionales con el objetivo de mejorar la calidad de vida de las poblaciones más vulnerables que habitan en zonas que reciben poca o nula atención de nuestra sociedad.

El Dr. Basantes Valverde y su estudiante quedan comprometidos a cumplir con los objetivos planteados en su trabajo de investigación y los resultados obtenidos serán debidamente socializados entre todas las Instituciones que formamos parte de este Proyecto.

Somos conscientes de que la colaboración entre instituciones es vital para el avance científico y tecnológico de nuestro país, por lo que reiteramos nuestro total compromiso de seguir colaborando con ustedes en el desarrollo sostenible de estos proyectos sociales.

**ATENTAMENTE**  
  
Ing. Diego Coloma

DIRECTOR EJECUTIVO FUNDACIÓN ECOSUR-ECUADOR

c/c al Archivo ECOSUR

FUNDACIÓN ECOSUR ECUADOR  
RUC: 0691719766001

Fundación EcoSur Ecuador  
Brazo y Repaci Riobamba, Ecuador +593 9 92746524



Tulcán 13 de enero de 2023

A la Facultad de Ingeniería en la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Chimborazo.

De mi mayor consideración.

Por este medio me permito dar a conocer nuestro total apoyo al Sr. **Ruber Alexis Chiles Huera** que desarrollará su **Proyecto de Investigación** titulado "Implementación de un prototipo IoT en un espirómetro para la medición de la capacidad inspiratoria de pacientes con neumonía en Fisiostar - Tulcán" como requisito para su graduación como Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones.

Somos conscientes de que la colaboración es vital, por tal motivo brindaremos el apoyo financiero que servirá como aporte para el avance científico y tecnológico de nuestro país, por lo que reitero mi total compromiso de colaborar para el desarrollo correspondiente.

Atentamente



Lic. René Salazar  
Director Ejecutivo de Fisiostar

---

FISIOSTAR. / Calle Bolívar entre Ayacucho y 10 de Agosto – Tulcán / Telf: 062236146 – 0987533141 / [fisio\\_star@hotmail.com](mailto:fisio_star@hotmail.com)

Anexo IV Validación del proyecto por Ecosur



OFICIO No .....

Riobamba, a 09 de noviembre de 2023

Señores

ESCUELA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

FACULTAD DE INGENIERÍA, UNACH.

Presente

De nuestra consideración.

La Fundación EcoSur Ecuador les extiende sus más sinceros saludos y les desea éxitos en sus funciones que muy acertadamente realizan en la búsqueda de la excelencia académica.

Con la finalidad de validar el proyecto de investigación de tesis "IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO IoT EN UN ESPIRÓMETRO PARA LA MEDICIÓN DE LA CAPACIDAD INSPIRATORIA DE PACIENTES CON NEUMONÍA EN FISIOSTAR-TULCÁN" desarrollado por el señor estudiante Chiles Huera Ruber Alexis, se procedió a constatar de manera presencial en nuestras instalaciones el diseño, la implementación y el funcionamiento del Prototipo, ahora propiedad de la Fundación EcoSur-Ecuador por el Apoyo y Financiamiento brindados. Entonces, cumplimos con informar que esta investigación cumple con todos los objetivos y requerimientos planteados por nosotros lo cual conllevará posteriormente a la socialización de este proyecto ante todas aquellas entidades que podrían ser partícipes de la tecnología desarrollada.

Es todo cuanto podemos informar en honor a la verdad.

Por la atención que se sirvan dar a la presente, anticipamos nuestros sinceros agradecimientos.

Atentamente.

Ing. Diego Coloma

DIRECTOR EJECUTIVO FUNDACIÓN ECOSUR-ECUADOR

## Anexo V Detección y reconocimiento del color amarillo

La programación para el reconocimiento del color amarillo fue la siguiente:

```
# Convertir el frame de BGR a HSV
hsv = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2HSV)

# Definir los rangos de color amarillo en HSV
lower_yellow = np.array([7, 101, 164])
upper_yellow = np.array([68, 255, 255])

# Crear una máscara para filtrar el color amarillo en la zona de interés
mask = cv2.inRange(hsv[zona_interes[0]:zona_interes[1], zona_interes[2]:zona_interes[3]], lower_yellow, upper_yellow)

# Aplicar la operación de morfología a la máscara
kernel = cv2.getStructuringElement(cv2.MORPH_ELLIPSE, (5,5))
mask = cv2.morphologyEx(mask, cv2.MORPH_OPEN, kernel)
mask = cv2.morphologyEx(mask, cv2.MORPH_CLOSE, kernel)
mask = cv2.dilate(mask, kernel, iterations=10)

# Encontrar los contornos en la máscara
contours, _ = cv2.findContours(mask, cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)[-2:]

# Encontrar el rectángulo delimitador para cada contorno
bounding_rects = [cv2.boundingRect(contour) for contour in contours]
```

**Figura 25** Programación para la detección del color amarillo

**Fuente:** El autor.

Se establece un rango de colores RGB entre 2 extremos, es decir, se recopiló la información dentro del rango establecido de los extremos de la figura (Rango de la matriz del color amarillo), debido a los cambios de luminosidad que puedan existir en el ambiente.

**Tabla 27**

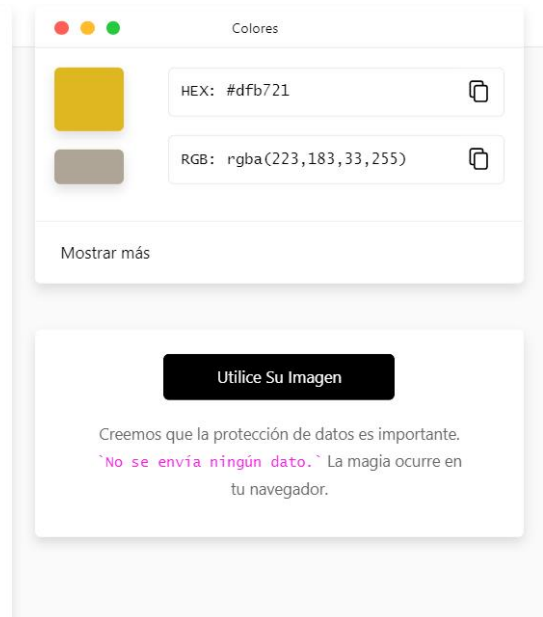
Rango de la matriz del color amarillo

<b>AMARILLO</b>	<b>R</b>	<b>G</b>	<b>B</b>
<b>Extremo Alto</b>	164	101	7
<b>Extremo Bajo</b>	255	255	58

**Fuente:** El autor.

Una vez establecidos los rangos del color se procede a insertar un rectángulo que delimita el área para poder obtener los datos de interés.

El valor RGB del pistón en un ambiente con una luminosidad moderada se lo puede observar en la figura (pistón), con un valor RGB (223, 183, 33), por lo tanto, el color es detectado ya que se encuentra dentro del rango establecido.



**Figura 26** Valor en RGB del pistón

**Fuente:** El autor.

- **Cámara y recolección de datos**

Establecer rangos horarios para la recolección de datos diarios mediante el prototipo IoMT es una medida importante para garantizar una recopilación consistente y confiable de información. Esta programación puede ser acordada entre el paciente y el especialista y puede estar relacionada con los momentos óptimos para la medición de los datos o con las recomendaciones médicas. A continuación, se presenta un ejemplo de cómo se establecieron estos rangos horarios:

```
# Definir los rangos de tiempo para las mediciones
rango_mañana = range(0,13) # De 8 a 13 AM
rango_tarde = range(13, 19) # De 2 a 4 PM
rango_noche = range(19,24) # De 8 a 10 PM
```

**Figura 27** Horarios establecidos para la toma de datos

**Fuente:** El autor.

Se recomienda realizar las mediciones de la capacidad inspiratoria en momentos específicos del día cuando la función pulmonar pueda ser más representativa. Por ejemplo:

- Mañana: Entre las 8:00 a.m. y las 12:59 a.m.
- Tarde: Entre las 13:00 p.m. y las 6:59 p.m.
- Noche: Entre las 8:00 p.m. y las 10:00 p.m.



Anexo VI Reporte fotográfico

**Capacitación en FizioStar Tulcán**



**Introducción al especialista**



**Introducción al paciente C**



**Introducción al paciente A**

**Verificación de avances**



**Interfaz de usuario**



**Cámara Web**

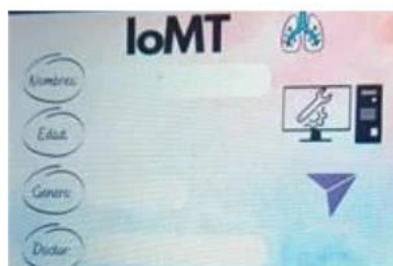


**Explicación**

**Interfaces**

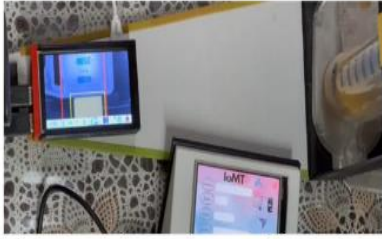


**Página Web especialista**



**Interfaz de usuario paciente**

## PROTOTIPO IoT



Interfaz de usuario y detección color amarillo



Vista superior



Prototipo en pruebas

## FisioStar



Visitas al centro de terapia física



Interpretación del especialista