

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“Desarrollo de un Prototipo de Plataforma de Telefisioterapia para Alteraciones en la Función Motora de las Extremidades utilizando Internet de las Cosas Médicas (IoMT) y Telemedicina.”

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

MAGÍSTER EN INGENIERÍA BIOMÉDICA

Presentado por:

Michelle Dayana Villalva Chaluisa

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico principalmente a Dios, quien con su inmensa sabiduría me ha permitido ir construyendo un propósito de vida y me ha brindado innumerables bendiciones.

A mis padres, Mónica y Gustavo, quienes han educado a sus hijos bajo valores no negociables y han motivado a cada uno de ellos a conseguir sus mayores anhelos y sueños.

A mis hermanos, Daniela y Emil, porque en los momentos más difíciles he contado con su apoyo incondicional y sus palabras de aliento para continuar.

Michelle Villalva

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a mis padres, por demostrarme con su ejemplo que cualquier meta es alcanzable, si se trabaja con mucho esfuerzo y determinación.

A mi mejor amiga, Gabriela, por su complicidad en cada aspiración que emprendo y aún más en el presente trabajo desde su enfoque profesional.

A mi tutor, Leonel Vasquez, quien aportó con su conocimiento e ideas para el avance y culminación de este trabajo de titulación.

Michelle Villalva

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Michelle Villalva* doy mi consentimiento para que la ESPOl realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Michelle Villalva

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

Ph.D. María Antonieta Álvarez Villanueva
SUBDECANA DE LA FIEC



Firmado electrónicamente por:
LEONEL ADALBERTO
VASQUEZ CEVALLOS

Ph.D. Leonel Vasquez Cevallos
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN



Firmado electrónicamente por:
VICTOR MANUEL
ASANZA ARMIJOS

MSc. Víctor Asanza Armijos
MIEMBRO PRINCIPAL DEL TRIBUNAL

RESUMEN

Debido a la rápida propagación del coronavirus (COVID-19) en Ecuador, los pacientes requieren con mayor frecuencia sistemas de telemedicina que les permitan recibir asistencia médica en diferentes especialidades. Esta tesis presenta una plataforma de telerehabilitación física para alteraciones en la función motora de las extremidades para evitar la exposición innecesaria de los pacientes a causa de la pandemia. Los conceptos de Internet de las cosas médicas (IoMT) y telemedicina se emplean para integrar la terapia convencional con funciones tecnológicas. Los requisitos clínicos y tecnológicos de la plataforma se obtuvieron a partir de tres tipos de encuestas aplicadas a los participantes del proyecto. La plataforma Web fue desarrollada para la interacción entre fisioterapeutas y pacientes. Se incluyeron en la plataforma características como: videoconferencia con terapeutas, programación de citas médicas de manera remota, monitoreo en tiempo real para proveer soporte a los usuarios. Al mismo tiempo, este prototipo implementó sensores biomédicos, necesarios para medir signos vitales y variables para conocer el progreso del tratamiento. El rendimiento del prototipo fue definido mediante una evaluación médica, técnica y financiera. Desde el punto de vista clínico, los resultados muestran la viabilidad del prototipo para diagnosticar y tratar pacientes, especialmente con el sensor de electromiograma.

Palabras Clave: Telemedicina, telefisioterapia, IoMT, sensor biomédico

ABSTRACT

Due to the rapid spread of coronavirus (COVID-19) in Ecuador, patients require telemedicine systems more frequently that allow them to receive medical assistance in different specialties. This thesis presents a platform of physical telerehabilitation for alterations in the motor function of the limbs to avoid needless exposure to patients because of the pandemic. The concepts of the internet of medical things (IoMT) and telemedicine are employed to integrate conventional therapy with technological functions. Clinical and technological requirements for the platform were obtained from three types of surveys applied to project participants. The Web platform was developed for the interaction between physiotherapists and patients. Features as videoconference with therapists, remote scheduling, real-time monitoring were included in the platform to provide support to users. In addition, this prototype implemented biomedical sensors, which are necessary to measure vital signs and variables to know treatment progress. The performance of prototype was defined by medical, technical and, financial evaluation. From the clinical point of view, the results show the viability of the prototype to diagnose and treat patients, especially with the electromyogram sensor.

Keywords: *Telemedicine, telerehabilitation, IoMT, biomedical sensor*

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTOS	III
DECLARACIÓN EXPRESA.....	IV
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN.....	V
RESUMEN.....	VI
<i>ABSTRACT</i>	VII
ÍNDICE GENERAL	8
ABREVIATURAS.....	11
ÍNDICE DE FIGURAS	12
ÍNDICE DE TABLAS.....	14
CAPÍTULO 1.....	15
1. Introducción	15
1.1 Planteamiento de la Problemática.....	15
1.1.1 Identificación del Problema.....	15
1.1.2 Justificación	16
1.2 Solución Propuesta	17
1.3 Objetivos	19
1.3.1 Objetivo General.....	19
1.3.2 Objetivos Específicos.....	19
1.4 Metodología.....	19
1.5 Alcance.....	20
1.6 Organización del Documento	21
CAPÍTULO 2.....	23
2. MARCO TEORICO Y CONTEXTUAL	23

2.1	Alteraciones en la Función Motora de las Extremidades.....	24
2.2	Fisioterapia.....	25
2.3	Telemedicina para Fisioterapia	27
2.4	Internet de las Cosas Médicas en Fisioterapia.....	30
2.5	Plataforma de Telefisioterapia.....	32
CAPÍTULO 3.....		34
3.	DISEÑO DE LA PLATAFORMA DE TELEFISIOTERAPIA.....	34
3.1	Requerimientos para el Diseño y Desarrollo	34
3.1.1	Caracterización de la Población.....	34
3.1.2	Identificación de las Zonas y Sectores Geográficos de Interés	36
3.1.3	Necesidades en la Fisioterapia de las Funciones Motoras de las Extremidades	37
3.2	Metodología de Diseño y Desarrollo.....	40
3.2.1	Introducción	40
3.2.2	Estudio de Campo	41
3.2.3	Usuarios de la Plataforma.....	41
3.2.4	Especificación de Requisitos Funcionales y No Funcionales	42
3.2.5	Especificación de Requisitos Técnicos	44
3.3	Diseño de la Metodología de Evaluación	49
3.3.1	Registros Automáticos de Parámetros de Uso	49
3.3.2	Evaluación Técnica: Calidad Técnica, Confiabilidad y Usabilidad.....	50
3.3.3	Evaluación Financiera: Costo/Beneficio.....	54
CAPÍTULO 4.....		56
4.	RESULTADOS	56
4.1	Arquitectura de la Plataforma de Telefisioterapia.....	56
4.2	Resultados de la Experimentación	61
4.3	Resultados de Evaluación Técnica.....	64

4.4	Registros Automáticos de Parámetros de Uso.....	65
4.5	Resultados de Evaluación Financiera	68
CAPÍTULO 5.....		70
Conclusiones.....		70
Recomendaciones.....		72
BIBLIOGRAFÍA.....		73
ANEXOS.....		76

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
IoT	Internet de las Cosas Médicas
COVID-19	Enfermedad por Coronavirus 2019
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
Web	Word Wide Web
EMG	Electromiografía
3D	Tridimensional
TICs	Tecnologías de Información y Comunicación
RUP	Proceso Unificado Racional
BD	Base de Datos
OMS	Organización Mundial de Salud
SARS-CoV-2	Virus del síndrome respiratorio agudo severo tipo-2
OAuth	Open Authorization
SSL	Secure Sockets Layer
SSH	Secure Shell
HTTPS	HyperText Transfer Protocol Secure
UML	Unified Modeling Language
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
I2C	Inter-Integrated Circuit
SPI	Serial Peripheral Interface
PHP	Hypertext Preprocessor
IDE	Integrated Development Environment

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Esquema de las regiones del cuerpo humano y sus componentes.....	23
Figura 2.2 Esquema de operación básico de IoMT	32
Figura 3.3 Edad de la población	35
Figura 3.4 Mapa de Quito y sus principales segmentos	36
Figura 3.5 Zonas Geográficas de Interés	37
Figura 3.6 Necesidades funcionales establecidos por los fisioterapeutas	39
Figura 3.7 Necesidades tecnológicas establecidos por los fisioterapeutas	39
Figura 3.8 Diagrama UML de tipo casos de uso.....	43
Figura 3.9 Diagrama de bloques del hardware propuesto	46
Figura 4.10 Porcentaje de encuestas por cada tipo de participante	56
Figura 4.11 Arquitectura de la plataforma de telefisioterapia SmartPhysio	57
Figura 4.12 Equipo de medición de parámetros fisiológicos de la plataforma SmartPhysio	58
Figura 4.13 Diagrama de secuencia de la plataforma SmartPhysio	59
Figura 4.14 Diagrama de estructura de datos de la plataforma SmartPhysio	60
Figura 4.15 Proceso de teleconsulta para la plataforma SmartPhysio	61
Figura 4.16 Página de inicio de la plataforma de telefisioterapia SmartPhysio	62
Figura 4.17 Página de registro de usuario en la plataforma de telefisioterapia SmartPhysio	63
Figura 4.18 Historia clínica del paciente en la plataforma de telefisioterapia SmartPhysio	63
Figura 4.19 Monitorización de parámetros fisiológicos en la plataforma de telefisioterapia SmartPhysio	64
Figura 4.20 Escenario 2 de prueba del funcionamiento de la plataforma de telefisioterapia SmartPhysio	64
Figura 4.21 Registros automáticos de parámetros de uso de la plataforma de telefisioterapia SmartPhysio	66

Figura 4.22 Prueba de conectividad en el equipo de cómputo del paciente.....	67
Figura 4.23 Prueba de conectividad en el equipo de cómputo del fisioterapeuta.....	67
Figura 24 Representación de los pines del sensor MXL90614.....	81
Figura 25 Representación de los pines del sensor MAX30100	81
Figura 26 Representación de los pines del sensor AD8832	82
Figura 27 Diagrama electrónico de la conexión de tarjetas y sensores.....	83
Figura 28 Diseño de la placa electrónica del equipo de medición	83
Figura 29 Sección del programa para conexión y envío de datos en ARDUINO	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Funciones de los miembros superior e inferior	24
Tabla 2.2 Aspectos principales de una evaluación fisioterapéutica	25
Tabla 2.3 Aspectos principales de una evaluación fisioterapéutica por subespecialidad	26
Tabla 2.4 Desventajas de la telemedicina	29
Tabla 3.5 Número de tratamientos fisioterapéuticos por terapia y región [9].....	34
Tabla 3.6 Encuesta usuarios para establecimiento de necesidades y expectativas.....	38
Tabla 3.7 Características del microcontrolador ARDUINO UNO y ARDUINO NANO ...	46
Tabla 3.8 Encuesta de satisfacción de la plataforma SmartPhysio	53
Tabla 4.9 Características de equipo de cómputo	57
Tabla 4.10 Resultados de encuesta de satisfacción de la plataforma SmartPhysio	65
Tabla 4.11 Presupuesto para la implementación de la plataforma SmartPhysio	68
Tabla 12 Funciones de los pines del sensor MXL90614	81
Tabla 13 Funciones de los pines del sensor MXL90614	82
Tabla 14 Rangos de operación el sensor AD8832	82

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento de la Problemática

1.1.1 Identificación del Problema

La función motora juega un rol importante en el desenvolvimiento normal de una persona, puesto que regula sus movimientos y habilidades tanto deportivas como cotidianas. Durante todo su ciclo de vida, una persona puede experimentar algún tipo de lesión, fractura o sufrir una enfermedad que pueda afectar la función motora de alguna de las partes de su cuerpo [1] [2] [3].

En este contexto, las personas con discapacidades y aquellas que han sufrido lesiones severas son las que con mayor frecuencia requieren servicios de rehabilitación, al presentar generalmente deficiencias de tipo físico [4]. En este sentido se ha observado que las extremidades superiores e inferiores son las partes del cuerpo que requieren en mayor porcentaje de terapias de rehabilitación física [5].

Actualmente, la rehabilitación física o fisioterapia con lleva una serie de procesos desde una evaluación clínica hasta el tratamiento, el cual será ejecutado por el terapeuta encargado acorde a la severidad del caso. Sin embargo, dicho tratamiento de rehabilitación está condicionado a la experiencia del terapeuta [6], que en muchas ocasiones no cuenta con herramientas tecnológicas o equipamiento biomédico que le permitan evaluar el rendimiento de los ejercicios realizados y su impacto sobre el paciente [7]; además que durante este proceso, el paciente puede desmotivarse al no ver resultados inmediatos [8].

Asimismo, debido a la emergencia sanitaria provocada por la pandemia COVID-19, los profesionales de rehabilitación física han visto la necesidad de contar con sistemas inteligentes que permitan capturar datos fisiológicos para dar procedimientos de rehabilitación a distancia. Así lo menciona la especialista en terapia manual, Gabriela Valencia, cuando afirma que: “El país está atravesando un período sumamente crítico donde la rehabilitación física debe introducir medios tecnológicos y telemáticos con el fin de seguir brindando el servicio y atención a todos pacientes que lo requieren; evitando la exposición innecesaria tanto del paciente como del profesional”. Una opinión similar

tiene la especialista y licenciada en terapia física, Madelem Ortiz, la cual menciona que: “Debido a la problemática mundial del COVID-19 se puede aprovechar el avance de la tecnología para dar un seguimiento eficaz al paciente y culminar de esta manera su tratamiento de fisioterapia, reduciendo así contagios para el paciente, familiares y profesionales a cargo”.

1.1.2 Justificación

En el Ecuador, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) [9] existe una considerable demanda de tratamientos de fisioterapia en sus diferentes modalidades, siendo la electroterapia y los ejercicios terapéuticos los más notables en número de atenciones con más de tres millones a nivel nacional. La demanda del servicio fisioterapéutico está ligada principalmente a que las personas ansían recuperar eventualmente su autonomía e independencia para volver progresivamente a su cotidianidad; mientras que en el caso de las personas con discapacidad puedan ser reinsertadas a la sociedad.

Con este antecedente, los procesos de fisioterapia deben innovarse constantemente con el fin de cumplir con todas las necesidades de este grupo de personas. Uno de los avances en esta área es la telerehabilitación física, la cual integra la rehabilitación convencional y las tecnologías emergentes de información para eliminar las barreras de accesibilidad [10] e incorporar funcionalidades tecnológicas a las diferentes etapas del tratamiento.

Varias herramientas se han incluido para llevar a cabo la telefisioterapia, tal es el caso de [11] y [12], los cuales utilizan una interacción virtual con el paciente a través de la herramienta Kinect para una terapia personalizada y enfatizando que parte del cuerpo se requiere trabajar; pero a su vez diferenciándose en que la segunda solo está enfocada a un grupo vulnerable como son los niños.

Por otro lado en [13], se plantea un dispositivo portátil conformado por 8 sensores de señal muscular no invasivos con el fin de evaluar la articulación de la rodilla e identificar la presencia de lesiones en la misma, a través del análisis del especialista físico. Mientras que en [8], se establece una telerehabilitación física aplicando el criterio “Juega por la Salud”, la cual permite mejorar el déficit físico y cognitivo a partir de varios controladores de juegos.

Por su parte en [14], se introduce una telerehabilitación física personalizada con la ayuda de sistemas robóticos con un diseño modular y que funciona a largas distancias. En [15] un dispositivo robótico es efectuado para que una interacción paciente-terapista empleando en su operación la percepción háptica. Similarmente en [16], incorpora la percepción háptica para mostrar una reconstrucción 3D del terapeuta, además de emplear una serie de sensores vestibulares para analizar los signos vitales y la fuerza a la que están sometidas las extremidades del paciente al realizar los diferentes ejercicios, permitiendo de esta manera evaluar el progreso del paciente en el sistema de telefisioterapia y cuya información posteriormente será almacenada en la nube.

En concordancia a la revisión de literatura cierta parte de las investigaciones emplean dispositivos de realidad virtual para realizar la telefisioterapia, mientras que otros utilizan juegos personalizados, sistemas robóticos o el concepto de percepción háptica para el desarrollo de la terapia física en los pacientes. Sin embargo, ninguno de los trabajos antes mencionados realiza un diseño de un servicio de telefisioterapia para la recuperación de la función motora de las extremidades, así como también se evidencia la falta de un sistema que reúna los criterios de IoMT y telemedicina en el Ecuador.

1.2 Solución Propuesta

Mediante la revisión del apartado anterior se evidencia la clara necesidad de la implementación de sistemas de telemedicina en el Ecuador que reúnan los criterios de prevención ante pandemias como la que actualmente el país está atravesando.

Por ello en el presente trabajo de titulación se realizará el diseño y desarrollo de un prototipo de plataforma de telefisioterapia para alteraciones en la función motora de las extremidades integrando los conceptos de telemedicina y el IoMT debido a que ofrecen cada uno de ellos una gran variedad de prestaciones. En lo que respecta a la telemedicina [17] elementos como: accesibilidad a los servicios de salud, eliminación de barreras geográficas con la conexión de los usuarios en diferentes ubicaciones, promoción del uso de las tecnologías de la información y comunicación (TICs) y en general el mejoramiento continuo de la situación sanitaria del país fueron factores decisivos para considerar este criterio como una de las bases principales para el prototipo planteado. Además, la telemedicina presenta varias modalidades para ser

analizadas dentro del diseño de la plataforma de telefisioterapia, a fin de impulsar calidad en el diagnóstico, evaluación y tratamiento de las terapias que la diversidad de pacientes demanda. Dentro de las modalidades se encuentran la teleconsulta, el telediagnóstico y la telefisioterapia, de las cuales la última hace posible generar un registro clínico del historial de las terapias para el control y seguimiento de los usuarios que refieren dolor no solo en los miembros inferiores sino también en los superiores [18]. Mientras que la teleconsulta propone un diagnóstico de manera indirecta, es decir una consulta sin contacto entre el profesional médico y el paciente [19], lo cual es esencial para frenar la propagación del COVID-19.

Asimismo, IoMT se fundamenta en la idea de interconectar varios dispositivos y aplicaciones que son empleados en el ámbito médico, con el fin de instaurar una comunicación e intercambio de información a través de las tecnologías de redes ampliamente desplegadas a nivel mundial [20]. De esta manera, al existir conectividad entre diversos dispositivos biomédicos crea la posibilidad de una monitorización y medición de variables fisiológicas en cualquier instante que el especialista considere que es oportuno realizar una evaluación y análisis del paciente. Generalmente, los dispositivos biomédicos usados son sensores que realizan una adquisición de información de parámetros relevantes como: frecuencia cardiaca, temperatura, peso entre otros. Específicamente, en este proyecto se propone la utilización de sensores para la medición de la temperatura y la saturación de oxígeno, que son indicadores básicos de la presencia de COVID-19, así como también más específicos como el sensor de señal muscular o electromiografía (EMG) que servirán para tratar la alteración motora que pudieran presentar los usuarios de la plataforma.

De esta manera, la implementación de la plataforma de telefisioterapia brindará a los especialistas del área una herramienta eficiente que les permita realizar un tratamiento terapéutico y rehabilitación a sus pacientes mediante el uso de sensores biomédicos; al mismo tiempo de maximizar todas las funcionalidades y modalidades que ofrece la telemedicina. Del mismo modo, la eliminación del riesgo de contraer el virus para los usuarios constituye una razón sumamente importante para emplear este recurso tecnológico.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar un prototipo de plataforma de telefisioterapia para pacientes que presentan alteraciones en la función motora de sus extremidades utilizando IoMT y telemedicina para mejorar la cobertura y servicio de atención en fisioterapias.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Realizar un estudio de campo para recolectar datos y conocer los requisitos previos para el diseño de la plataforma de telemedicina usando el concepto IoMT.
2. Analizar la información recolectada a través de encuestas acerca del número de pacientes que requieren el servicio de fisioterapia estableciendo las zonas de interés y qué tipo de terapias son ampliamente usadas que servirán en el diseño del prototipo.
3. Establecer los requerimientos clínicos y los actores necesarios en el sistema de telefisioterapia por medio de una retroalimentación con especialistas externos en la ciudad de Quito.
4. Establecer los requerimientos tecnológicos en hardware, software, infraestructura de red, IoMT y otros componentes del diseño.
5. Desarrollar un prototipo de plataforma Web de acuerdo a los lineamientos clínicos para la atención de un paciente y su interacción con el terapeuta, además de integrar los datos que se recojan mediante IoMT.
6. Desarrollar un análisis financiero costo/beneficio de la implementación del diseño de telefisioterapia.
7. Evaluar parámetros técnicos de la plataforma de telefisioterapia con los especialistas del área.

1.4 Metodología

Para la realización de este diseño, es necesario identificar los actores (el paciente, el fisioterapeuta, entre otros) que participarán activamente en el servicio de telefisioterapia, así como también las acciones que desarrollarían dentro del mismo.

Una vez determinado el rol que desempeñará cada uno de los actores y siendo que este prototipo deberá cumplir con las directrices de un sistema de telemedicina, es imprescindible desarrollar un plan de seguridad y protocolos que permitan proteger la

privacidad, confidencialidad de los pacientes y robo de información con el fin de disminuir sustancialmente ataques a la ciberseguridad del sistema y pudieran desencadenar perjuicios económicos o legales. Igualmente, es trascendental instaurar normas y leyes que sean aplicables al servicio de telefisioterapia, ya sea localmente o internacionalmente.

Dentro de los requerimientos tecnológicos que serán definidos en el diseño, se escogerán aquellos que se adapten de mejor manera y de acuerdo a la existencia de los mismos en el mercado cumpliendo los requisitos de hardware, software e infraestructura de red. Asimismo, se debe precisar los escenarios y el entorno en que el diseño va a funcionar. En lo que respecta a la plataforma Web, la metodología utilizada para el desarrollo de la estructura de software de la plataforma será el Proceso Unificado Racional (RUP por sus siglas en inglés Rational Unified Process), el cual es uno de los métodos más utilizados en la ingeniería de software. El RUP proporciona un uso estandarizado de procedimientos, metodologías y herramientas de las diferentes etapas en desarrollo.

En lo que respecta a la interacción paciente – fisioterapeuta, la plataforma Web permitirá el almacenamiento de la información proveniente de los sensores biomédicos conectados al paciente en una base de datos (BD) y en la nube. El fisioterapeuta mediante dispositivos móviles u ordenadores podrá acceder a la medición de percepción háptica (sensibilidad) de los sensores biomédicos localizados en las extremidades superiores de los pacientes para su posterior análisis y evaluación.

Además, se contará con la ayuda del fisioterapeuta para obtener los requerimientos de uso, su evolución, planeamiento de terapia, lista de ejercicios y otras funcionalidades que irán acompañadas con efectos visuales, imágenes explicativas y videos tutoriales para que el paciente no pierda la motivación. Al final se evaluará el prototipo con algunas métricas técnicas de desempeño como la usabilidad, confiabilidad y rendimiento del sistema de telefisioterapia.

1.5 Alcance

Como primer punto, es trascendental efectuar un estudio de campo por medio de la aplicación de tres tipos de encuestas con el fin de conocer los actores de esta

investigación, es decir quienes participarán directa e indirectamente en el servicio de telefisioterapia planteado. Conjuntamente, con los actores es fundamental establecer el diagrama de casos de uso, en el cual se identifica la estructura y relacionamiento de los actores, dando como resultado la definición de los flujos de trabajo y tareas que realizará cada uno de los actores junto con los requisitos obligatorios en el diseño. Del mismo modo, los requerimientos clínicos y técnicos son determinados en esta primera etapa, de acuerdo a la información proporcionada por los encuestados y actores: fisioterapeuta, paciente con alteración en función motora y administrador del sistema.

Posteriormente, al conocer el diagrama de casos de uso se inicia con el desarrollo Web por medio de los lenguajes de programación, de los cuales se empleará PHP al ser un código abierto y por la gran cantidad de información que existe del mismo. Adicionalmente, el gestor de BD es otro elemento que trabaja de manera conjunta con la plataforma Web y en cual se almacenará todo el historial clínico de los pacientes. En la mayoría de los casos los sistemas Web son accedidos desde cualquier lugar por medio del Internet; no obstante, al ser este trabajo un prototipo se limitará a realizar las pruebas de manera local. El establecimiento de la interfaz entre la plataforma Web con los sensores biomédicos es otro hito significativo en este trabajo, el cual será llevado a cabo a partir de la programación del microcontrolador ARDUINO.

Por último, la estimación del costo-beneficio que representaría para la sociedad el despliegue de este trabajo, así como también su impacto en los sistemas de telemedicina en el Ecuador.

1.6 Organización del Documento

Este documento de titulación se encuentra dividido en cinco capítulos, en los cuales existen una serie de referencias de otros trabajos y artículos científicos.

- En el **Capítulo I**, Introducción, se describe el planteamiento de la problemática que este trabajo pretende solucionar acompañada con su respectiva justificación. Adicionalmente, se determina el objetivo general y específicos, y alcance, en los cuales se enmarca la tesis. Finalmente, se propone la organización de la tesis.
- En el **Capítulo II**, Marco teórico, se presenta los conceptos, principios y el contexto necesario para conocer acerca de la fisioterapia, así como también el

desarrollo de la telemedicina en esta especialidad médica. También, se expone los avances en sistemas y plataformas para telefisioterapia.

- El diseño de la plataforma de telefisioterapia se detalla en el **Capítulo III**, en el cual se muestra la caracterización de los requisitos obligatorios para el diseño en lo que respecta a zonas geográficas y población. Asimismo, se plantea los requerimientos tecnológicos y de infraestructura de red en los que se basa la plataforma de fisioterapia. Por último, se presenta la evaluación técnica y financiero del prototipo con sus respectivos parámetros de verificación.
- Los resultados son mostrados en el **Capítulo IV**, en el cual se plasma la arquitectura del prototipo final del sistema de telefisioterapia, así como también los resultados de las métricas de desempeño de la plataforma.
- En el **Capítulo V**, se señalan las conclusiones y recomendaciones fundamentadas en todo el desarrollo del trabajo.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEORICO Y CONTEXTUAL

Las regiones corporales del cuerpo humano se encuentran subdivididas en la porción axial y apendicular, donde esta última es la que corresponde las extremidades. Estos representan elementos importantes dentro de la estructura corporal humana y permiten realizar a una persona acciones básicas como: caminar, levantar objetos, saltar entre otros. Las extremidades se encuentran clasificadas en miembros superiores y miembros inferiores, los cuales poseen diferentes componentes y cada uno de ellos desempeña un papel significativo en el funcionamiento correcto del cuerpo [21].

Como se observa en la figura 2.1, los miembros superiores poseen cuatro partes al igual que los miembros inferiores limitadas por el inicio y final del tronco.

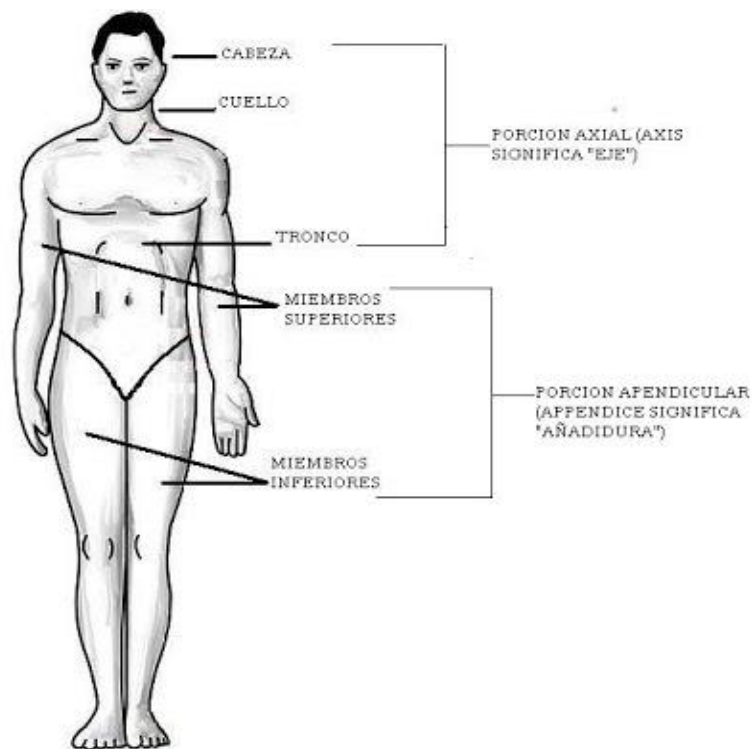


Figura 2.1 Esquema de las regiones del cuerpo humano y sus componentes [22]

El miembro superior está formado por mano, antebrazo, brazo y cintura escapular; mientras que el miembro inferior por el muslo, pierna, pie y cintura pélvica.

Las extremidades de miembro superior e inferior desempeñan notables funciones para el desarrollo normal de actividades de una persona, en la tabla 2.1 se describen los componentes tanto del miembro superior, así como también el miembro inferior junto a sus respectivas funciones.

Tabla 2.1 Funciones de los miembros superior e inferior

Miembro	Componente	Función
Superior	Mano	Presión, percusión y función táctil
	Antebrazo	Estabilidad y movilidad
	Brazo	Estabilidad y movilidad
	Cintura escapular	Estabilidad y movilidad
Inferior	Muslo	Equilibrio y locomoción
	Pierna	Equilibrio y locomoción
	Pie	Equilibrio, locomoción y cargas de peso
	Cintura pélvica	Equilibrio y estabilidad

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

2.1 Alteraciones en la Función Motora de las Extremidades

La estructura del cuerpo puede tener ciertas variaciones que dependerán de aspectos relacionados a cada etapa de la vida de un ser humano. Cada persona presenta una estructura corporal que se diferencia por su edad, su estatura, actividad que práctica y la condición de salud en la que se encuentra.

La aparición de alteraciones en alguna de las extremidades puede ocurrir con frecuencia cuando se expone al cuerpo a situaciones extremas que pueden comprometer el correcto funcionamiento de la función motora. En general, la función motora presenta alteraciones por lesiones a nivel de las extremidades, que involucran el sistema nervioso central o periférico y el aparato locomotor [23]. Dichas alteraciones pueden evidenciarse por la falta de movilidad, rigidez, debilidad, y calidad en la ejecución de movimientos habituales, por lo que es indispensable la necesidad de una detección, diagnóstico y tratamiento oportuno de las mismas.

Para la detección de alguna alteración de la función motora, el especialista físico precisa la realización de una valoración exhaustiva y con criterio de la extremidad o área del cuerpo afectada, a fin de establecer el diagnóstico y posteriormente la terapia que va

hacer aplicada. Principalmente, el fisioterapeuta realiza la evaluación de la funcionalidad del área a tratar por medio de lineamientos y una diversidad de escalas que buscan establecer que tan alterada se encuentra la extremidad [24]. Alguno de los criterios que emplean para realizar esta evaluación son: una inspección visual, la prueba de Romberg y Moritz Heinrich Romberg, análisis de marcha, análisis de fuerza muscular en miembros inferiores y superiores entre otros.

En la tabla 2.2 se describen los puntos clave que los fisioterapeutas efectúan para determinar alteraciones en la función motora.

Tabla 2.2 Aspectos principales de una evaluación fisioterapéutica

Aspecto	Metodología
Postura y marcha	Inspección visual
Movimientos involuntarios	Existencia de este tipo de movimientos
Volumen muscular	Inspección del tamaño y simetría de los músculos
Tono muscular	Resistencia
Fuerza muscular	Escala de fuerza muscular modificada (escala de Daniels)
Coordinación y equilibrio	Prueba de Berg y Romberg

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

Para la determinación de las alteraciones presentes el especialista debe precautelar que el paciente realice sus movimientos naturales sin realizar ningún esfuerzo.

2.2 Fisioterapia

La fisioterapia o terapia física es el área de las ciencias de la salud cuyo estudio se basa en el movimiento corporal humano enfocado a resolver alteraciones de la funcionalidad del cuerpo mediante requerimientos terapéuticos y de rehabilitación [1]. Mientras que de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS), esta especialidad es considerada un arte y ciencia que mediante la aplicación de recursos como: luz, frío, masajes, entre otros; pueden dar rehabilitación a pacientes que presenten necesidades físicas. Acorde

a estas definiciones, uno de los objetivos más relevantes de la terapia física es recuperar la función de la porción del cuerpo afectada a partir de terapias fisioterapéuticas con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas, especialmente aquellas que presentan limitantes en su movilidad o aquellas que se encuentran en una edad avanzada con propensión a la pérdida de masa muscular.

Para cumplir con todos los requerimientos dentro de la terapia física existen una serie de subespecialidades, las cuales se diferencian de acuerdo al enfoque que realice el especialista y para quien va destinada la terapia. Las subespecialidades de la fisioterapia con su respectiva descripción son mostradas en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Aspectos principales de una evaluación fisioterapéutica por subespecialidad

Subespecialidad	Descripción
Deportiva	Tratamiento especializado en el ámbito deportivo y de competencia
Pediátrica	Tratamiento en alteraciones del desarrollo psicomotor en los niños
Neurológica	Tratamiento de trastornos causados por lesiones en el sistema nervioso
Reumatológica	Tratamiento a disfuncionalidades en las articulaciones
Geriátrica	Tratamiento y rehabilitación a personas de la tercera edad
Ortopédica	Tratamiento y rehabilitación de lesiones músculo-esqueléticas
Respiratoria	Tratamiento de alteraciones respiratorias

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

Dependiendo de la subespecialidad de su elección, el terapeuta físico podría realizar diferentes técnicas terapéuticas o a su vez podría emplear equipamiento para dar tratamiento o diagnóstico a las diversas patologías que el paciente pudiera tener. Las técnicas terapéuticas y agentes externos que son ampliamente utilizadas son explicadas a continuación:

- **Terapia Manual:** es ejecutada por el especialista empleando sus manos. Dentro de la terapia manual se encuentran la masoterapia, manual ortopédico, kinesioterapia, ejercicios funcionales, entre otros.

- Terapia con agentes físicos: es ejecutada a partir de agentes externos como el calor, el frío, variaciones eléctricas entre otros. Algunas de las técnicas dentro de la terapia empleando estos factores son la electroterapia, hidroterapia, termoterapia y magnetoterapia.

2.3 Telemedicina para Fisioterapia

La telemedicina en el área de la fisioterapia es conocida como telefisioterapia, disciplina que permite la integración de los criterios fisioterapéuticos con las tecnologías de información y comunicación cuyo uso es promovido por el concepto de telesalud. De esta manera la telesalud en el ámbito sanitario de un país, impulsa a los profesionales a incorporar su terapia convencional a sistemas que permiten una intervención a distancia [25].

La interacción presencial entre el fisioterapeuta y el paciente es un factor predominante dentro de la consulta, en donde la dependencia del paciente aumenta considerando la patología o alteración que este padezca. A pesar de que la presencialidad es común entre los pacientes; en los últimos años se han ido desarrollando e implementando varios sistemas de control y monitoreo que han contribuido a una evaluación eficaz y oportuna del paciente facilitando no solo su independencia sino también crear en él conciencia del tratamiento que va ser efectuado por el especialista. Al punto anterior se debe añadir que a partir de la aparición de la pandemia provocada por el virus del síndrome respiratorio agudo severo tipo-2 (SARS-CoV-2), los sistemas de telemedicina han tenido un crecimiento sustancial y han sido incorporados en gran parte de los servicios médicos con el fin de mermar los contagios entre los pacientes, familiares y terapeutas [26].

En este contexto, la telemedicina brinda un gran soporte a la fisioterapia con la utilización de herramientas tecnológicas que agilizan el trabajo del especialista en relación a procesos médicos que generalmente eran realizados de forma manual o empleando un gran número de recursos. Otro de las aportaciones que realiza la telemedicina es la accesibilidad y disponibilidad que tiene el paciente en recibir la atención médica [25].

Las aportaciones de la telefisioterapia al especialista son numerosas entre las cuales se encuentran: agendamiento de citas, teleconsulta, diagnóstico e informe y prescripción de terapias. Considerando las contribuciones de la telemedicina en el área de la terapia

física se han propuesto diferentes trabajos como en [27], [28] y [26], los cuales destacan el modelo de la telemedicina para dar seguimiento y tratamiento a pacientes mediante el uso de videoconferencias o un entorno virtual. De la misma manera realizan una profundización y análisis de los beneficios de la telefisioterapia como la seguridad del paciente, historia clínica digitalizada y bajo costo para el paciente como para el especialista.

Por otro lado, en investigaciones como en [29] y [30] se realiza la comparación de los sistemas de telemedicina en fisioterapia y un manejo convencional, evidenciándose resultados bastante similares en relación al desempeño de ambas. Un grupo de pacientes fueron evaluados por especialistas por medio de sesiones programadas en videoconferencia mientras que otro grupo realizaron su terapia de manera usual.

Finalmente, en [31] establece aspectos tecnológicos, reglamentarios y legales en que los sistemas de telemedicina deberían ser implantados en el contexto de un país latinoamericano para beneficio de la población, particularmente aquella que vive en las zonas rurales. Esta investigación busca aprovechar todas las potencialidades que ofrece la telemedicina en el área de rehabilitación.

A pesar de las múltiples contribuciones de la telemedicina es imperativo contemplar ciertos inconvenientes que podrían ocurrir en el entorno en que se desenvuelve la telemedicina y que involucra activamente a varios actores como los pacientes, fisioterapeutas, y el sistema a emplearse. En la tabla 2.4 se describen las desventajas [32] [33] que podrían surgir en la interacción de cada uno de los actores dentro de la telemedicina.

Tabla 2.4 Desventajas de la telemedicina

Usuario	Desventaja
Paciente	Vulneración de la privacidad y confidencialidad de los datos personales del paciente Seguridad de los datos personales del paciente Poca accesibilidad de las TICs, especialmente en zonas rurales
Terapeuta físico	Desconocimiento del uso de las tecnologías emergentes Falta de adaptación al entorno de telemedicina Utilización de más tiempo en el registro y organización del seguimiento y diagnóstico Incremento de la demanda del especialista produciendo una sobrecarga de trabajo Posibilidad de emitir diagnósticos erróneos
Sistema	Aumento de la inversión de la infraestructura de red Alto coste de los sistemas tecnológicos, así como también su implementación Desempeño del sistema podría verse reducido debido a la pérdida de datos

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

Finalmente, otro aspecto crítico dentro de un sistema de telemedicina son los datos clínicos cuando se realizan los procesos de almacenamiento, acceso y envío de información médica entre usuarios. Para evitar vulnerabilidades dentro de un servicio de telemedicina, es necesario considerar los siguientes factores [34]:

- Protección de datos
- Seguridad y confidencialidad de datos
- Regulaciones en relación a la responsabilidad de datos

En relación a la protección de datos y las regulaciones de la responsabilidad de los mismos, en general cada país posee en su legislación lineamientos del manejo de este tipo de información; así como también, garantiza su aplicación. En el caso de Ecuador, en mayo 2021 se aprobó la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales, en la cual se establecen las leyes para el manejo de datos personales en un escenario tecnológico. Mientras que para dar cumplimiento a los criterios de seguridad y confiabilidad de la información es mandatorio el uso de protocolos ya establecidos que pueden prevenir la ocurrencia de ataques al sistema. En el caso del acceso de usuarios, protocolos como

el OAuth (por sus siglas en inglés Open Authorization), OAuth2, API Key entre otros, permiten controlar el acceso a través de las credenciales asignadas.

En lo concerniente, al acceso dentro de las redes de área local protocolos como SSL (por sus siglas en inglés Secure Sockets Layer), SSH (por sus siglas en inglés Secure Shell) y HTTPS (por sus siglas en inglés HyperText Transfer Protocol Secure) son ampliamente manejados para cifrar la información sensible que es transmitida.

En ciertos sistemas de telemedicina para asegurar la prestación del servicio inclusive se pueden emplear redes VPN (por sus siglas en inglés Virtual Private Network), las mismas que permiten establecer una conexión segura a través del ocultamiento de la dirección IP y encriptación de datos.

2.4 Internet de las Cosas Médicas en Fisioterapia

El Internet de las cosas médicas o IoMT es un concepto que abarca la integración entre sensores biomédicos, dispositivos y aplicaciones médicas conectados entre sí por medio de redes que pueden ser fijas o inalámbricas [35].

Generalmente, el uso del IoMT permite la extracción y recopilación de información proveniente de los dispositivos biomédicos en cualquier momento y lugar con el fin de realizar un análisis de datos por parte de los profesionales médicos. Esta monitorización en tiempo real y de forma remota ayuda a los especialistas a tener un control personalizado de la condición de los individuos que se encuentran en evaluación. Este hecho se traduce en un mejoramiento continuo de la calidad de vida de los pacientes debido a que se puede detectar o prevenir algún tipo de enfermedad oportunamente, especialmente hoy en día donde se requiere cero contacto físico debido a la pandemia [20].

Actualmente, IoMT es conocido por posibilitar una optimización de recursos al permitir la digitalización de información proveniente de una gran diversidad de equipos electrónicos. De esta forma, la información digitalizada puede estar disponible para los especialistas médicos. La automatización de procesos a través de IoMT beneficia el índice de atenciones de los pacientes por la reducción de tiempos de espera y costo cuando buscan acceder a un servicio médico.

Si los dispositivos médicos se interconectan es necesario establecer protocolos de comunicación y actualización de topologías con el objetivo de trabajar cooperativamente entre los sistemas tecnológicos que servirán para la atención de las diferentes especialidades médicas. En relación a los sensores de adquisición y sensado de señales biomédicas operan generalmente en redes inalámbricas por lo que, protocolos de acceso a la red como 802.15.4, 802.11 y 802.15 (Zigbee, Wifi y Wimax respectivamente) son utilizadas en IoMT o a su vez pueden ser de tipo alámbricas empleando el protocolo 802.3 (Ethernet). En relación a la transmisión de datos entre los dispositivos médicos con el Internet, los protocolos más destacados en IoMT son [36]: MQTT (por sus siglas en inglés MQ Telemetry Transport), CoAP (por sus siglas en inglés Constrained Application Protocol) y HTTP (por sus siglas en inglés Hypertext Transfer Protocol), de los cuales este último es el más común dentro de una arquitectura Web.

Dentro de los dispositivos médicos se encuentran los sensores vestibles, cuya característica más destacada es la facilidad para ser usados por las personas y su tamaño lo contribuye a la portabilidad de los sistemas y aplicaciones. En el área de la salud, los sensores vestibles se han destacado indudablemente por brindar soluciones en la medición de parámetros fisiológicos al instante como: temperatura, ritmo cardiaco, número de pasos entre otros.

Específicamente, en el área de fisioterapia existen sensores para evaluar la posición, fuerza, actividad muscular entre otros, que favorecen satisfactoriamente la evaluación del paciente. Todo este conjunto de dispositivos y conceptos conforman el criterio de IoMT, el cual busca ampliar la cobertura de los servicios médicos que ofrecen los terapeutas físicos e impulsa el uso de herramientas tecnológicas para realizar una evaluación fisioterapéutica más eficiente.

En la figura 2.2 se muestra un esquema básico de la operación del IoMT en un ambiente de fisioterapia.

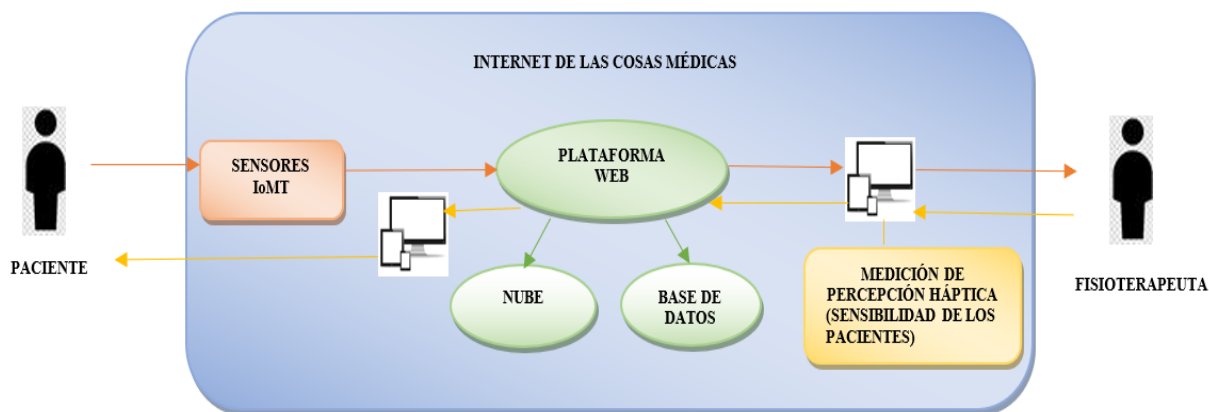


Figura 2.2 Esquema de operación básico de IoMT

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

Los componentes del esquema muestran que los sensores biomédicos trabajan en conjunto con la plataforma Web desplegada de acuerdo al servicio de telemedicina que se requiere, por lo que estos deben ser capaz de enviar los datos obtenidos del paciente y a su vez almacenarlos en la base de datos acatando los protocolos de seguridad definidos en la sección anterior como es el caso de HTTPS, el cual combina las prestaciones brindadas por HTTP e incorpora la seguridad de los datos por medio del uso del certificado SSL.

2.5 Plataforma de Telefisioterapia

De acuerdo con [37], el COVID-19 ha promovido el avance de la telesalud y la práctica de la terapia física digital mediante la aplicación de la telefisioterapia, la cual facilita una prestación eficaz del servicio y paralelamente transforma la manera en que el fisioterapeuta realiza su trabajo. Siendo las plataformas un eje sustancial para superar los desafíos que conlleva la ejecución de los sistemas de telemedicina es primordial que esta disponga de todas las funcionalidades que permitan al paciente beneficiarse de un plan de rehabilitación bien estructurado. En general, las plataformas posibilitan una centralización de la información y gestión del progreso del paciente al estar dentro de la evaluación médica. Sin embargo, el mayor diferenciador de las plataformas es que minimizan el riesgo de exposición de los datos del paciente protegiendo su privacidad mediante el uso de estándares de seguridad y protocolos de confidencialidad.

Asimismo, actualmente el uso de las tecnologías emergentes ha causado un verdadero impacto en el desarrollo de los diferentes servicios médicos que impulsa la telemedicina. Particularmente, en las plataformas de fisioterapia se han tratado de incorporar tecnologías puntuales y módulos que se acoplen de mejor modo al ambiente de trabajo y las condiciones de la relación terapeuta físico-paciente, de las cuales se destaca la gestión de teleconsultas con el uso de videollamadas y notificación vía correo electrónico; así como también, acceso en todo momento a los datos clínicos y la facultad de monitorear el estado del usuario mediante la aplicación del concepto de IoMT. Igualmente, que estas herramientas acompañan la labor del especialista al posibilitar el registro de la terapia, guía de ejercicios y seguimiento.

Aunque los pacientes comúnmente sientan inclinación por la terapia convencional, debido a la pandemia global han ido cambiando su mentalidad frente al uso de estas herramientas tecnológicas y al cumplir dentro de ellas un rol principal contribuye a una mayor eficacia de su terapia a largo plazo [26].

Tal es el caso de [38], en donde se expone varios prototipos de entornos virtuales interactivos a través de plataformas de tele rehabilitación que han permitido la mejora de enfermedades como el Parkinson, parálisis cerebral, ictus entre otros. Un ejemplo es la empresa CyberGlove Systems, la cual a través de su innovación guante tecnológico realiza la adquisición de datos de los movimientos de la mano, dedo y brazo para posteriormente dichos datos ser analizados y visualizados por medio de su software en un entorno de realidad virtual, lo que permite evaluar la fuerza kinestésica del individuo de prueba.

Similarmente en [39], se realiza una revisión de la tele rehabilitación robótica la cual ha venido presentando un crecimiento gradual debido a la aparición de la pandemia. En este trabajo se evidencia el hecho que existe un grupo de pacientes que padecieron COVID-19 que muestran secuelas en sus funciones motoras por lo que el uso de un robot con asistencia remota ayuda a la recuperación de su movilidad de manera progresiva. Otra ventaja de este tipo de tecnología es que el fisioterapeuta puede interactuar con el paciente por medio del robot cuando exista la necesidad de realizar ejercicios que requieran un trabajo asistido.

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DE LA PLATAFORMA DE TELEFISIOTERAPIA

3.1 Requerimientos para el Diseño y Desarrollo

3.1.1 Caracterización de la Población

En el Ecuador, en relación a los servicios de fisioterapia existe una gran diversidad de tratamientos ofertados para resolver las patologías que podrían presentar los usuarios [9]. El número de tratamientos para las terapias de ejercicios terapéuticos y electroterapia muestran una gran concurrencia de atenciones médicas, indicativo de la existencia de una población con padecimientos o alteraciones en sus funciones motoras.

Específicamente, en la Sierra ecuatoriana se presentan el más alto número de atenciones a tratamientos fisioterapéuticos en las diferentes terapias disponibles, como muestra la tabla 3.5.

Tabla 3.5 Número de tratamientos fisioterapéuticos por terapia y región [9]

Región	Sierra	Costa	Amazonía	Insular
Tipos de Tratamiento				
Electroterapia	1.220.402	1.009.838	47.949	-
Hidroterapia	593.766	177.608	4.959	-
Ejercicios Terapéuticos	1.599.408	975.171	40.348	-
Parafina	129.284	27.944	2.405	-
Compresas finas	818.685	377.342	39.957	-
Termoterapia	335.362	302.768	13.369	-
Otros	452.556	328.052	5.810	-

Es por ello que en base a la información mostrada en la tabla anterior y considerando que Quito es la ciudad del Ecuador con más habitantes [40], se ha escogido como lugar para la caracterización de la población que utilizará el prototipo propuesto en esta investigación.

Para establecer las particularidades principales de la población que participará en la plataforma de telefisioterapia se aplicó tres encuestas plasmadas en el Anexo A, las cuales diferían en las preguntas de acuerdo al perfil del participante. La aplicación de las encuestas se realizó de acuerdo a la siguiente correspondencia:

- Perfil paciente aplicación de la encuesta denominada “Fisioterapia para pacientes”.
- Perfil fisioterapeuta aplicación de la encuesta denominada “Tecnología en el Fisioterapia”.
- Perfil ingeniero biomédico aplicación de la encuesta denominada “Telefisioterapia en el Ecuador”.

Los resultados en relación a la edad de los consultados se muestran en la figura 3.3.

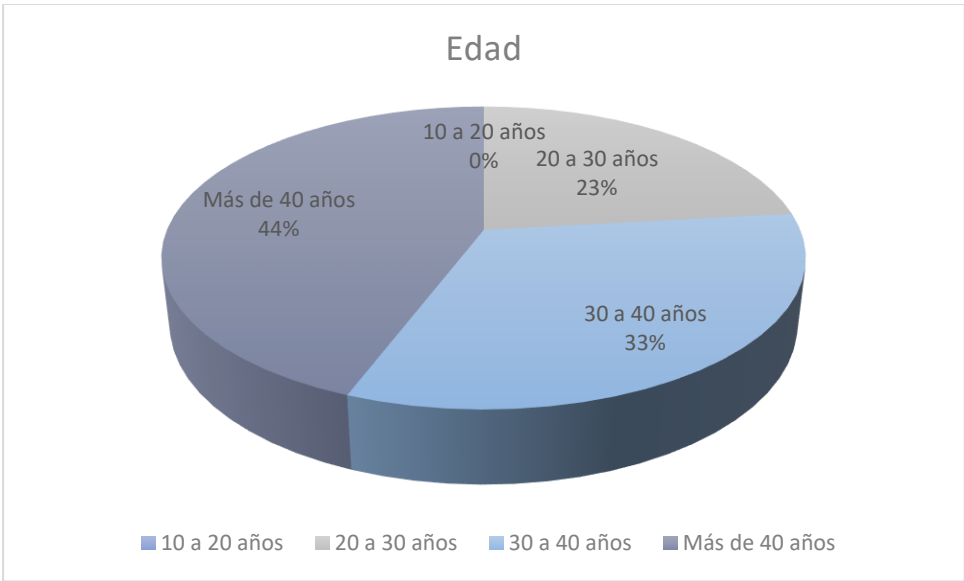


Figura 3.3 Edad de la población

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

En lo que respecta a edad de los usuarios de la muestra poblacional seleccionada, el mayor porcentaje con el 44% presentan aquellas personas que tienen edades superiores a los 40 años. Mientras que el menor porcentaje es representado por aquellas que su edad se encuentra entre los 10 a 20 años.

3.1.2 Identificación de las Zonas y Sectores Geográficos de Interés

Como se mencionó en el apartado anterior, el lugar para el desarrollo e implementación del prototipo es la ciudad de Quito, debido a que es una ciudad con un gran protagonismo en relación al número de atenciones y necesidades fisioterapéuticas; además, de contar con una numerosa población (aproximadamente de 2.700.000 habitantes) para ser analizada.

Quito está localizada en la región Andina del Ecuador, rodeada por un gran número de elevaciones montañosas y nevados. De acuerdo a su división política, Quito posee 32 parroquias urbanas y 33 parroquias rurales [41], las cuales están distribuidas en cuatro principales segmentos:

- Norte
- Sur
- Centro
- Los Valles

En la figura 3.4 se muestra un mapa de Quito con la distribución de sus principales segmentos y su respectiva ubicación.



Figura 3.4 Mapa de Quito y sus principales segmentos

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

Para conocer las zonas geográficas de interés, de igual manera se escogió una muestra poblacional, en donde los usuarios fueron cuestionados acerca de la zona de Quito en la que actualmente residen. En la figura 3.5 se puede observar que el mayor porcentaje de usuarios viven en el Sur de Quito mientras que el menor número habita en el segmento del centro quiteño.

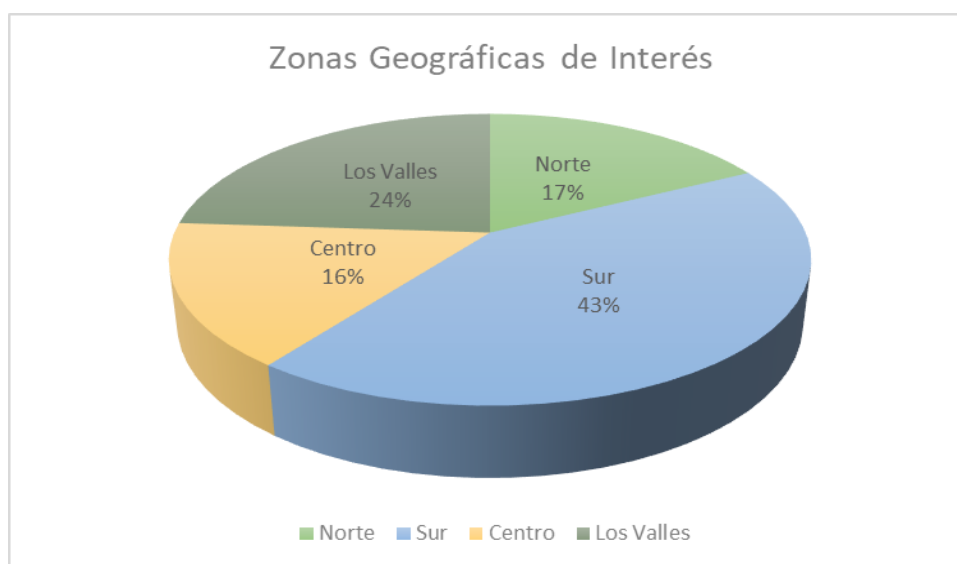


Figura 3.5 Zonas Geográficas de Interés

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

De esta manera, se pudo determinar que la zona geográfica de interés para el prototipo es el segmento Sur, el cual es una zona urbana y que cuenta con una proporción poblacional considerable en relación a los demás segmentos. Una de las razones por las cuales los usuarios prefieren vivir en el Sur de Quito es a causa de que el costo de vida es menor en factores como: la vivienda y alimentación.

3.1.3 Necesidades en la Fisioterapia de las Funciones Motoras de las Extremidades

Para el establecimiento de las necesidades en la fisioterapia, se aplicó una encuesta a los usuarios en aspectos como el médico y tecnológico. En lo concerniente al área médica, era necesario conocer si los servicios fisioterapéuticos eran requeridos, qué tipos de terapias fisioterapéuticas son las más comunes para dar tratamiento a alteraciones de la función motora y requerimientos adicionales por los especialistas. Por

otro lado, en el aspecto tecnológico, las preguntas radican en la importancia de las TICs como acompañamiento de la fisioterapia convencional.

Dentro del diseño de la encuesta se introdujo la escala de Likert, a fin de brindar a los encuestados la libertad de manifestar su opinión en niveles de acuerdo o desacuerdo.

En la tabla 3.6 se describen las preguntas tanto para el área médica como para la tecnológica con sus niveles de satisfacción, donde 1 y 5 es el más bajo y alto respectivamente dentro de la escala.

Tabla 3.6 Encuesta usuarios para establecimiento de necesidades y expectativas

Preguntas	Niveles de opinión				
	1	2	3	4	5
Necesidades y expectativas en el aspecto médico y tecnológico					
1. ¿Considera que los servicios de fisioterapia son necesarios?					
2. ¿Considera que las alteraciones en la función motora pueden ser tratadas por medio de una plataforma de telefisioterapia?					
3. ¿Considera que una atención fisioterapéutica puede ser gestionada por medio de una plataforma?					
4. ¿Considera que componentes como información clínica, mensajería y monitorización en tiempo real son necesarios dentro de una plataforma de fisioterapia?					
5. ¿Considera que la videollamada es la herramienta más idónea para establecer comunicación entre pacientes y especialistas?					
6. ¿Considera que la tecnología es un componente importante en la recuperación fisioterapéutica?					
7. ¿Considera útil el uso de una plataforma de telefisioterapia entre los especialistas médicos y sus pacientes?					
8. ¿Considera que el servicio de telefisioterapia podría apoyar al diagnóstico y tratamiento de lesiones en las extremidades?					
9. ¿Considera que la plataforma de telefisioterapia resultará de fácil uso?					
10. ¿Considera que el uso de una plataforma de telefisioterapia le ayudará a evitar la propagación de contagios y aumento de casos COVID-19?					
11. ¿Considera que una plataforma de telefisioterapia brinda seguridad y protección de datos clínicos?					

Nivel de opinión: 1= muy desacuerdo; 2= desacuerdo; 3= neutral; 4= de acuerdo; 5= muy de acuerdo

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

De igual manera, en la encuesta contenía una sección, en la cual los usuarios expusieron sus necesidades en relación a las herramientas tecnológicas que debían estar presentes en la plataforma de telefisioterapia con la opción de elegir varias alternativas. De lo anterior, en la figura 3.6 y 3.7 se reflejan los porcentajes de aceptación de los terapeutas físicos en cuanto a las herramientas funcionales y tecnologías que ellos solicitan.

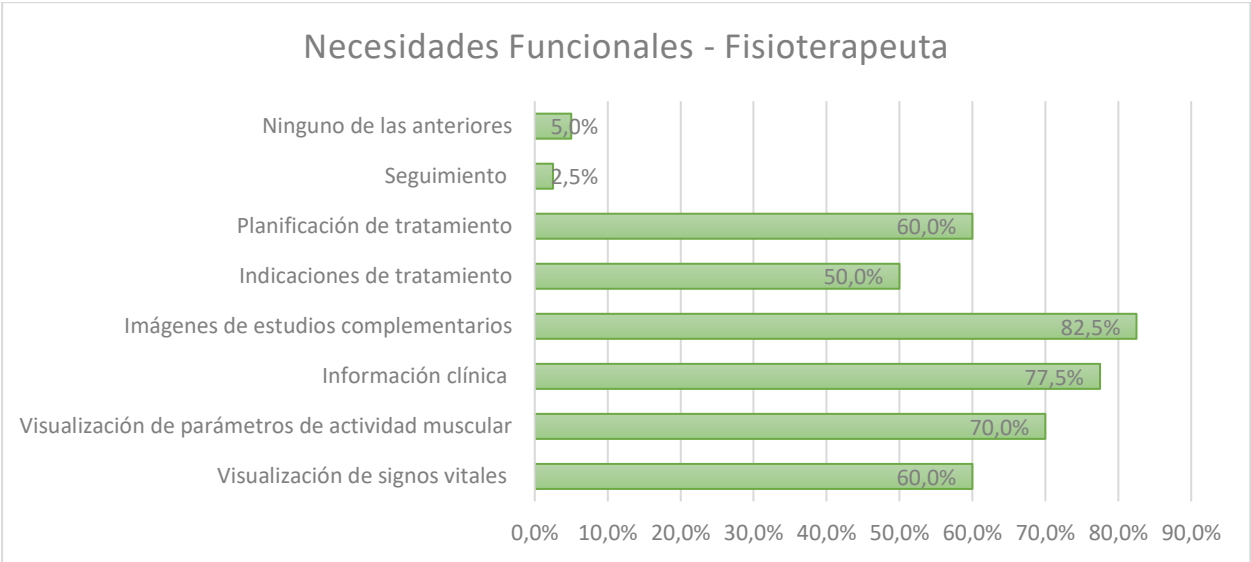


Figura 3.6 Necesidades funcionales establecidos por los fisioterapeutas

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

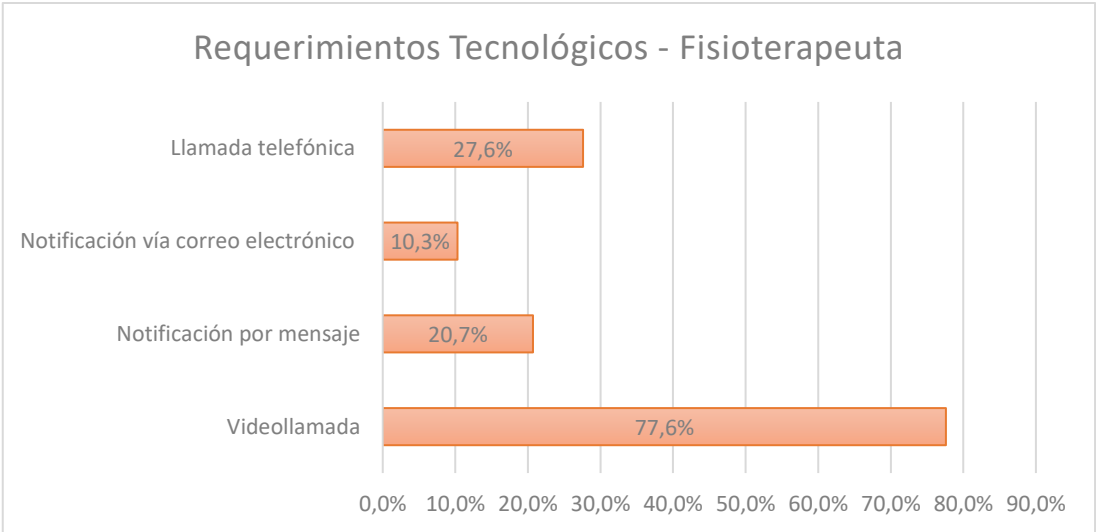


Figura 3.7 Necesidades tecnológicas establecidos por los fisioterapeutas

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

3.2 Metodología de Diseño y Desarrollo

3.2.1 Introducción

Para el diseño e implementación de un sistema basado en telemedicina es trascendental estimar no solo las herramientas tecnológicas involucradas sino también los usuarios que intervienen en cada una de las etapas del servicio médico.

En cuanto a la tecnología, las TICs juegan un rol fundamental para unificar los servicios de redes, telecomunicaciones, y almacenamiento de información. En el sector de la salud, las TICs han ido escalando progresivamente por sus potencialidades a nivel tecnológico y adicionalmente por el hecho de optimizar aspectos como la planificación, gestión, prevención, diagnóstico y tratamiento de alteraciones en la salud debido a que los usuarios pueden generar estas funciones empleando un dispositivo móvil o desde algún sitio Web dependiendo de la especialidad médica [42].

Por su parte, los usuarios son otro factor preponderante a la hora de definir los lineamientos de un sistema de telemedicina debido a que ellos participarán activamente en el buen desenvolvimiento del mismo; además, de valorar las mejoras que podría tener a lo largo del tiempo.

En virtud de estas consideraciones, la metodología para realización del prototipo se centró en evaluar los procesos de interacción y funciones de uso que se realizan entre los distintos usuarios, la parte técnica para la medición de métricas de desempeño y finalmente el costo-beneficio que representa para los usuarios la ejecución de la plataforma.

En este capítulo, se enfatiza la metodología empleada para la obtención de los resultados esperados para posteriormente evidenciar la repercusión del proyecto en el campo de la telemedicina. Específicamente, en este subcapítulo se realiza una descripción de los usuarios involucrados y en la especialidad médica en la cual la plataforma se estableció. Otros elementos significativos en este subcapítulo son los requisitos funcionales y no funcionales; a más, de los requerimientos ineludibles en el contexto técnico.

3.2.2 Estudio de Campo

El estudio de campo fue realizado a partir de una entrevista con dos fisioterapeutas especializadas en terapia manual, quienes concordaron en la necesidad de crear una plataforma de telefisioterapia que cumpliera con ciertos criterios de diseño y desarrollo para la consulta fisioterapéutica y que además ayude a frenar el crecimiento de los contagios por COVID-19. Algunas de las aportaciones que las especialistas realizaron permitieron definir en primer lugar las partes interesadas en el proyecto; así como también las etapas que se desarrollaron en el mismo.

Inicialmente se revisó aspectos de telemedicina en el Ecuador, específicamente para la fisioterapia con el fin de determinar la existencia de plataformas implementadas en esta especialidad médica. Consecuentemente, se concretó la aplicación de tres encuestas: la primera enfocada en los pacientes o usuarios que podrían utilizar la plataforma, la segunda al personal de salud y la última dirigida a ingenieros biomédicos (Anexo A).

Las encuestas tenían como finalidad conocer de los 3 grupos de usuarios de la plataforma los siguientes aspectos:

- Paciente: establecer las características de la población a emplear el prototipo; además de ciertos requerimientos que considerarían importantes dentro del diseño.
- Personal de salud: precisar las funcionalidades que deberían presentar el diseño del prototipo desde el punto de vista clínico.
- Ingeniero biomédico: examinar el criterio técnico en relación a las tecnologías de infraestructura de red, seguridad de datos y sensores que se usaron en el prototipo.

3.2.3 Usuarios de la Plataforma

Los usuarios de la plataforma fueron elegidos en base a la relación de cada uno de ellos y el rol que desempeñan en cada una de las etapas de una atención fisioterapéutica.

Pacientes con patologías en su función motora

Generalmente son aquellas personas que sufren patologías o alteraciones en su función motora como lesiones, dolores musculares, falta de movilidad en miembros entre otras.

Profesional médico - Fisioterapeutas

Es uno de los actores principales y está encargado de varias funciones en el servicio de telefisioterapia, entre las cuales se destacan la revisión del estado de los pacientes por medio de los registros proporcionados por la plataforma, evaluación y diagnóstico fisioterapéutico a través de teleconsultas programadas y seguimiento continuo de las indicaciones al paciente.

Administrador del sistema

Es la persona encargada de garantizar que el servicio de telefisioterapia trabaje con normalidad e ininterrumpidamente. Su función principal es la resolución de problemas técnicos y verificación del cumplimiento de los protocolos de gestión de la información; además de controlar la seguridad del sistema. Cuenta con todos permisos dentro del sistema.

3.2.4 Especificación de Requisitos Funcionales y No Funcionales

Una vez identificados los usuarios es indispensable puntualizar cada uno de los procesos y responsabilidades que desempeñaran los mismos dentro de la plataforma; además de establecer la relación que existe entre ellos en todas las fases del servicio de telefisioterapia.

Para conseguir este fin los diagramas de Lenguaje Unificado de Modelado UML (por sus siglas en inglés Unified Modeling Language), particularmente el diagrama de casos de uso permite estructurar apropiadamente las funciones a realizar por los usuarios (actores) y representar claramente su interacción (casos de uso) [43], lo cual se observa en la figura 3.8.

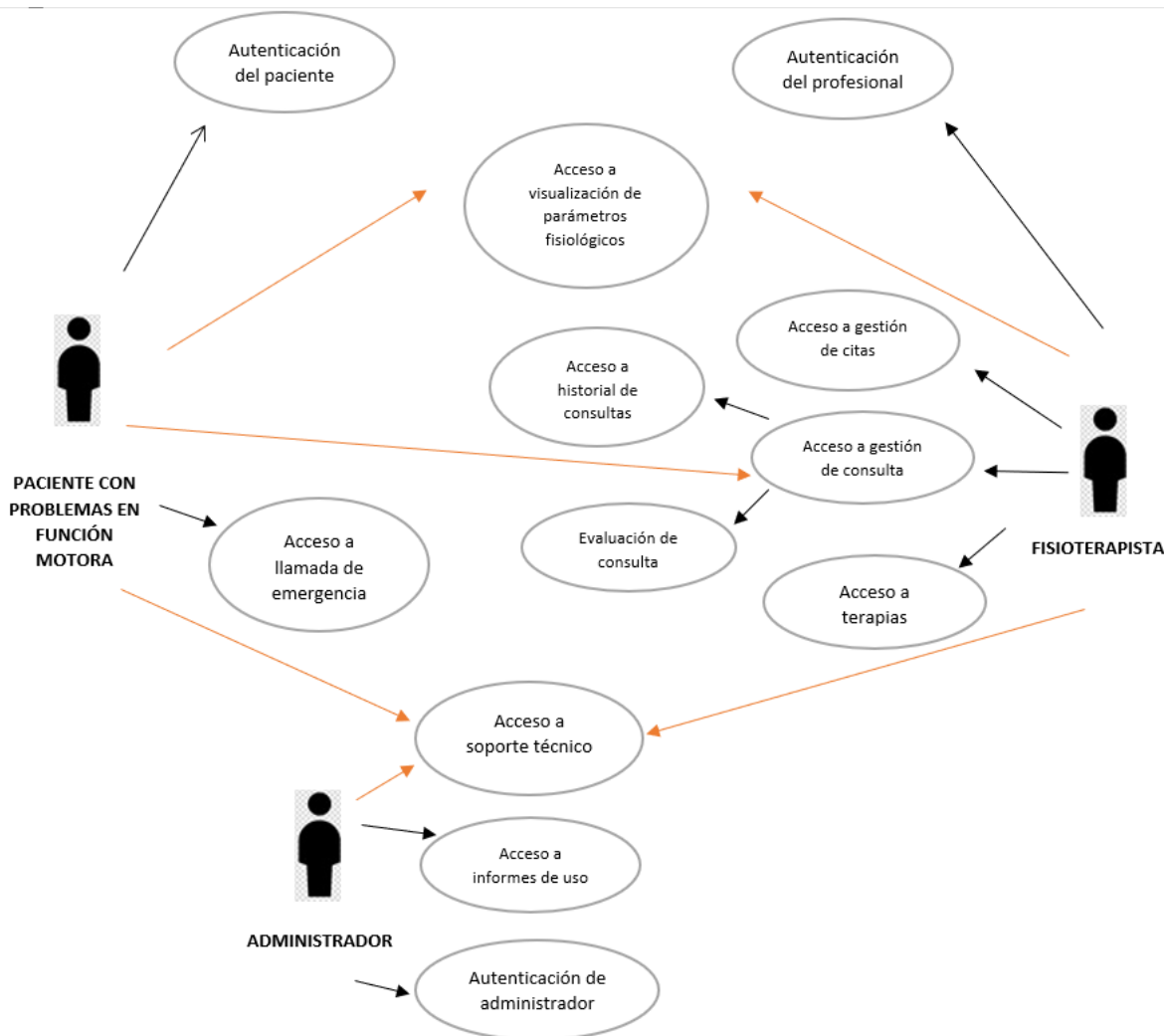


Figura 3.8 Diagrama UML de tipo casos de uso

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

Al conocer las diferentes funcionalidades que ofrece la plataforma de telefisioterapia es primordial definir los medios a partir de los cuales se va a realizar el establecimiento de la comunicación entre usuarios, uso de la plataforma y las herramientas disponibles.

En primer lugar, al ser una comunicación de manera remota cada usuario debe disponer de un dispositivo o equipo de cómputo con utilidades de audio y video para la gestión de la teleconsulta fisioterapéutica; así como también tener instalado un navegador Web de su elección. Otro factor importante es contar con conexión estable a Internet y con una banda ancha que soporte tanto las herramientas de conferencia como Zoom como con el aplicativo Web [44] para el acceso a la plataforma desde cualquier zona urbana en la ciudad de Quito.

En relación al servidor del servicio de telefisioterapia cada usuario es capaz de generar información en cualquier momento por lo que es indispensable que esté se encuentre a disposición de los usuarios ininterrumpidamente con el uso de una página Web, la misma que cuente con diferentes niveles de acceso a través de los perfiles de usuario; es decir la asignación de funciones es de acuerdo al usuario.

En este proceso de almacenamiento de datos el trabajo debe ser en conjunto con una base de datos que sistematiza dicha información. Adicionalmente, para el desarrollo de la plataforma la mejor alternativa es un software de código abierto para mantener un presupuesto dentro de un margen bajo.

Finalmente, el diagrama de casos de usos muestra la necesidad de equipos para la adquisición de datos como sensores biomédicos, los cuales deben ser incorporados al diseño a fin de dar un adecuado seguimiento y monitorización a los pacientes. Los sensores biomédicos deben ser capaces de ayudar al especialista antes que nada a verificar si el paciente presenta alguna sintomatología provocada por el SARS-CoV-2 para luego continuar con la evaluación fisioterapéutica. Por esta razón, debe existir sensores biomédicos para la realización de estas dos actividades a la vez.

En cuanto a los requisitos no funcionales, el sistema debe ser apto para desempeñarse de manera óptima y sin presentar contratiempos en su operación, para lo cual los siguientes atributos fueron definidos:

- Usabilidad
- Confiabilidad
- Rendimiento

3.2.5 Especificación de Requisitos Técnicos

Los requisitos funcionales y no funcionales posibilitaron la determinación de las condiciones mínimas a considerar dentro del sistema permitiendo consecuentemente la definición de los requerimientos técnicos en tres ejes principales: hardware, software e infraestructura de red.

Hardware

El hardware del prototipo constituye todos los dispositivos electrónicos empleados para la medición de las señales biomédicas provenientes de los pacientes, los cuales son detallados a continuación:

- Sensor de saturación de oxígeno MAX30100
- Sensor de temperatura MXL90614
- Sensor de señal muscular o EMG AD8832

Cada uno de ellos cumplen una función específica en el caso de los dos primeros sensores permiten comprobar alguno de los síntomas de Covid-19 en los pacientes, por medio de los parámetros de saturación de oxígeno y temperatura debido a que estos son indicadores iniciales de la presencia del virus.

Mientras que el sensor de señal muscular capta los pulsos eléctricos provenientes de la actividad muscular de los pacientes, la misma que es analizada por el terapeuta físico para establecer si el paciente tiene fuerza muscular o a su vez si existe presencia de fatiga muscular de la extremidad a rehabilitar durante la rutina de ejercicios o su terapia.

Por otro lado, las tarjetas programables ARDUINO UNO y NANO son las encargadas del procesamiento de datos obtenidos de la adquisición de los parámetros fisiológicos por medio de los sensores conectados a sus puertos de entrada-salida. Algunas de las características significativas que presentan estas para el prototipo son detalladas en la tabla 3.7.

Las tarjetas ARDUINO UNO y NANO fueron seleccionadas debido a que en comparación con sus similares ofrecen las mismas prestaciones, pero a un menor costo y bajo consumo energético. De la misma manera, se consideró el hecho de que el sensor MAX30100 opera a un voltaje de referencia de 1.8 V mientras que el sensor de temperatura MXL90614 a un valor de 3.3 V existiendo una notable diferencia de potencial. Por lo que, para no comprometer la transmisión de datos biomédicos, con un acoplamiento de voltajes mediante algún dispositivo electrónico adicional, se propuso una conexión independiente de cada tarjeta ARDUINO con cada sensor.

Tabla 3.7 Características del microcontrolador ARDUINO UNO y ARDUINO NANO

Característica	Descripción	
	ARDUINO UNO	ARDUINO NANO
Microprocesador	Atmega328	Atmega328
Voltaje operación y rango de operación de entrada	5 V y 6 – 20 V	5 V y 7 – 12 V
Corriente DC por pin E/S	40 mA	40 mA
Velocidad de reloj	16 MHz	16 MHz
Memorias	SRAM 2 KB, EEPROM 1 KB y flash 32 KB de los cuales 5 KB utiliza el bootloader	SRAM 2 KB, EEPROM 1 KB
Pines E/S digitales	14 pines de los cuales 6 proporcionan salida PWM	22 pines
Pines de entrada analógica	6	6

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

En la figura 3.9 se presenta un diagrama de bloques, en el cual se describen todos los componentes de hardware que intervienen en el diseño del equipo de medición de parámetros fisiológicos; así como también, los protocolos empleados para la comunicación de cada uno de los bloques.

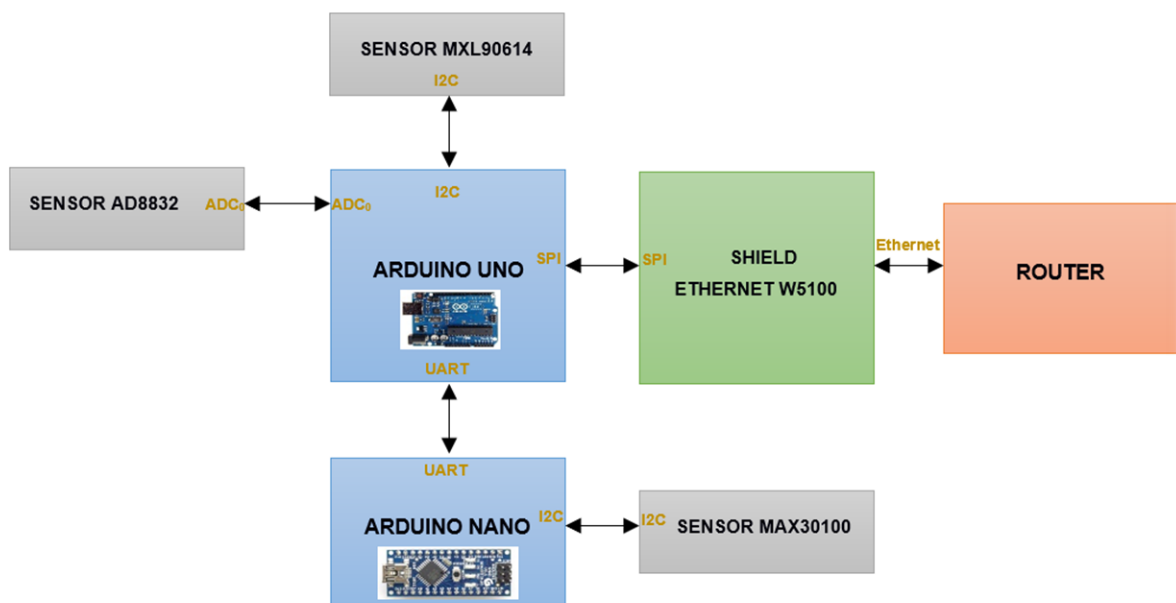


Figura 3.9 Diagrama de bloques del hardware propuesto

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

De la figura anterior se puede establecer las siguientes premisas:

- La conexión entre las tarjetas ARDUINO UNO y NANO se realiza a través del protocolo de recepción y transmisión asíncronas universales (UART por sus siglas en inglés Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) a través de los pines D₀ (ARDUINO UNO) y D₁ (ARDUINO NANO).
- El sensor de EMG AD8832 realiza la transmisión de la señal muscular por medio del pin analógico ADC₀.
- El sensor de temperatura MLX90614 se comunica con la tarjeta ARDUINO UNO empleando el protocolo de comunicación de circuito inter-integrado (I2C por sus siglas en inglés Inter-Integrated Circuit) bajo la configuración maestro-receptor y esclavo-transmisor a través de los pines SDA y SCL.
- De igual manera el protocolo I2C interviene en la comunicación entre el sensor de saturación de oxígeno MAX30100 y ARDUINO NANO empleando los pines SDA y SCL.
- La SHIELD ETHERNET W5100 y la tarjeta ARDUINO UNO establecen una comunicación a partir del protocolo interfaz de periféricos serie (SPI por sus siglas en inglés Serial Peripheral Interface) por medio de los pines digitales comprendidos desde el número 10 al 13.
- Para que las tarjetas programables ARDUINO realicen el envío de los datos biomédicos a la BD se utilizó un SHIELD ETHERNET W5100 mediante el uso del protocolo de acceso a red Ethernet al realizar una conexión cableada bajo la interfaz RJ45.
- Al emplear dos tarjetas programables ARDUINO existen dos maestros dentro de la arquitectura del protocolo I2C, es decir tanto el ARDUINO UNO como el NANO son los responsables de empezar y coordinar la comunicación con los esclavos (sensores).

El anexo B amplía la información del hardware del prototipo para una visualización de cada dispositivo electrónico y el esquema de la conexión de todo el circuito. Asimismo, este anexo expone el diseño de la placa electrónica que permite interconectar todos los componentes antes expuestos.

Software

Por su parte en la arquitectura de software consta el modelo Web cliente-servidor para el levantamiento del servicio de telefisioterapia a partir de una centralización de la información proveniente de los diversos usuarios reconocidos por los roles y responsabilidades en la misma. La elección de este modelo se debió a la facilidad de atención de peticiones provenientes de los clientes; además de la personalización de los accesos a los distintos usuarios.

Para la creación de este modelo se empleó la plataforma de desarrollo Web XAMPP por el dinamismo que está posee al permitir algunas herramientas como PHP, MySQL, Apache2 entre otras; además, de disponer una licencia sin costo (freeware). En efecto, cada una de las funciones fueron implementados en código PHP de acuerdo al perfil del usuario y a los casos de usos definidos en la sección anterior como el acceso a la gestión de consultas, gestión de citas, terapias entre otros. Igualmente, XAMPP cuenta con la base de datos MySQL, en la cual fueron almacenados en primera instancia los usuarios ya sea de tipo pacientes, fisioterapeutas o administrador y de esta manera restringir el acceso a personas no registradas.

Posteriormente, el historial clínico de los pacientes con su diagnóstico y tratamiento clasificado por cada consulta realizada, en la cual el especialista efectúa una evaluación fisioterapéutica con su respectiva terapia. Para facilitar el trabajo de creación de tablas se utilizó el gestor phpmyadmin también disponible en XAMPP. Las tablas más relevantes dentro del diseño pueden ser revisadas a profundidad en el anexo C.

Por último, como resultado de la captación de datos se puede observar la representación gráfica de los valores de saturación de oxígeno, temperatura y los potenciales eléctricos emitidos por las señales musculares a través de los perfiles de los usuarios y su inicio de sesión. Toda la información obtenida a partir de los sensores es almacenada por fecha y hora para posibilitar su búsqueda organizadamente.

Paralelamente, al desarrollo Web se empleó el entorno de desarrollo integrado (IDE por sus siglas en inglés Integrated Development Environment) de Arduino para realizar la programación del microcontrolador, en donde principalmente se buscaba que los tres sensores biomédicos realicen una adquisición de datos adecuada en especial, el de EMG al ser específico y requerido para la evaluación física del paciente. Asimismo, dentro del

programa cargado en la tarjeta se incorporó la transmisión de datos hacia la BD pertenecientes a cada paciente.

Hosting y dominio

Para que la disponibilidad del servicio se mantenga en todo momento; así como también la accesibilidad del contenido a los usuarios, la aplicación de telefisioterapia se cargó en un hosting, el cual permite alojar las carpetas y archivos desarrollados en PHP mediante la contratación de un espacio de almacenamiento con un proveedor autorizado. Para complementar la tarea realizada por el hosting se realizó la asignación de un dominio a la aplicación con el fin de que los usuarios puedan ingresar sin problemas al contenido cargado a través del navegador de su elección.

El dominio de la plataforma de telefisioterapia es: www.smartphysio-esp.com

Infraestructura de red

Tanto el servidor como los clientes deben tener conexión a Internet para que exista entre ellos una comunicación permanente. Es por ello que los clientes necesariamente deben tener un computador o dispositivo que disponga de un navegador para acceder oportunamente al aplicativo Web.

En relación a la infraestructura de red local fue basada en la tecnología Wifi bajo el estándar 802.11n debido a las mejoras que presenta en comparación con los estándares previos. El aumento de la velocidad en la transferencia de información y la posibilidad de trabajar con dos anchos de banda (2,4 GHz o 5 GHz) constituyen algunas de las razones por las cuales esta tecnología fue implementada en la red.

3.3 Diseño de la Metodología de Evaluación

3.3.1 Registros Automáticos de Parámetros de Uso

Los parámetros de uso permiten evaluar el impacto que ha tenido la plataforma en los usuarios que la utilizan. En este contexto, el comportamiento de los usuarios contribuye al análisis de las preferencias de este en relación a las funcionalidades que brinda el sistema; así como también su aceptación en cuanto a los servicios existentes en el mismo.

Estos aspectos son trascendentales para precisar si el sistema debería ser modificado con la incorporación o eliminación de alguna funcionalidad que les permita a los distintos usuarios realizar su trabajo a conformidad. De manera similar, los parámetros de uso brindan un enfoque real de la situación en la cual se encuentra el prototipo a ajustar y al mismo tiempo las expectativas con respecto a su desempeño.

Los parámetros de uso establecidos dentro de este prototipo, fueron los siguientes:

- Número de ingresos a la plataforma dependiendo de cada tipo de usuario
- Número de atenciones a los pacientes por cada mes
- Número total de consultas atendidas por cada terapeuta físico

Estas cuantificaciones fueron evaluadas de manera mensual y desde una perspectiva total de funcionamiento del sistema.

Asimismo, dentro de este punto se realizó las pruebas de conectividad para determinar el ancho de banda empleado en la red durante recepción y envío de datos entre el paciente y el terapeuta físico en una teleconsulta habitual dentro de la plataforma SmartPhysio.

3.3.2 Evaluación Técnica: Calidad Técnica, Confiabilidad y Usabilidad

La plataforma de telefisioterapia debe ser probada técnicamente mediante pruebas funcionales y bajo métricas de desempeño que permitan analizar y determinar si se encuentra operando normalmente [34]. En este proyecto se intentó suplir en gran parte las desventajas que usualmente un sistema de telemedicina presenta y que fueron expuestas en la sección 2.3.

La evaluación técnica se focalizó en tres parámetros que son explicados a continuación:

Calidad técnica

La medición de la calidad técnica del sistema en el servicio de telefisioterapia depende de la manera en que éste realiza los diferentes procesos para lo cual fue diseñado. Es decir que exista conformidad de los usuarios en la adquisición de información fisiológica, consulta, monitorización, entre otros procesos. Las métricas a analizar desde el punto de vista técnico en un sistema de telemedicina [45] son:

- Eficiencia: es conseguir una operatividad adecuada del sistema con la menor utilización de recursos y tiempo

- Eficacia: se refiere a obtener un objetivo propuesto y como repercutirá el logro del mismo en los usuarios que lo utilizarán
- Efectividad: esta métrica contempla un balance entre la eficiencia y eficacia del sistema
- Utilidad: se basa en la percepción que tienen los usuarios en relación al sistema y el aprovechamiento de sus capacidades

Confiabilidad

La medición de confiabilidad de un sistema se presenta cuando existe un número reducido de fallos durante su funcionamiento y despliegue de sus servicios. Por lo que anticipar la ocurrencia de algún fallo es primordial para brindar confianza a los usuarios de la misma, para lo cual se enfatizó en las siguientes métricas:

- Fiabilidad: fue determinada por medio de la evaluación del funcionamiento de la plataforma sin la presencia de errores tanto en software como en hardware.
- Seguridad: este punto se centró en la seguridad y protección de los datos de los pacientes (Consentimiento Informado de Protección de Datos), ya que el sistema maneja información clínica y puede estar propenso a algún tipo de amenaza cibernética. En primer lugar, se implementó la autenticación de tipo OAuth para la validación del usuario de acuerdo a su nivel jerárquico de acceso. Consecuentemente, la encriptación de los datos se condujo dentro de la BD para mantener un cifrado gestionado solo a nivel de administrador. Por último, un certificado SSL que permite crear una conexión segura entre el servidor y cliente.
- Facilidad de mantenimiento: este parámetro en un sistema se traduce en la facilidad de modificar el software a fin de mejorar su desempeño o corregir errores reportados por los usuarios. Adicionalmente, se puede aumentar procesos o funcionalidades, así como también seguridades.

Por otra parte, un componente del prototipo a tener en cuenta para el mantenimiento es el hardware, en el cual principalmente se debe realizar la verificación de la placa electrónica y los sensores en ella para que no exista errores en el almacenamiento a la BD.

Usabilidad

Para conocer la usabilidad de la plataforma fue necesaria la presencia activa de los usuarios, en donde ellos proporcionaron una retroalimentación en cuanto a la facilidad

con la cual accedieron a la interfaz de usuario, la información presentada y las funcionalidades que ofrece el sistema. Este parámetro lo que prioriza es la sencillez con la cual los usuarios perciben el sistema de prueba. En cuanto a la usabilidad de la plataforma prevalecieron los siguientes tres criterios:

- Aceptación: es la apreciación positiva de los usuarios en base a todos los beneficios que puede brindar la plataforma.
- Factibilidad: es el resultado de la validación de los usuarios en correspondencia a su adaptación en el uso del sistema considerando la sencillez del mismo.
- Soporte y ayuda: es la parte del sistema que permite al usuario adquirir respuestas rápidas y asistencia a preguntas frecuentes que pueden surgir en el transcurso de su actividad dentro de la plataforma.

Para la obtención de la evaluación de calidad técnica, confiabilidad y usabilidad de la plataforma de telefisioterapia se realizaron a todos los usuarios que participaron en las pruebas unas preguntas que se enmarcan en los conceptos y parámetros antes descritos, a fin de saber su opinión en relación a el estado del sistema en su totalidad.

La encuesta de satisfacción se muestra en la tabla 3.8, en donde se muestran ciertas preguntas de acuerdo a los criterios anteriormente detallados y pueden ser contestados bajo a la escala de Likert para que los personas que colaboran en el proyecto tengan la posibilidad de calificar libremente.

Tabla 3.8 Encuesta de satisfacción de la plataforma SmartPhysio

Preguntas	Niveles de opinión				
	1	2	3	4	5
Calidad Técnica					
1. ¿Considera que el uso de la plataforma SmartPhysio le ahorro tiempo y dinero en sus actividades cotidianas? 2. ¿Considera que la plataforma SmartPhysio es útil en el área de Fisioterapia? 3. ¿Considera que la plataforma SmartPhysio puede causar un impacto positivo en la Telemedicina en el Ecuador?					
Confiabilidad					
4. Durante el uso de la plataforma SmarthPhysio ¿considera que existió algún tipo de inconformidad o error? 5. ¿Considera que la plataforma SmartPhysio posee algún tipo de seguridad en su acceso? 6. ¿Considera que la plataforma SmartPhysio posee algún tipo de seguridad en la información clínica que maneja? 7. Durante el uso de la plataforma SmarthPhysio ¿considera que sería factible realizar algún tipo de modificación?					
Usabilidad					
8. ¿Considera que la plataforma SmartPhysio es de fácil acceso? 9. ¿Considera que la plataforma SmartPhysio es beneficiosa en el seguimiento fisioterapéutico en el hogar? 10. ¿Considera que la plataforma SmartPhysio cumple con sus requerimientos en relación al soporte técnico?					

Nivel de opinión: 1= muy desacuerdo; 2= desacuerdo; 3= neutral; 4= de acuerdo; 5= muy de acuerdo

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

3.3.3 Evaluación Financiera: Costo/Beneficio

La estimación del coste que conlleva la implementación y desarrollo de un sistema basado en las consideraciones y criterios de telemedicina; también debe ser justificado en el hecho de que el mismo traerá consigo una serie de beneficios para los usuarios [34].

En este sentido, el primer paso es la identificación y comparación de los costos que puede generar la plataforma versus los beneficios que ofrece analizado desde todos los enfoques que componen el proyecto. Consecuentemente, determinar si esta relación es rentable, constituye importante para establecer si la plataforma es viable de llevar a cabo. Particularmente, los sistemas de telemedicina tienen un componente social, puesto que tratan de brindar alternativas de mejoramiento tanto en la política como en los sistemas de salud; además, de permitir a los pacientes el acceso a las diferentes especialidades médicas y aportar significativamente en su calidad de vida.

Por su parte, el presente proyecto de telefisioterapia se centró en maximizar los beneficios a los usuarios sin elevar los costos de su implementación. El software empleado es de libre licencia, es decir que no generó ningún costo, mientras que el hardware se utilizaron dispositivos electrónicos a un valor asequible y de fácil accesibilidad al público.

Considerando lo anterior, algunas ventajas que promete la plataforma de telefisioterapia en relación al servicio de fisioterapia tradicional son expuestas a continuación:

- Disminución de gastos en transporte, hospedaje y viáticos para los pacientes, especialmente aquellos que viven en zonas rurales
- Reducción de tiempos de consulta con el especialista lo que se traduce en una mejora de la productividad de las atenciones fisioterapéuticas
- Acceso a un servicio médico ininterrumpido de acuerdo a una emergencia o a la necesidad del paciente eliminando la necesidad de desplazarse
- Impulsa el uso de herramientas tecnológicas de costo asequible para el diagnóstico y tratamiento fisioterapéutico
- Optimización de recursos en el servicio por medio de la introducción de la historia clínica digitalizada

- Automatización de los procesos involucrados en el servicio fisioterapéutico lo que ayuda a la reducción de costos de mantenimiento de equipamiento e infraestructura
- Minimización de factores de riesgo para expansión de la pandemia Covid-19
- Ampliación de la cobertura de salud en el Ecuador.

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS

Para conseguir la caracterización de la población definida en la sección 3.1.1 se obtuvieron un total de 209 encuestas divididas de acuerdo al tipo de cuestionario aplicado a los diferentes participantes.

En la figura 4.10 se muestra el porcentaje de encuestas realizadas por cada tipo de participante (paciente, fisioterapeuta, ingeniero biomédico).

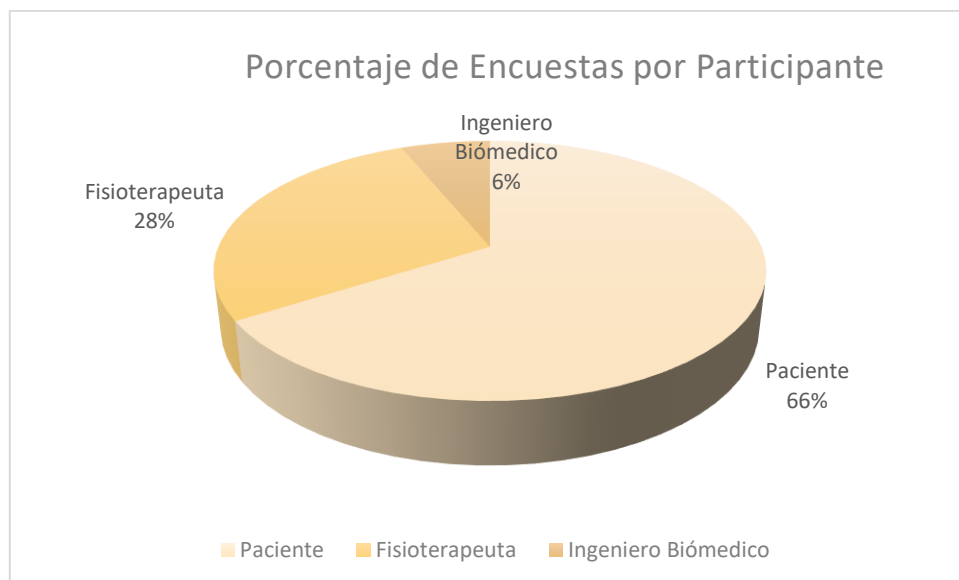


Figura 4.10 Porcentaje de encuestas por cada tipo de participante

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

En la ilustración se puede observar que el porcentaje mayor de encuestados corresponde a los pacientes con el 66% (138 personas) mientras que el menor porcentaje pertenece a los ingenieros biomédicos con un 6% (13 personas).

4.1 Arquitectura de la Plataforma de Telefisioterapia

La arquitectura de la plataforma de telefisioterapia está definida por algunos componentes; así como también los requerimientos mínimos para que todos los equipos puedan trabajar adecuadamente durante la operación del sistema. En la tabla 4.9 se

indican las características que deben disponer los equipos informáticos para un funcionamiento exitoso.

Tabla 4.9 Características de equipo de cómputo

Aspecto	Observación
Hardware	Computadora de escritorio o portátil, Intel Core I5 o superior con 2.80 GHz y 8 GB de RAM
Conectividad	Acceso a la red inalámbrico operación protocolo 802.11n
Configuraciones	Cámara 720p 16:9 30fps (frames por segundo)
Programas	Plataforma de video conferencia Zoom Navegador Google Chrome o Mozilla Firefox Driver para el reconocimiento de las tarjetas ARDUINO Putty AppNetworkCounter

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

En la figura 4.11 se presenta la arquitectura de la plataforma de telefisioterapia detallando la infraestructura; así como también cada uno de los bloques que intervienen en la comunicación cliente - servidor. Adicionalmente, en el gráfico se encuentran los requisitos necesarios para que el sistema pueda operar óptimamente como son: el hardware, software y las características del equipamiento tanto en el lado correspondiente al cliente como en el de servidor.

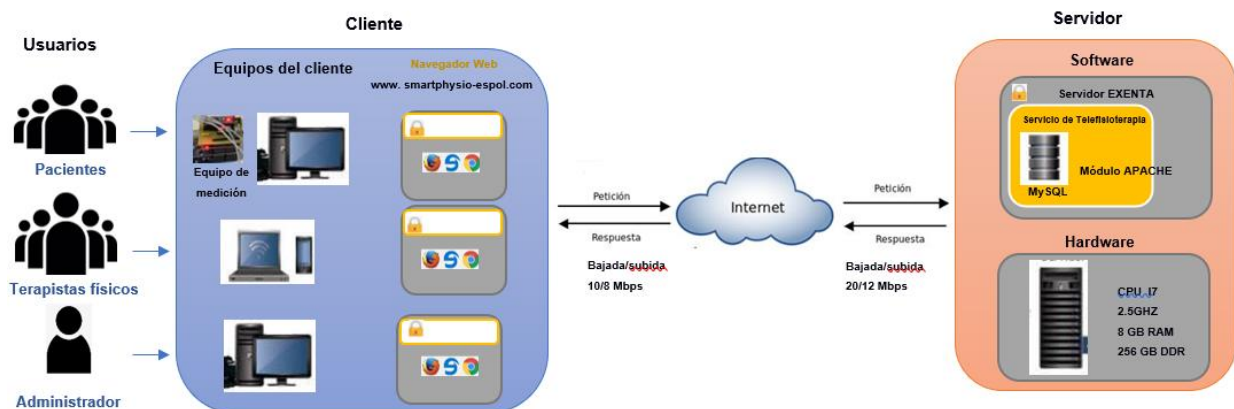


Figura 4.11 Arquitectura de la plataforma de telefisioterapia SmartPhysio

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

El equipo de medición de los parámetros fisiológicos fue implementado con todos los recursos definidos en la sección 3.2.5. Para conseguir que el equipo sea modular se realizó el diseño de una placa electrónica (Anexo B), a fin de conectar todos los elementos y dispositivos electrónicos. La conectividad del equipo de medición al sistema se realizó a través de una configuración Ethernet definida en el programa cargado a través de la IDE de Arduino, el mismo que se puede observar en el Anexo F. En la figura 4.12 se muestra el equipo de medición con todas las características antes descritas.

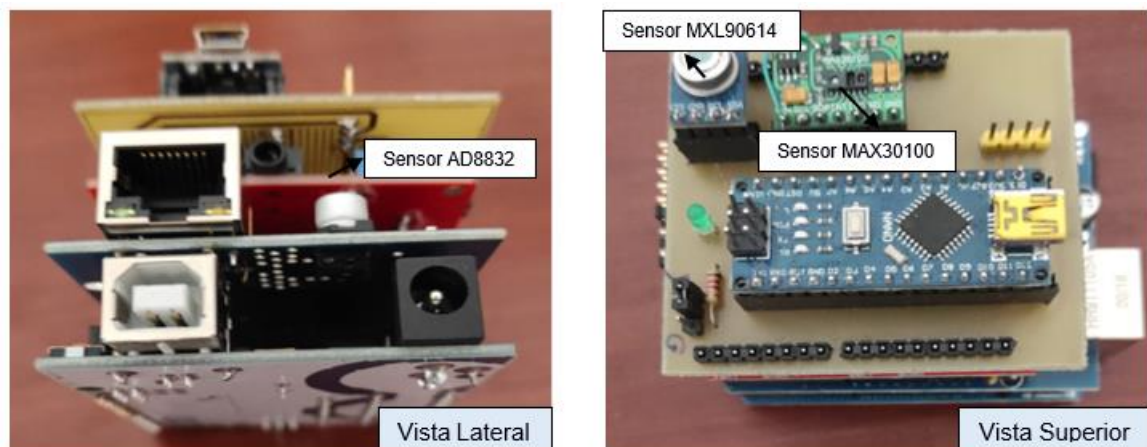


Figura 4.12 Equipo de medición de parámetros fisiológicos de la plataforma SmartPhysio

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

Para verificar la interacción existente de los actores y el tipo de mensajes que intercambian entre ellos durante el funcionamiento del prototipo, se realizó un diagrama secuencial, evidenciándose cómo se realiza la comunicación en un flujo o subflujo de los casos de uso ya anteriormente definidos. En la figura 4.13, se puede observar la secuencia cronológica de mensajes actores y objetos.

Por otro lado, en la figura 4.14 se representa el diagrama de estructura de datos el mismo que permite una visualización clara de cómo está constituida cada una de las entidades que participan en la base de datos del sistema SmartPhysio. Se presenta un total de 13 entidades, de las cuales las más importantes son la entidad de pacientes, fisioterapeutas, consultas, citas e historia clínica debido a que son las que intervienen repetidamente en los procesos y funcionalidades del sistema.

Adicionalmente, en el Anexo C se realiza una descripción a detalle de las entidades más relevantes con cada uno de los datos y la función que desempeñan dentro de la plataforma.

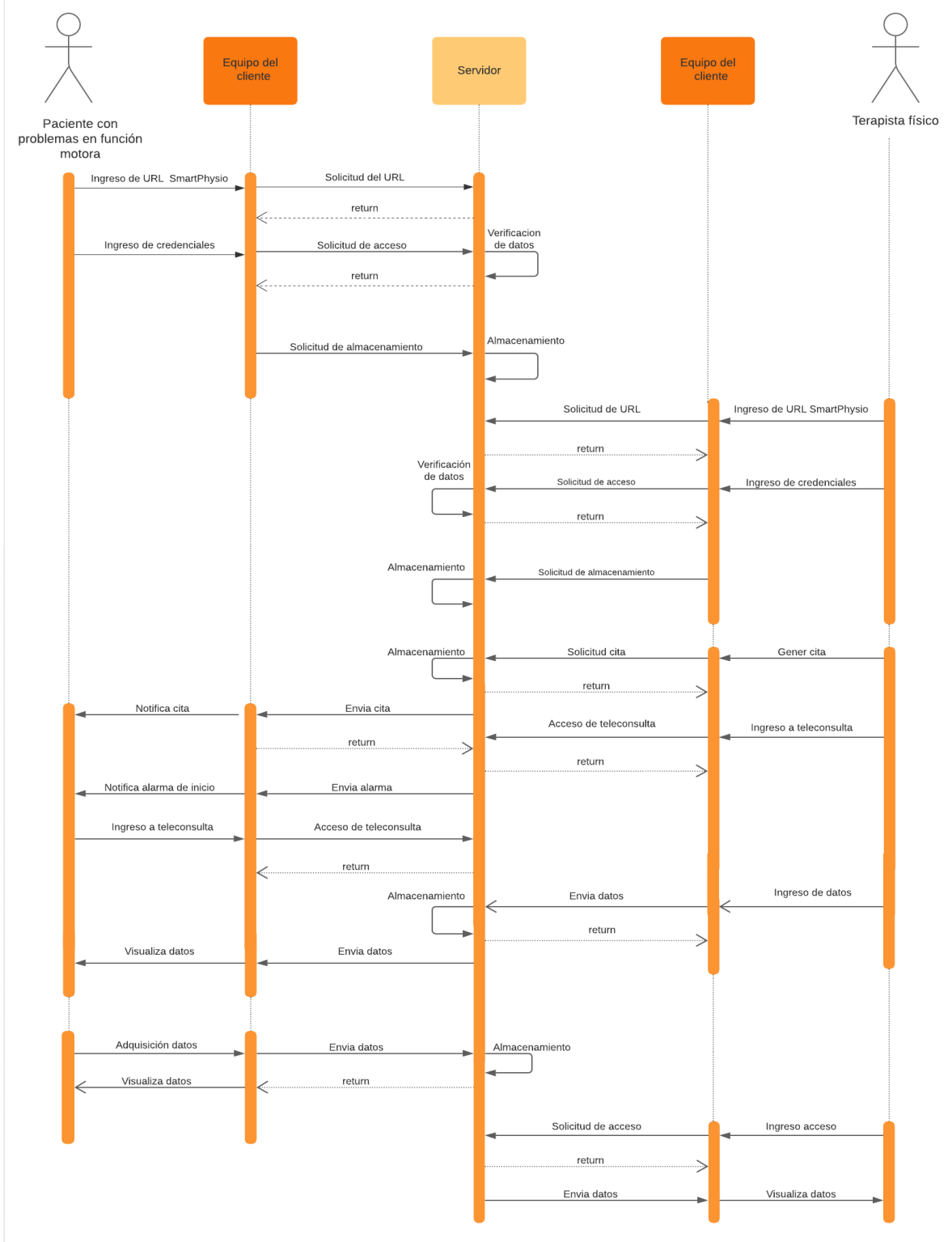


Figura 4.13 Diagrama de secuencia de la plataforma SmartPhysio

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

4.2 Resultados de la Experimentación

Para validar el servicio de telefisioterapia de la plataforma SmartPhysio, en el grafico 4.15 se detallan las diferentes etapas que se deben realizar para que se lleve a cabo un proceso de teleconsulta entre paciente – terapeuta físico.



Figura 4.15 Proceso de teleconsulta para la plataforma SmartPhysio

Fuente: Adaptado de [46]

La primera fase de testeo de la plataforma de telefisioterapia consistió en evaluar que en la implementación se hayan cumplido cada uno de los requisitos funcionales y no funcionales solicitados por las especialistas de fisioterapia. Para esta primera fase se realizó la comprobación de los requisitos en el servidor local. En la figura 4.16 se presenta la interfaz para ingreso a cada uno de los usuarios.

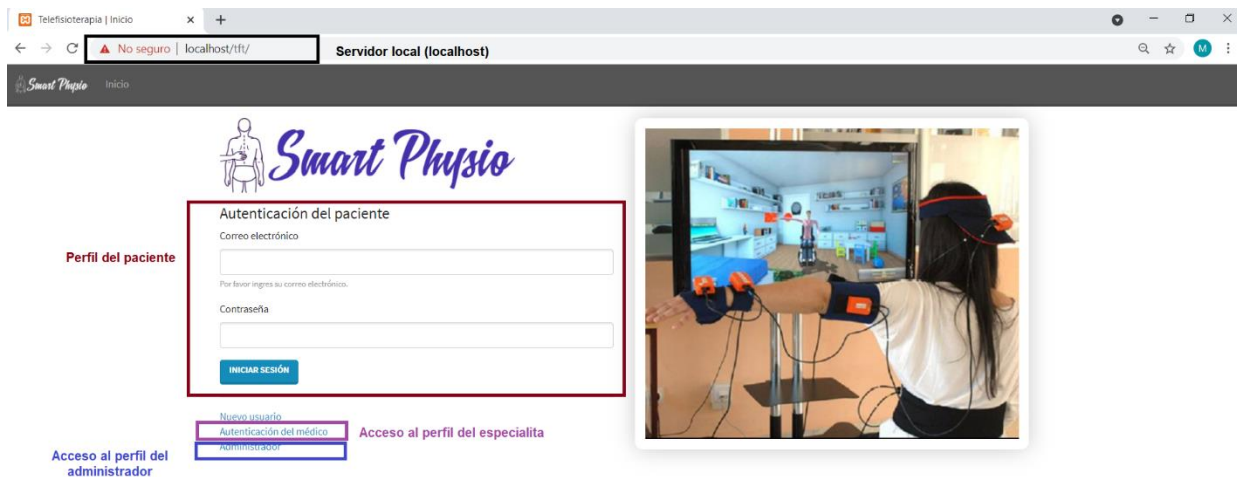


Figura 4.16 Página de inicio de la plataforma de telefisioterapia SmartPhysio

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

Por otro lado, en la segunda fase de pruebas a la plataforma, se examinó su operación en un ambiente más real con la interacción de los usuarios: paciente y una especialista de terapia física a través acceso por el dominio definido a la plataforma (www.smartphysio-esp.com). Asimismo, en esta prueba se contó con la participación de la Msc. Gabriela Valencia (Anexo E) para la supervisión y validación de la operación y funcionamiento.

Las pruebas de la plataforma de telefisioterapia fueron realizadas en dos escenarios, los mismos que se detallan a continuación:

- Cuando el paciente solicita el servicio de fisioterapia por primera vez
- Cuando el paciente ya es recurrente y se realiza seguimiento de su terapia

Para el primer escenario, es necesario que el paciente registre su información básica, correo electrónico y contraseña de acceso. De igual modo, debe colocar una marca en las casillas de Consentimiento Informado y Protección de Datos una vez que haya leído y este conforme con la información que se encuentra en los mismos (Anexo D). Todos los datos ingresados junto con la aprobación de los consentimientos son almacenados en la base datos para posteriormente recibir una notificación al correo electrónico registrado de que la creación del usuario se ha efectuado con éxito.

Posteriormente, al tomar una cita con el fisioterapeuta, este asigna una teleconsulta programada en la cual se realiza la historia clínica del paciente para empezar la atención con la consulta, diagnóstico y terapia al paciente.

En la figura 4.17 se presenta la página para registro de un nuevo usuario, mientras que en la figura 4.18 se puede visualizar la historia clínica de una paciente desde el perfil de un terapeuta físico.

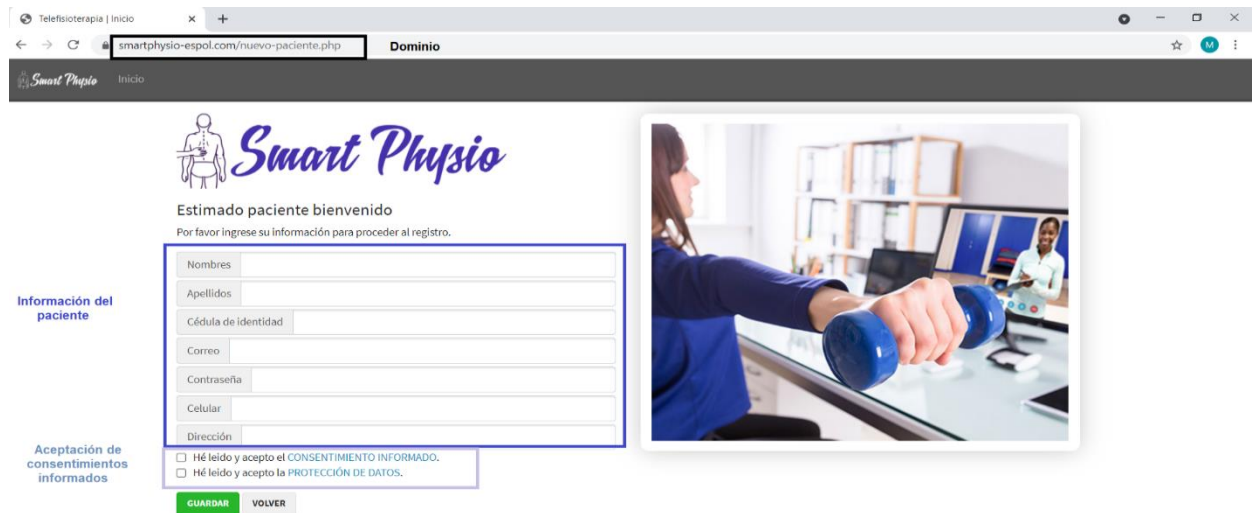


Figura 4.17 Página de registro de usuario en la plataforma de telefisioterapia **SmartPhysio**

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

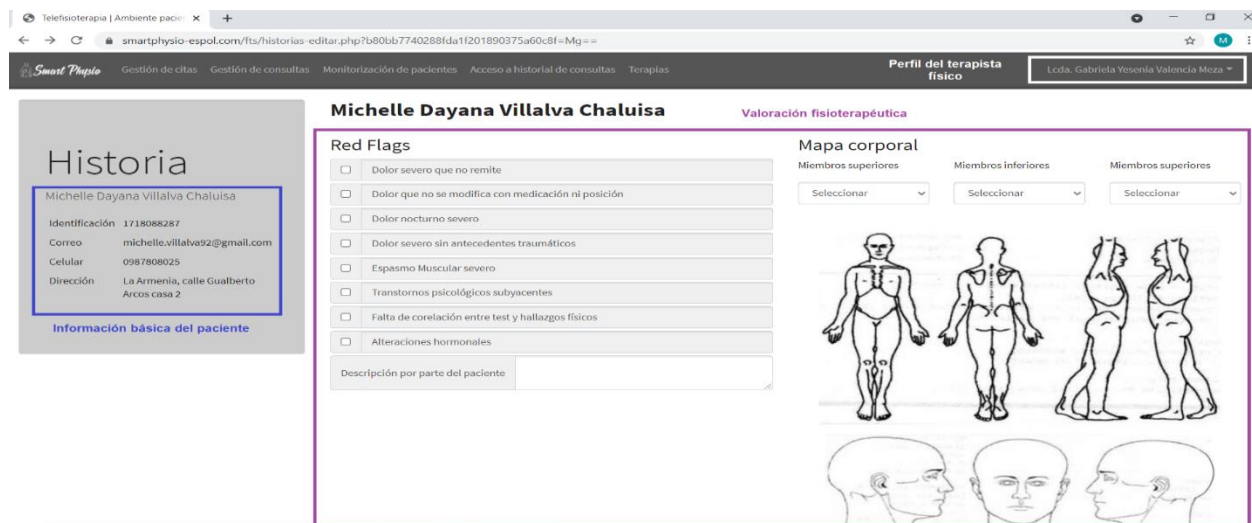


Figura 4.18 Historia clínica del paciente en la plataforma de telefisioterapia **SmartPhysio**

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

Mientras que, en el segundo escenario, el seguimiento al paciente se realiza por el historial de consultas realizadas; además de evaluar como el paciente ha realizado la terapia indicada. En esta tarea, la funcionalidad de monitorización de parámetros fisiológicos ayuda al especialista a controlar la mejora que el paciente ha tenido a través del sensor de electromiografía y también muestra los valores de temperatura y saturación

para verificar alguna sintomatología de COVID-19. En la figura 4.19 se puede observar la monitorización realizada para el paciente de prueba.



Figura 4.19 Monitorización de parámetros fisiológicos en la plataforma de telefisioterapia SmartPhysio

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

Finalmente, en la figura 4.20 se muestra el ambiente real para el segundo escenario con todas las partes involucradas.



Figura 4.20 Escenario 2 de prueba del funcionamiento de la plataforma de telefisioterapia SmartPhysio

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

4.3 Resultados de Evaluación Técnica

Con la finalidad de constatar los resultados obtenidos de la metodología propuesta (sección 3.3.2) en el aspecto técnico se realizó una retroalimentación de los usuarios que

participaron en los escenarios de prueba por medio de la encuesta de satisfacción, la misma que intentó evaluar los criterios de calidad técnica, confiabilidad y usabilidad.

Para realizar la tabulación de las encuestas se efectuó una sumatoria de los puntajes obtenidos en cada una de las preguntas planteadas por criterio. Posteriormente, se calculó el promedio de los valores para conseguir los resultados mostrados en la tabla 4.10.

Tabla 4.10 Resultados de encuesta de satisfacción de la plataforma SmartPhysio

Participante	Criterios de Evaluación	Promedio obtenido
Evaluador Msc. Gabriela Valencia	Calidad técnica	5
	Confiabilidad	4.3
	Usabilidad	5
Fisioterapeuta Lcdo. Mario Trujillo	Calidad técnica	5
	Confiabilidad	4.6
	Usabilidad	5
Paciente Sr. Luis Arellano	Calidad técnica	4.6
	Confiabilidad	4
	Usabilidad	4

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

Los resultados de la encuesta de satisfacción aplicada a los colaboradores que estuvieron durante la puesta en marcha del servicio de telefisioterapia se encuentran en un promedio de 4.3 a 5 para los tres criterios de evaluación definidos.

4.4 Registros Automáticos de Parámetros de Uso

Los registros automáticos de parámetros de uso fueron evaluados de manera mensual y en el parámetro de uso referente al número de consultas atendidas se consideró el especialista que la atendió.

En la figura 4.21 se muestra el informe de parámetros de uso con los tres indicadores definidos en la sección 3.3.1. En la parte superior del gráfico se encuentra el número de atenciones registradas al mes, mientras que en la inferior el número de consultas atendidas e ingresos a la plataforma reportados por cada usuario del sistema.

El número de atenciones a pacientes por mes se observa superior en mayo y agosto 2021 debido a que fueron los meses en que se realizaron las pruebas en las fases 1 y 2

del proyecto. De igual manera, se puede apreciar el número de consultas atendidas por cada especialista evidenciándose que la plataforma fue testeada con cada uno de los perfiles de los especialistas médicos.

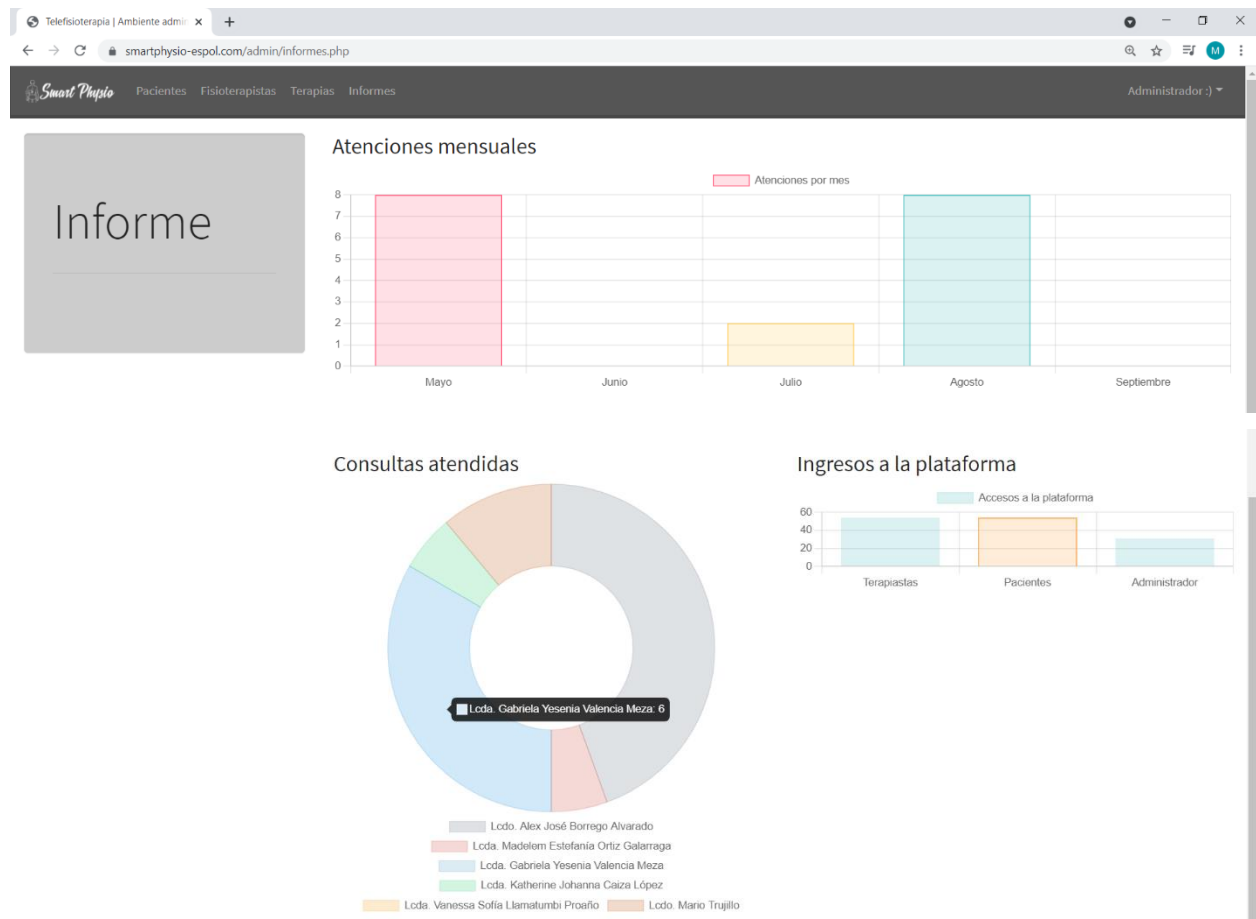


Figura 4.21 Registros automáticos de parámetros de uso de la plataforma de telefisioterapia SmartPhysio

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

Para corroborar la conectividad y acceso a la plataforma de telefisioterapia por medio del navegador Web, se realizó las pruebas de desempeño de la red inalámbrica a través de una teleconsulta programada entre el paciente y terapeuta físico. En las figuras 4.22 y 4.23 se puede observar las velocidades de envío y recepción de los datos por medio de dos aplicaciones el Administrador de tareas de Windows (parte superior derecha) y la AppNetworkCounter (parte inferior izquierda).

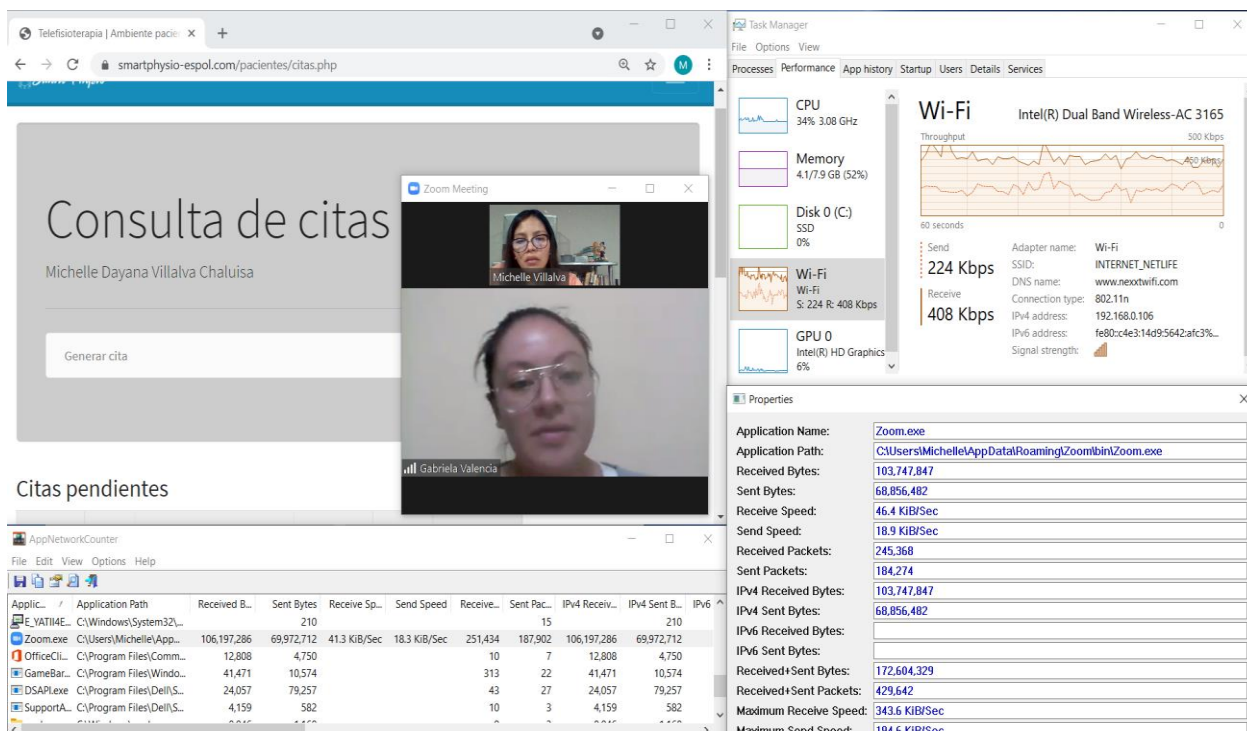


Figura 4.22 Prueba de conectividad en el equipo de cómputo del paciente

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

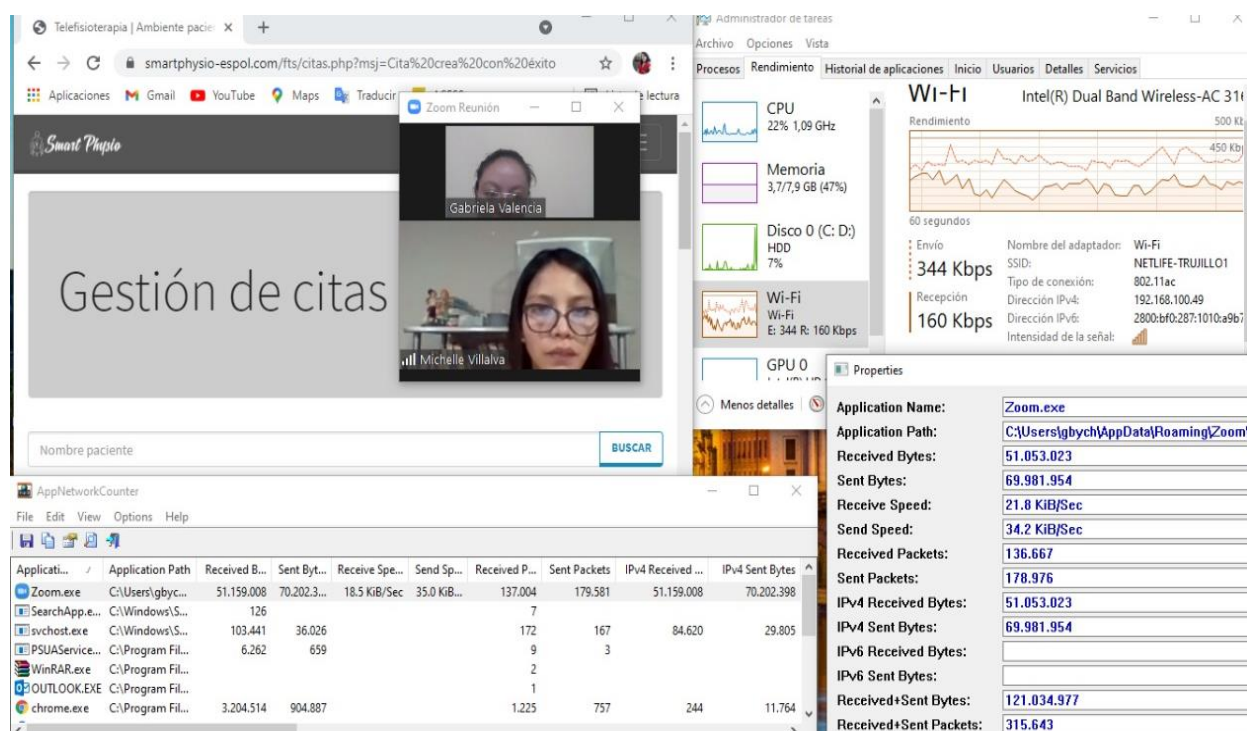


Figura 4.23 Prueba de conectividad en el equipo de cómputo del fisioterapeuta

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

El Administrador de tareas de Windows permite observar como la red se desempeña mientras se realiza una teleconsulta con la plataforma al proporcionar información general de red; así como también las velocidades de transmisión y recepción de datos. Mientras que en la aplicación AppNetworkCounter se puede observar parámetros como la velocidad de transmisión y recepción de datos, cantidad de paquetes enviados y recibidos; así como también el número de bytes.

4.5 Resultados de Evaluación Financiera

La evaluación financiera de la plataforma de telefisioterapia permitió conocer si el costo total del proyecto era viable considerando todos los aspectos de la implementación del mismo. Adicionalmente, mostrar cuál de los factores de la metodología propuesta representa el más alto y bajo costo, de lo cual en la tabla 4.11 se describen los costos específicos y el general del proyecto.

Tabla 4.11 Presupuesto para la implementación de la plataforma SmartPhysio

Nº	Descripción	Costo	Cantidad	Subtotal
1	Tarjeta ARDUINO UNO	\$31.19	1	\$31.19
2	Tarjeta ARDUINO NANO	\$7.78	1	\$7.78
3	Sensor de saturación de oxígeno MAX30100	\$7.77	1	\$7.77
4	Sensor de temperatura MXL90614	\$11.61	1	\$11.61
5	Sensor para electromiograma AD8832	\$48.04	1	\$48.04
6	Cable con electrodos	\$29.46	1	\$29.46
7	Cable para prueba serial	\$12.00	1	\$12.00
8	Shield Ethernet W5100	\$15.00	1	\$15.00
9	Manufactura- ensamble de circuito impreso (costo por cm ²)	\$0.15	34.72	\$5.21
10	Accesorios electrónicos	\$20.00	1	\$20.00
11	Diseño de logo de la plataforma	\$23.94	1	\$23.94
12	Licencia de programas	\$0.00	1	\$0.00
13	Hosting y dominio (plan anual)	\$35.00	1	\$35.00
Total				\$247.00

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

Los montos reportados revelan que el costo más representativo fue gastado en el hardware donde en su mayoría está compuesto por dispositivos electrónicos y las

tarjetas con un valor del \$188.06 dólares. Por otra parte, el más bajo valor fue registrado en el software, en donde al ser de licencia libre no generó ningún costo al proyecto.

En general, el costo total fue mínimamente superior a la mitad de un sueldo básico en el Ecuador, siendo esto un indicativo que el proyecto es económicamente aceptable comparado con todas las ventajas que el servicio de telefisioterapia ofrece a los pacientes con alteraciones en su función motora. Igualmente, de acuerdo a los beneficios y ventajas reportados en la sección 3.3.3 el proyecto posibilita que los pacientes puedan reducir gastos innecesarios como en traslado y transporte al acudir a una cita médica o terapia fisioterapéutica en vez de eso cuentan con un servicio desde la comodidad de su hogar y evitando un posible contagio de las múltiples variantes que existen a causa del COVID-19.

CAPÍTULO 5

Conclusiones

- El desarrollo del prototipo de telefisioterapia propuesto demuestra que la tecnología puede contribuir significativamente a reducir las tasas de contagio, especialmente en el periodo actual de pandemia que se encuentra el mundo, en donde la presencialidad entre el especialista – paciente es restringida. Es por ello que la plataforma SmartPhysio incluyó los criterios de telemedicina e IoMT a fin de que los terapeutas físicos cuenten con las herramientas necesarias para facilitar su labor en el diagnóstico y tratamiento a los pacientes.
- El proyecto de telefisioterapia SmartPhysio se basó en el Art. 30, 31 y 78 de la Ley Orgánica de Protección de Datos. Los Art. 30 y 31 establecen todo lo relativo a los datos de salud y su tratamiento por lo que para dar conformidad a los mismos se implementó el Consentimiento Informado de Protección de Datos con el fin de que se garantice la confidencialidad de la información de los pacientes. Mientras que para solventar el Art. 78 se procedió al mejoramiento de las seguridades de la plataforma por medio de los procesos de encriptación en la base de datos y la autenticación de los usuarios mediante el protocolo OAuth.
- Los requerimientos para el diseño y desarrollo del prototipo fueron establecidos por medio de encuestas a los actores que participan en el servicio. Se realizaron un total de 209 encuestas divididas en tres tipos, las cuales se diferenciaban por su enfoque y a que actor iba dirigido. Las encuestas evidenciaron que en la ciudad de Quito existe una considerable necesidad de servicios fisioterapéuticos, concentrados en su mayoría en la zona sur de la ciudad. Adicionalmente, el 44% de los encuestados presentan una edad superior a los 40 años. Por otro lado, dentro de las necesidades tecnológicas, el 77.6% de los entrevistados informan que la videollamada es medio ideal para establecer la comunicación paciente – fisioterapeuta, mientras que el 82.5% opina que dentro de las funcionalidades del sistema debe existir la posibilidad de visualizar imágenes médicas.
- Durante el período de pruebas se testearon las diferentes funcionalidades en cada uno de los perfiles de usuario, de lo cual la más destacada fue la adquisición de datos reportando valores promedio de temperatura y saturación de 36.5°C y 92%

respectivamente en el paciente que se efectuó la prueba. Por su parte el electromiograma mostró valores entre 190 - 250 si la extremidad superior se encontraba en reposo y desde 750 hasta 1200 si el paciente realizaba movimientos de flexión o levantamiento de algún objeto.

- El equipo de medición de parámetros fisiológicos opera a un voltaje de 5v y presenta un consumo energético de 294 mA considerando todos los componentes electrónicos que intervienen en su diseño. La captación de datos proveniente de cada uno de los sensores en el presente prototipo se realiza cada segundo.
- Mediante la utilización del Administración de tareas y AppNetworkCounter, las pruebas de conectividad de la plataforma mostraron que, en la red inalámbrica del equipo de cómputo del terapeuta físico, la velocidad de transmisión fue de aproximadamente de 344 kbps con un envío de 69 MB, mientras que para la computadora situada en el lado del paciente este parámetro disminuye a 224 kbps con un envío de 68MB. Por otro lado, en la velocidad de recepción de datos se registraron los valores de 160 y 408 kbps para las computadoras del especialista físico y paciente respectivamente. Los resultados de los parámetros de desempeño fueron aproximados entre aplicaciones para una teleconsulta habitual.
- La encuesta de satisfacción aplicada a los usuarios que participaron en el periodo de pruebas muestra que los parámetros definidos para evaluar técnicamente al prototipo se encuentran en un rango satisfactorio siendo la métrica de calidad técnica la mejor puntuada, donde tanto para el evaluador como el fisioterapeuta alcanza el valor máximo de 5 en promedio demostrando conformidad del servicio ofrecido por la plataforma SmartPhysio.
- De acuerdo a la evaluación financiera, el costo total del prototipo es de \$247.00, del cual la mayor parte del valor gastado es del hardware empleado para fabricar el equipo de medición de parámetros fisiológicos presentando un costo de \$188.06, mientras que en el software refleja un costo mucho menor de \$58.94, debido a que los programas utilizados son de código abierto. En términos generales, el prototipo es una alternativa de bajo costo en relación a todas las ventajas y beneficios que ofrece a los usuarios.

Recomendaciones

- La colocación del sensor de electromiografía en el miembro a evaluar debe ser guiada por el terapeuta físico a fin de que no exista una adquisición de información errada.
- Para un análisis adecuado de la señal muscular, la adquisición de datos debe ser realizada a una frecuencia superior a la del actual prototipo. Para mejorar este particular se puede suplir a las tarjetas ARDUINO a una tarjeta Raspberry junto con un módulo e-Health como MySignals, el cual es un módulo especializado para sensores biomédicos.
- Para evitar saturación de información en la base de datos, el especialista físico recomienda que el tiempo de uso de los sensores, en el caso de temperatura y saturación debe ser de 3 minutos; mientras que para el sensor de electromiografía los electrodos deben permanecer en un rango de 15 a 20 minutos dependiendo si el paciente se encuentra en evaluación o realizando a la rutina de ejercicios establecida por el especialista.
- Para mayor seguridad de los datos que se manejan, los usuarios deben definir contraseñas de al menos 8 caracteres y que incluyan una letra mayúscula, números y un signo especial.
- Para potencializar las funcionalidades de la plataforma de telefisioterapia es importante conocer y leer detenidamente el manual de cada uno de los usuarios.
- Para complementar el trabajo del sensor de electromiografía se puede incluir un sensor de posición que permitirá conocer la posición del miembro en evaluación contribuyendo a un diagnóstico y tratamiento eficaz por parte del especialista físico.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. I. Alfonso Mantilla, “Fisioterapia y su rol en el alto rendimiento: una revisión sistemática de la literatura”, vol. 7, 2018, doi: <https://doi.org/10.24310/riccafd.2018.v7i1.4853>.
- [2] Organización Mundial de la Salud, “Prevención de trastornos musculoesqueléticos en el lugar de trabajo”. 2014. [En línea]. Disponible en: https://www.who.int/occupational_health/publications/en/pwh5sp.pdf
- [3] T. Villar, M. Mesa, A. Esteban, A. Sanjoaquin, y E. Fernández, “Alteraciones de la marcha, inestabilidad y caídas”. 2019.
- [4] K. V. A. Espejo, “La importancia del movimiento en la rehabilitación de enfermedades neurológicas”, *Rev. Neuronum*, vol. 7, núm. 2, pp. 42–46, 2021.
- [5] J. F. Ayala-Lozano, “Diseño mecánico de un exoesqueleto para rehabilitación de miembro superior”, *Rev. Colomb. Biotecnol.-A*, vol. 17, pp. 79–90, 2015.
- [6] A. Calle Egusquiza, *Factores relacionados con fragilidad como predictores de recuperación funcional en rehabilitación geriátrica en pacientes post cirugía ortopédica y post ictus: aprendizajes del estudio SAFARI (Sarcopenia And Function in Aging Rehabilitation)*. 2019.
- [7] B. J. Pinos Chuya y V. H. Uguña Uguña, “Diseño y construcción de un asistente robótico articulado como herramienta de soporte en la rehabilitación de niños con dificultades motrices”, B.S. thesis, 2021.
- [8] P. F. Monserrat, F. Llull, M. M. Aguiló, J. S. Terrasa, y Y. Gonzalez-Cid, “P4H: An example of successful use of serious games in telerehabilitation”, en *2015 Internet Technologies and Applications (ITA)*, sep. 2015, pp. 261–265. doi: 10.1109/ITechA.2015.7317406.
- [9] Instituto Nacional De Estadísticas y Censos INEC, “Anuario de Estadística de Salud: Recursos y Actividades”. 2014.
- [10] M. D. L. P. CHANG *et al.*, “TELEMEDICINA EN PREVENCIÓN SECUNDARIA Y REHABILITACIÓN DEL ACCIDENTE CEREBROVASCULAR DURANTE LA PANDEMIA POR COVID-19”, *Med. B. Aires*, vol. 81, núm. 3, pp. 415–420, 2021.
- [11] F. Moreno *et al.*, “Un Framework para la Rehabilitación Física en Miembros Superiores con Realidad Virtual”, 2013.
- [12] D. Antón, A. Goñi, A. Illarramendi, J. J. Torres-Unda, y J. Seco, “KiReS: A Kinect-based telerehabilitation system”, en *2013 IEEE 15th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom 2013)*, oct. 2013, pp. 444–448. doi: 10.1109/HealthCom.2013.6720717.
- [13] C. J. R. Pérez, “Aproximación de un prototipo no invasivo para la detección de lesiones de rodilla usando sensores mioeléctricos.”, *Rev. Tecnol. Digit. Vol*, vol. 9, núm. 2, pp. 27–40, 2019.
- [14] L. J. Consoni, A. A. G. Siqueira, y H. I. Krebs, “Compensating for telecommunication delays during robotic telerehabilitation”, en *2017 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, jul. 2017, pp. 812–817. doi: 10.1109/ICORR.2017.8009348.
- [15] M. Minge, E. Ivanova, K. Lorenz, G. Joost, M. Thüring, y J. Krüger, “BeMobil: Developing a user-friendly and motivating telerehabilitation system for motor relearning after stroke”, en *2017 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, jul. 2017, pp. 870–875. doi: 10.1109/ICORR.2017.8009358.
- [16] K. M. Tsiouris *et al.*, “Designing interoperable telehealth platforms: bridging IoT devices with cloud infrastructures”, *Enterp. Inf. Syst.*, vol. 0, núm. 0, pp. 1–25, 2020, doi: 10.1080/17517575.2020.1759146.

- [17] OMS, "Telemedicine. Opportunities and developments in Member States". 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.who.int/goe/publications/goe_telemedicine_2010.pdf
- [18] J. L. Pérez-Medina, K. B. Jimenes-Vargas, P. Acosta-Vargas, Y. Rybarczyk, y M. González, "User experience assessment of a tele-rehabilitation platform: the physiotherapist perspective", en *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*, 2019, pp. 463–473.
- [19] PAHO y OMS, "Hospitales en Redes Integradas de Servicios de Salud". 2018. [En línea]. Disponible en: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/49098>
- [20] R. P. Singh, M. Javaid, A. Haleem, R. Vaishya, y S. Ali, "Internet of Medical Things (IoMT) for orthopaedic in COVID-19 pandemic: Roles, challenges, and applications", *J. Clin. Orthop. Trauma*, vol. 11, núm. 4, pp. 713–717, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2020.05.011>.
- [21] J. T. Hansen, *NETTER. Anatomía clínica*. Elsevier, 2020.
- [22] Universidad de Antioquia, "Anatomía y fisiología". 2019. [En línea]. Disponible en: <https://docplayer.es/74799372-Anatomia-y-fisiologia.html>
- [23] A. Gómez Valdés y E. Santana García, "Acciones terapéuticas para la compensación de alteraciones posturales presentes en atletas de marcha deportiva", 2017.
- [24] B. Popescu, "La Importancia De La Figura Del Fisioterapeuta En Los Servicios De Urgencia. Revisión Sistemática", Universidad de Zaragoza, 2020.
- [25] P. Serón, MJ. Oliveros, R. Fuentes-Aspe, y R. Gutiérrez-Arias, "Effectiveness of telerehabilitation in physical therapy: A protocol for an overview in a time when rapid responses are needed.", p. 20, 2020, doi: [doi: 10.5867/medwave.2020.07.7970](https://doi.org/10.5867/medwave.2020.07.7970).
- [26] J. Pérez y J. F. Vásquez, "El distanciamiento social por COVID-19 podría producir tratamientos fisioterapéuticos de mayor eficacia a largo plazo", 2020, doi: [10.35366/95423](https://doi.org/10.35366/95423).
- [27] A. Povar, A. Abelló, y E. Luque, "Empoderando al paciente de fisioterapia a través del uso de las TIC.", *International Journal of Integrated Care*, 2019, doi: [dx.doi.org/10.5334/ijic.s3526](https://doi.org/10.5334/ijic.s3526).
- [28] J. Girando, T. Serna, E. Robledo, y O. Andrea, "REVISIÓN DE LOS BENEFICIOS DE LA TELEMEDICINA EN LA REHABILITACIÓN FÍSICA DE PACIENTES CON ALTERACIONES MÚSCULO ESQUELÉTICAS. ELABORACIÓN DE GUÍA PARA LA HABILITACIÓN DE UN SERVICIO DE TELEREHABILITACIÓN", 2013.
- [29] M. Piqueras *et al.*, "Effectiveness of an interactive virtual telerehabilitation system in patients after total knee arthroplasty: a randomized controlled trial.", *J. Rehabil. Med.*, vol. 45, núm. 4, pp. 392–396, abr. 2013, doi: [10.2340/16501977-1119](https://doi.org/10.2340/16501977-1119).
- [30] H. Moffet *et al.*, "Patient Satisfaction with In-Home Telerehabilitation After Total Knee Arthroplasty: Results from a Randomized Controlled Trial", *Telemed. E-Health*, vol. 23, núm. 2, pp. 80–87, 2017, doi: [10.1089/tmj.2016.0060](https://doi.org/10.1089/tmj.2016.0060).
- [31] C. Chamorro, J. Camacho, J. García, y J. Tovar, *Sistema de telemedicina basado en una arquitectura orientada a servicios y aplicado a la rehabilitación física*. 2020.
- [32] J. A. Prados Castillejo, "Telemedicina, una herramienta también para el médico de familia", *Aten. Primaria*, vol. 45, núm. 3, pp. 129–132, 2013, doi: [10.1016/j.aprim.2012.07.006](https://doi.org/10.1016/j.aprim.2012.07.006).
- [33] L. P. L. Cánovas, L. B. L. Cánovas, y A. H. Forcelledo, "Telemedicina, impacto y perspectivas para la sociedad actual", *Univ. Médica Pinareña*, vol. 14, núm. 3, pp. 289–303, 2018.
- [34] PAHO y OMS, "Marco de Implementación de un Servicio de Telemedicina". 2016. [En línea]. Disponible en:

<http://www.codajic.org/sites/www.codajic.org/files/Marco%20de%20Implementaci%C3%B3n%20de%20un%20Servicio%20de%20Telemedicina.pdf>

- [35] S. Vishnu, S. R. J. Ramson, y R. Jegan, "Internet of Medical Things (IoMT) - An overview", en *2020 5th International Conference on Devices, Circuits and Systems (ICDCS)*, 2020, pp. 101–104. doi: 10.1109/ICDCS48716.2020.243558.
- [36] G. Hatzivasilis, K. Fysarakis, O. Soultatos, I. Askoxylakis, I. Papaefstathiou, y G. Demetriou, "The Industrial Internet of Things as an enabler for a Circular Economy Hy-LP: A novel IIoT protocol, evaluated on a wind park's SDN/NFV-enabled 5G industrial network", *Comput. Commun.*, vol. 119, pp. 127–137, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2018.02.007>.
- [37] A. C. Lee, "COVID-19 and the Advancement of Digital Physical Therapist Practice and Telehealth", *Phys. Ther.*, vol. 100, núm. 7, pp. 1054–1057, abr. 2020, doi: 10.1093/ptj/pzaa079.
- [38] M. BARRIOS, L. RODRIGUEZ, C. PACHON, B. MEDINA, y J. E. SIERRA, "Telerehabilitación funcional en entornos virtuales interactivos como propuesta de rehabilitación en pacientes con discapacidad", *Rev. Espac.*, vol. 40, núm. 25, 2019.
- [39] G. Bauer y Y.-J. Pan, "Review of Control Methods for Upper Limb Telerehabilitation With Robotic Exoskeletons", *IEEE Access*, vol. 8, pp. 203382–203397, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3036596.
- [40] G. Pinasco, "Quito: la ciudad más grande del Ecuador", 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.vistazo.com/actualidad/nacional/quito-la-ciudad-mas-grande-del-ecuador-IYVI162291>
- [41] S. Secretaría de Territorio Hábitat y Vivienda. DMQ, "Mapas de la ciudad de Quito", 2021.
- [42] D. A. Tenelema, M. S. Álvarez, y M. G. Pena, "El rol de las tics en la reducción de la brecha para el acceso a la salud", *ReHuSo Rev. Cienc. Humanísticas Soc.*, vol. 3, núm. 2, pp. 57–66, 2018.
- [43] X. F. Grau y M. I. S. Segura, "Desarrollo orientado a objetos con UML", vol. 1, 2008.
- [44] O. Organización Panamericana de la Salud, "Teleconsulta durante una Pandemia", 2020.
- [45] PAHO y OMS, "Definición de indicadores para proyectos de telemedicina como herramienta para la reducción de las inequidades en salud". 2016.
- [46] L. A. V. Cevallos, "Evaluación del impacto de un servicio de teleconsulta médica en la formación práctica de estudiantes de pregrado en Loja - Ecuador", *Telecomunicación*, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://oa.upm.es/48150/>
- [47] UNIT Electronics, "Sensor de Temperatura infrarrojo GY-906 MLX90614", 2021. <https://uelectronics.com/producto/sensor-de-temperatura-infrarrojo-gy-906-mlx90614/>
- [48] UNIT Electronics, "Sensor de pulso cardiaco Heart Rate MAX30100", 2021. <https://uelectronics.com/producto/sensor-de-pulso-cardiaco-heart-rate-max30100/>
- [49] Advancer Technologies, "Three-lead Differential Muscle/Electromyography Sensor for Microcontroller Applications", 2013. [En línea]. Disponible en: https://www.pololu.com/file/0J745/Muscle_Sensor_v3_users_manual.pdf

ANEXOS

ANEXO A

ENCUESTAS REALIZADAS A PACIENTES, FISIOTERAPISTAS E INGENIEROS BIÓMICOS

Fisioterapia para pacientes

Lea detenidamente cada pregunta y conteste las siguientes interrogantes con honestidad de acuerdo a su realidad. ***Obligatorio**

1. ¿Qué edad tiene usted? *

- 10 – 20 años
- 20 – 30 años
- 30 – 40 años
- Más de 40 años

2. ¿En qué zona de Quito, usted actualmente reside? *

- Norte
- Sur
- Centro
- Los Valles

3. ¿Alguna vez en su vida ha recibido servicios de fisioterapia? *

- Si
- No
- Tal vez

4. ¿Alguna vez en su vida ha tenido algún tipo de fractura o lesión? *

- Si
- No
- Tal vez

5. Si la pregunta anterior fue afirmativa, ¿qué parte de su cuerpo fue afectada? *

- Extremidades superiores
- Extremidades inferiores
- Parte central del cuerpo

6. ¿Qué tipos de terapias físicas recibió usted para recuperarse?

Selecciona todos los que correspondan.

- Terapia física
- Equipos especializados calor-frío
- Gimnasia y ejercicios
- Otro: _____

7. ¿Considera que la tecnología es un componente importante en la recuperación fisioterapéutica? *

- Muy de acuerdo
- Algo de acuerdo
- Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- Algo en desacuerdo
- Muy en desacuerdo

8. ¿Considera que el servicio de telefisioterapia podría apoyar al diagnóstico y tratamiento de lesiones en las extremidades? *

- Si
- No
- Tal vez

9. Si la respuesta anterior es afirmativa ¿qué tipo de contenido le gustaría observar dentro de la plataforma de telefisioterapia? Puede elegir una o más opciones

Selecciona todos los que correspondan.

- Imágenes y videos tutoriales
- Mensajería con el especialista
- Videollamadas programadas
- Monitorización por el especialista
- Otro: _____

10. ¿Considera que el uso de una plataforma de telefisioterapia le ayudará a evitar la propagación de contagios y aumento de casos Covid-19? *

- Si
- No
- Tal vez

Tecnología en la Fisioterapia

Lea detenidamente cada pregunta y conteste las siguientes interrogantes con honestidad de acuerdo a su realidad. ***Obligatorio**

1. ¿Ha tenido la oportunidad de gestionar su trabajo por medio de una plataforma de fisioterapia o similares? *

- Si
- No
- Tal vez

2. ¿Conoce de la existencia de algún tipo de aplicación o plataforma de telefisioterapia en el Ecuador? *

- Sí
- No
- Tal vez

3. ¿Consideraría útil el uso de una plataforma de telefisioterapia entre los especialistas médicos y sus pacientes? *

- Muy de acuerdo
- Algo de acuerdo
- Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- Algo en desacuerdo
- Muy en desacuerdo

4. ¿Considera que el servicio de telefisioterapia podría apoyar al diagnóstico y tratamiento de fisioterapia de los pacientes? *

- Muy de acuerdo
- Algo de acuerdo
- Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- Algo en desacuerdo
- Muy en desacuerdo

5. Si la respuesta anterior es afirmativa ¿qué tipo de herramientas le gustaría tener en la plataforma de telefisioterapia para brindar atención a los diferentes pacientes? Puede elegir una o más opciones

Selecciona todos los que correspondan.

- Visualización de signos vitales
- Visualización de parámetros de fuerza y ángulo de extremidades
- Información clínica
- Imágenes de estudios complementarios
- Indicaciones de tratamiento
- Planificación de tratamiento
- Otro: _____

6. ¿Cuál de las siguientes opciones considera la más idónea para establecer comunicación con sus pacientes? *

Selecciona todos los que correspondan.

- Videollamada
- Notificación por mensaje
- Notificación vía correo electrónico
- Llamadas telefónicas

7. ¿Considera que la plataforma de telefisioterapia resultará de fácil uso? *

- Sí

- No
- Tal vez

8. ¿Considera que la plataforma de telefisioterapia evitará la propagación de contagios y aumento de casos Covid19? *

- Muy de acuerdo
- Algo de acuerdo
- Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- Algo en desacuerdo
- Muy en desacuerdo

Telefisioterapia en el Ecuador

Lea detenidamente cada pregunta y conteste las siguientes interrogantes con honestidad de acuerdo a su realidad. *Obligatorio

1. ¿Qué expectativa tiene de una plataforma de telefisioterapia en el Ecuador? *

- Alta
- Media
- Baja

2. ¿Considera que una plataforma de telefisioterapia es un avance significativo en el área biomédica en el Ecuador? *

- Muy de acuerdo
- Algo de acuerdo
- Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- Algo en desacuerdo
- Muy en desacuerdo

3. ¿Cuál de las siguientes opciones de infraestructura de red considera la más idónea para un servicio de telefisioterapia? *

- Wimax
- Zigbee
- Lora
- Wifi
- Otro:

4. ¿Qué normas de seguridad y protección de información, considera usted las más factibles para un sistema de telefisioterapia? *

Selecciona todos los que correspondan.

- ISO/IEC 27002
- OAuth
- Encriptación
- VPN
- Todas las anteriores

Otro:

5. ¿Considera que los sensores vestibulares son una opción adecuada en costo y fácil uso para un sistema de telefisioterapia? *

- Muy de acuerdo
- Algo de acuerdo
- Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- Algo en desacuerdo
- Muy en desacuerdo

ANEXO B

ESQUEMÁTICOS ELECTRÓNICOS

Sensor de temperatura MXL90614



Figura 24 Representación de los pines del sensor MXL90614

Fuente: Adaptado de [47]

Tabla 12 Funciones de los pines del sensor MXL90614

Aspecto	Observación
SCL	Entrada del reloj, utilizadas para comunicaciones bidireccionales
SDA	Entrada/salida digital. En operación normal, la medición de temperatura está disponible en este pin en un ancho de pulso modulado
VDD	Suministro de voltaje externo
VSS	Tierra

Fuente: Tomado de [47]

Sensor de saturación de oxígeno MAX30100



Figura 25 Representación de los pines del sensor MAX30100

Fuente: Adaptado de [48]

Tabla 13 Funciones de los pines del sensor MXL90614

Aspecto	Observación
SCL	Entrada del reloj, utilizadas para comunicaciones bidireccionales
SDA	Entrada/salida digital. En operación normal, la medición de temperatura está disponible en este pin en un ancho de pulso modulado
VDD	Suministro de voltaje externo
VSS	Tierra

Fuente: Tomado de [48]

Sensor muscular o EMG AD8832

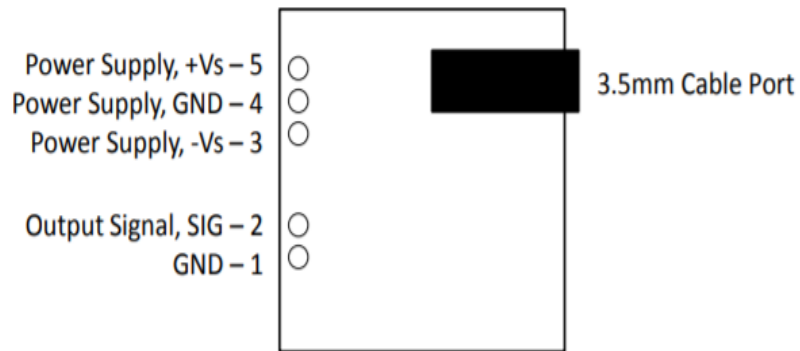


Figura 26 Representación de los pines del sensor AD8832

Fuente: Tomado de [49]

Tabla 14 Rangos de operación el sensor AD8832

Parámetro	Rango de operación
Suministro de voltaje (Vs)	Min: ± 3.5 V Max: ± 18 V
Señal de voltaje de salida	Min: 0 V Max: +Vs
Voltaje diferencial de entrada	Min: 0 mV Max: +Vs/Ganancia

Fuente: Tomado de [49]

Diagrama electrónico de hardware

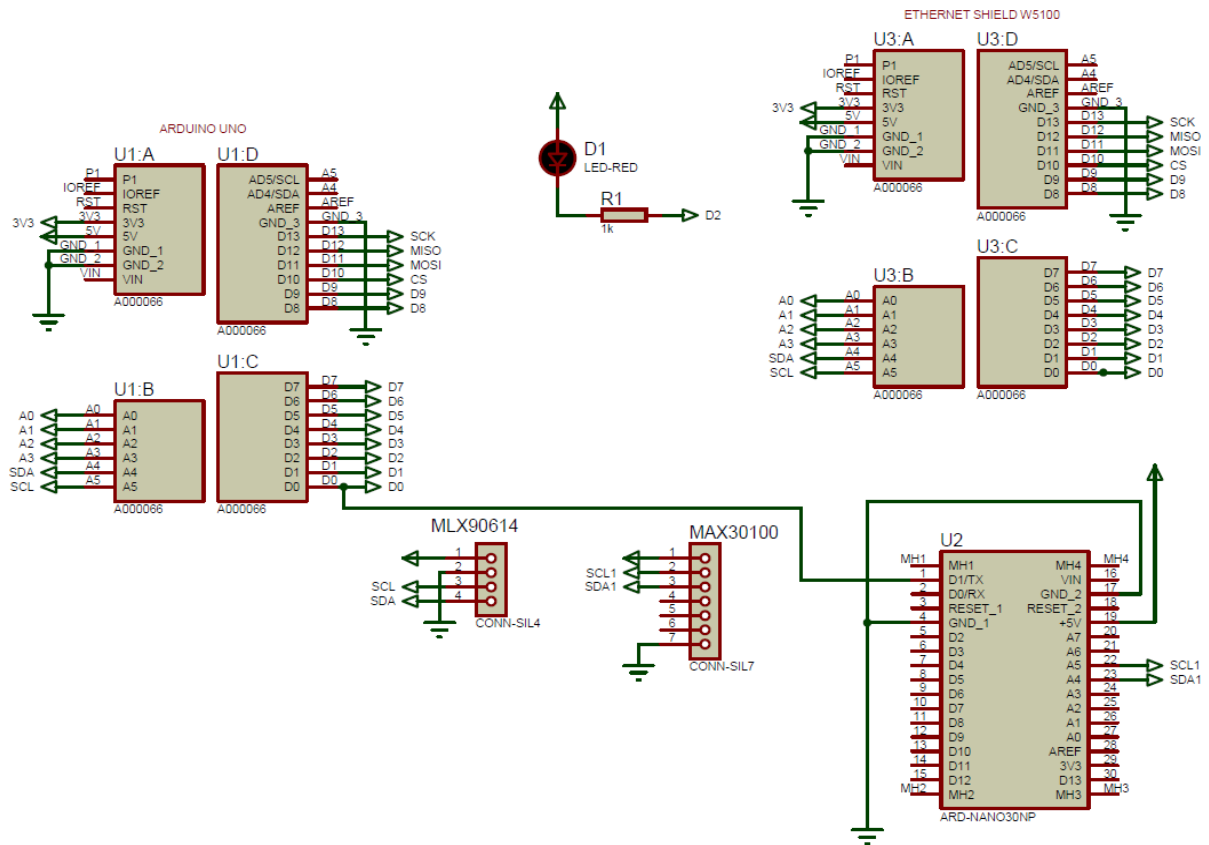


Figura 27 Diagrama electrónico de la conexión de tarjetas y sensores

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

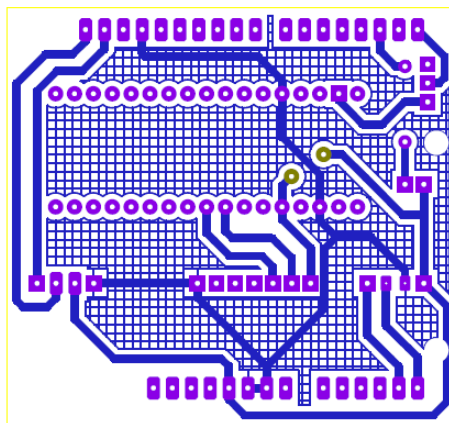


Figura 28 Diseño de la placa electrónica del equipo de medición

Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

ANEXO C

PRINCIPALES TABLAS EN LA BASE DE DATOS

Tabla paciente

#	Name	Type	Collation	Attributes	Null	Default	Comments	Extra	Action
<input type="checkbox"/>	1	pacientes_id			No	None		AUTO_INCREMENT	
<input type="checkbox"/>	2	pacientes_nombres	utf8_general_ci		Yes	NULL			
<input type="checkbox"/>	3	pacientes_apellidos	utf8_general_ci		Yes	NULL			
<input type="checkbox"/>	4	pacientes_identificacion	utf8_general_ci		Yes	NULL			
<input type="checkbox"/>	5	pacientes_correo	utf8_general_ci		Yes	NULL			
<input type="checkbox"/>	6	pacientes_celular	utf8_general_ci		Yes	NULL			
<input type="checkbox"/>	7	pacientes_contrasena	utf8_general_ci		Yes	NULL			
<input type="checkbox"/>	8	pacientes_direccion	utf8_general_ci		Yes	NULL			
<input type="checkbox"/>	9	pacientes_consentimiento	utf8_general_ci		Yes	NULL			
<input type="checkbox"/>	10	pacientes_proteccion	utf8_general_ci		Yes	NULL			

Pacientes_id: corresponde al identificador del paciente dentro de la base de datos. Es un entero que se autoincrementa de acuerdo a la secuencia de ingreso.

Pacientes_nombres: es el campo en donde se almacenan los nombres del paciente

Pacientes_apellidos: es el campo en donde se almacenan los apellidos del paciente

Pacientes_identificación: corresponde al número del cédula del paciente

Pacientes_correo: es el campo en el cual se almacena el correo electrónico del paciente, el mismo que servirá para el acceso a la plataforma SmartPhysio

Pacientes_celular: en este campo se guardarán el número celular del paciente

Pacientes_contrasena: en este campo se guarda la contraseña de elección del paciente para el acceso a la plataforma SmartPhysio

Pacientes_dirección: en este campo se visualiza la dirección del domicilio del paciente

Pacientes_consentimiento: en este campo se almacena la autorización del paciente al consentimiento informado al tratamiento fisioterapéutico

Pacientes_protección: en este campo se almacena la autorización del paciente al uso y protección de datos clínicos

Tabla fisioterapeuta

#	Name	Type	Collation	Attributes	Null	Default	Comments	Extra	Action
<input type="checkbox"/>	1 fts_id	int(11)			No	None		AUTO_INCREMENT	Change Drop More
<input type="checkbox"/>	2 fts_nombres	varchar(45)	utf8_general_ci		Yes	NULL			Change Drop More
<input type="checkbox"/>	3 fts_apellidos	varchar(45)	utf8_general_ci		Yes	NULL			Change Drop More
<input type="checkbox"/>	4 fts_correo	varchar(45)	utf8_general_ci		Yes	NULL			Change Drop More
<input type="checkbox"/>	5 fts_contrasena	varchar(45)	utf8_general_ci		Yes	NULL			Change Drop More
<input type="checkbox"/>	6 fts_celular	varchar(45)	utf8_general_ci		Yes	NULL			Change Drop More
<input type="checkbox"/>	7 fts_direccion	varchar(200)	utf8_general_ci		Yes	NULL			Change Drop More
<input type="checkbox"/>	8 fts_sala	varchar(200)	utf8_general_ci		Yes	NULL			Change Drop More
<input type="checkbox"/>	9 fts_turno	varchar(45)	utf8_general_ci		Yes	NULL			Change Drop More

Fts_id: corresponde al identificador del terapeuta físico dentro de la base de datos. Es un entero que se autoincrementa de acuerdo a la secuencia de ingreso de la información.

Fts _nombres: es el campo en donde se almacenan los nombres del especialista

Fts _apellidos: es el campo en donde se guardan los nombres del terapeuta físico

Fts _correo: es el campo en el cual se almacena el correo electrónico del especialista físico, el mismo que servirá para su acceso dentro de la plataforma SmartPhysio

Fts _contraseña: en este campo se almacena la contraseña escogida por el terapeuta físico para acceder a su perfil dentro de la plataforma SmartPhysio

Fts _celular: en este campo se almacena el número celular del especialista por el cual los pacientes podrán ser atendidos en caso de emergencia

Fts _dirección: en este campo se almacena la dirección domiciliaria del especialista

Fts _sala: en este campo se almacena el link de acceso a la sesión de Zoom para las teleconsultas programadas por el cual el paciente podrá comunicarse con él.

Fts _turno: en este campo se asigna cuando el terapeuta físico se encuentra disponible para la atención a los pacientes en caso de emergencia

Tabla cita

#	Name	Type	Collation	Attributes	Null	Default	Comments	Extra	Action
<input type="checkbox"/>	1 citas_id	int(11)			No	None		AUTO_INCREMENT	Change Drop More
<input type="checkbox"/>	2 citas_fts_id	varchar(45)	utf8_general_ci		Yes	NULL			Change Drop More
<input type="checkbox"/>	3 citas_fecha	varchar(45)	utf8_general_ci		Yes	NULL			Change Drop More
<input type="checkbox"/>	4 citas_horarios_id	varchar(45)	utf8_general_ci		Yes	NULL			Change Drop More
<input type="checkbox"/>	5 citas_pacientes_id	varchar(45)	utf8_general_ci		Yes	NULL			Change Drop More
<input type="checkbox"/>	6 citas_motivo	varchar(250)	utf8_general_ci		Yes	NULL			Change Drop More
<input type="checkbox"/>	7 citas_estado	varchar(45)	utf8_general_ci		Yes	NULL			Change Drop More

Citas_id: este es un número entero que se autoincrementa de acuerdo al número de citas generadas por los especialistas físicos

Citas_fts_id: este es el identificador para conocer qué terapeuta físico creó la cita

Citas_fecha: en este campo se almacena la fecha en que se creó la cita



















Citas_horario_id: en este campo se almacena el horario de atención de la cita creada

Citas_pacientes_id: este es el identificador para conocer a que paciente va destinada la cita creada por el especialista

Citas_motivo: en este campo se guarda el motivo por el cual se genera la cita

Citas_estado: en este campo se almacena el estado en que se encuentra la cita (creada, atendida)

Tabla mediciones

#	Name	Type	Collation	Attributes	Null	Default	Comments	Extra	Action
<input type="checkbox"/>	1 mediciones_id	int(11)			No	None		AUTO_INCREMENT	 Change  Drop  More
<input type="checkbox"/>	2 mediciones_pacientes_id	int(11)			Yes	NULL			 Change  Drop  More
<input type="checkbox"/>	3 mediciones_temperatura	decimal(8,2)			Yes	NULL			 Change  Drop  More
<input type="checkbox"/>	4 mediciones_saturacion	decimal(8,2)			Yes	NULL			 Change  Drop  More
<input type="checkbox"/>	5 mediciones_emg	decimal(8,2)			Yes	NULL			 Change  Drop  More
<input type="checkbox"/>	6 mediciones_fecha	datetime			Yes	NULL			 Change  Drop  More

Mediciones_id: este es un número entero que se autoincrementa de acuerdo al número de mediciones de parámetros fisiológicos realizadas

Mediciones _pacientes_id: este el identificador del paciente definido en la tabla paciente, al cual corresponde la medición realizada

Mediciones _temperatura: en este campo se almacena la temperatura del paciente de prueba

Mediciones _saturación: en este campo se almacena la saturación del paciente de prueba

Mediciones _emg: en este campo se almacena los valores obtenidos de las señales captadas a través del sensor muscular en el paciente de prueba

Mediciones_fecha: en este campo se almacena la fecha en que se realizó la medición

ANEXO D

CONSENTIMIENTO INFORMADO Y PROTECCIÓN DE DATOS



Consentimiento Informado

INTRODUCCIÓN

Este documento ha sido elaborado conforme a las revisiones contenidas en la Ley Orgánica de salud 2020, en los que se detallara extracto de normas relacionadas con consentimiento informado en Ecuador:

Art. 6.- Es responsabilidad del MSP:

5.- Regular y vigilar la aplicación de las normas técnicas para la detección, preventiva, atención integral y rehabilitación, de enfermedades transmisibles, no transmisibles, crónica, degenerativa, discapacidad y problemas de salud pública declarados prioritarios y determinar las enfermedades transmisibles notificación obligatoria, garantizando la confidencialidad de la información.

Art. 7: "Toda persona, sin discriminación por motivo alguno, tiene en relación con la salud, los siguientes derechos:

e) Ser oportunamente informada sobre las alternativas de tratamiento, productos y servicios en los procesos relacionados con su salud, así como en usos, efectos, costos y calidad; a recibir consejería y asesoría de personal capacitado antes y después de los procedimientos establecidos en los protocolos médicos. Los integrantes de los pueblos indígenas, de ser el caso, serán informados en su lengua materna.

h) Ejercer la autonomía de su voluntad a través del consentimiento por escrito y tomar decisiones respecto a su estado de salud y procedimientos de diagnóstico y tratamiento, salvo en los casos de urgencia, emergencia o riesgo para la vida de las personas y para la salud pública".

Ley de Derechos y Amparo al Paciente

Art. 6: "Derecho a decidir. - Todo paciente tiene derecho a elegir si acepta o declina el tratamiento médico. En ambas circunstancias, el centro de salud deberá informarle sobre las consecuencias de su decisión"

la Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos, adoptada por la Conferencia General de la UNESCO, en su artículo 6 respecto al consentimiento, preceptúa: "1. Toda intervención médica preventiva, diagnóstica y terapéutica solo habrá de llevarse a cabo previo consentimiento libre e informado de la persona interesada, basado en la información adecuada. Cuando proceda, el consentimiento debería ser expreso y la persona interesada podrá revocarlo en todo momento y por cualquier motivo, sin que esto entrañe para ella desventaja o perjuicio alguno.

DETALLE DE TELE REHABILITACIÓN DE LA PLATAFORMA SMART PHYSIO

La plataforma de tele rehabilitación SMART PHYSIO consiste en un conjunto de sistemas y sensores empleados como herramientas para evaluar, diagnosticar y tratar dentro del área de fisioterapia. El uso de dispositivos electro diagnóstico permite recibir información en tiempo real de la condición del paciente.

El primer paso consiste en recolección de datos del paciente a evaluar y tratarse esta información se almacenará en una base de datos para agilización en cada consulta, toda la información proveniente del paciente será estrictamente confidencial y únicamente será utilizado dentro de la plataforma.

La información que se recolectara del paciente es:

DATOS DE FILIACIÓN:

- Apellidos:
- Nombres:
- Cédula de Identidad:
- Edad:
- Correo electrónico:
- Número telefónico:

ANTECEDENTES MÉDICOS:

- Antecedentes patológicos personales y familiares
- Antecedentes quirúrgicos
- Hábito
- Medicación
- Exámenes complementarios

El segundo paso será la evaluación fisioterapéutica y la información que se adquiera de la toma de signos vitales, valoración de fuerza muscular y ubicación de las diferentes partes del cuerpo en espacio será de uso exclusivo de la plataforma con accesibilidad únicamente del administrador y fisioterapeuta; esto será adquirido a través de sensores propiamente calibrados para dicho fin.

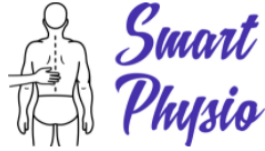
El tercer paso consistirá en dar un diagnóstico fisioterapéutico y la creación de rutina de tratamiento que será individualizado para cada paciente. En cada sesión de tratamiento se realizará ejercicios enfocados a la patología o alteración presentada con el monitoreo de signos vitales.

CONDICIONAMIENTOS DE FISIOTERAPIA

Si bien dentro del área de fisioterapia no representa riesgos durante la evaluación y tratamiento, pero existen algunas contraindicaciones y en caso de presentar alguna de la descripción no se podrá realizar el tratamiento, en caso de las contraindicaciones relativas se podrá trabajar siempre y cuando el área a tratar no se vea comprometida directamente:

Contraindicaciones Absolutas

- Cardiopatías descompensadas, endocarditis activas, hemopatías, tuberculosis (para la cinesiterapia activa).
- Bronquitis crónica descompensada.
- Trombosis o hemorragias activas.
- Marcapasos y/o dispositivos intracardiacos (Electroterapia).



Protección de datos

CONSENTIMIENTO INFORMADO PROTECCIÓN DE DATOS

En cumplimiento a la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales, por el que se regula el derecho de información en la recogida de datos, le informamos de que sus datos personales serán incorporados a una base de datos de pacientes, titularidad de la plataforma de telerehabilitación SMART PHYSIO como responsable de la base de datos, con la finalidad de gestionar los servicios de fisioterapia. Para ello, Ud. nos autoriza expresamente al tratamiento de sus datos contemplados en su historia clínica electrónica. Asimismo, la plataforma SMART PHYSIO garantiza al titular de los datos el ejercicio de los derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición de los datos que le conciernen, debiendo, para ello, dirigirse a la siguiente dirección de correo electrónico admin@hotmail.com. En cualquier caso, el titular de los datos resulta informado y consiente en la conservación de dichos datos bajo las debidas condiciones de seguridad y secreto profesional, por el periodo que resulte necesario para la finalidad para la que son recabados. En cumplimiento Ley Orgánica de Protección de Datos Personales, del 11 de mayo del 2021, por la que se regula la cesión o comunicación de datos de carácter personal por parte del responsable de la base de datos a terceros, le informamos de que sus datos personales serán comunicados a las instituciones y administraciones públicas, a las entidades de salud y aseguradoras que corresponda y, si es el caso. No obstante, lo anterior, la plataforma SMART PHYSIO garantiza al titular de los datos el ejercicio de los derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición de los datos que le conciernen, debiendo, para ello, dirigirse mediante comunicación escrita al administrador de la plataforma SMART PHYSIO. En cualquier caso, el titular de los datos resulta informado y consiente en la comunicación de dichos datos bajo las debidas condiciones de seguridad y secreto profesional, por el periodo que resulte necesario para la finalidad para la que son recabados, tratados y cedidos.

Fecha y firma del consentimiento informado de los datos personales del paciente.

Nombre del paciente

Firma

Fecha

ANEXO E

**DOCUMENTO HABILITANTE DEL EVALUADOR DE LA
PLATAFORMA SMARTPHYSIO**

UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID



D. Juan Morote Sarrión, Rector Magnífico de la Universidad Europea de Madrid.


CERTIFICA:

Que Doña Yessenia VALENCIA MEZA, nacida el 24 de enero de 1992 en Quito, de nacionalidad Ecuatoriana, con número de PASAPORTE 1718543711 ha superado en esta Universidad con fecha agosto de 2018, los estudios conducentes al título oficial de MÁSTER UNIVERSITARIO EN TERAPIA MANUAL ORTOPÉDICA EN EL TRATAMIENTO DEL DOLOR y ha pagado los derechos de expedición del título.

Y para que surta los mismos efectos del título, con carácter provisional hasta que éste se edite, expido la presente certificación, a solicitud del interesado, en Villaviciosa de Odón a 24 de agosto de 2018.

Diligencia por la que se hace constar que el presente certificado supletorio provisional tiene una validez de un año (Real Decreto 22/2015, de 23 de enero).

El Rector, ^{Por delegación de firma} (Resolución Rectoral de 2 de Septiembre de 2017)


Juan Morote Sarrión


Ruth Huerta Rodríguez
Técnico de Secretaría Académica
N.º R. 2018/90931

21730586

ANEXO F

PROGRAMACIÓN DE LA TARJETA ARDUINO

```
71
72 Serial.println("Envío de dato, conectando...");
73 lcd.clear();
74 lcd.setCursor(0,0);
75 lcd.print("Envío de datos");
76 lcd.setCursor(0,0);
77 lcd.print("Conectando...");
78 if (cliente.connect(server, 80)>0) { // Conexión con el servidor(client.connect(server, 80)>0
79 //http://localhost/phpmyadmin/index.php?route=/table/structure&db=ardbd&table=tabla_sensor
80
81 cliente.print("GET /tft/pacientes/ctrs/ctr_pacientes.php?Temp="); // Enviamos los datos por GET
82 //cliente.print("GET /arduino/control/conexion_arduino.php?Temp="); // Enviamos los datos por GET
83 cliente.print(temperatura.readObjectTempC(),2);//saturacion.getHeartRate());
84 cliente.print("&Sat=");
85 cliente.print(saturacion);
86 cliente.print("&Emg=");
87 cliente.print(analogRead(A0));
88 //cliente.print("&dist_php=");
89 //cliente.print(estado);
90 cliente.println(" HTTP/1.0");
91 cliente.println("User-Agent: Arduino 1.0");
92 cliente.println();
93 Serial.println("Envío con éxito (al archivo controller/index y models/herramienta)");
94 lcd.clear();
95 lcd.setCursor(0,1);
96 lcd.print("Envío con éxito");
97 delay(1000); } else {
98 Serial.println("Fallo en la conexión");
```

Figura 29 Sección del programa para conexión y envío de datos en ARDUINO

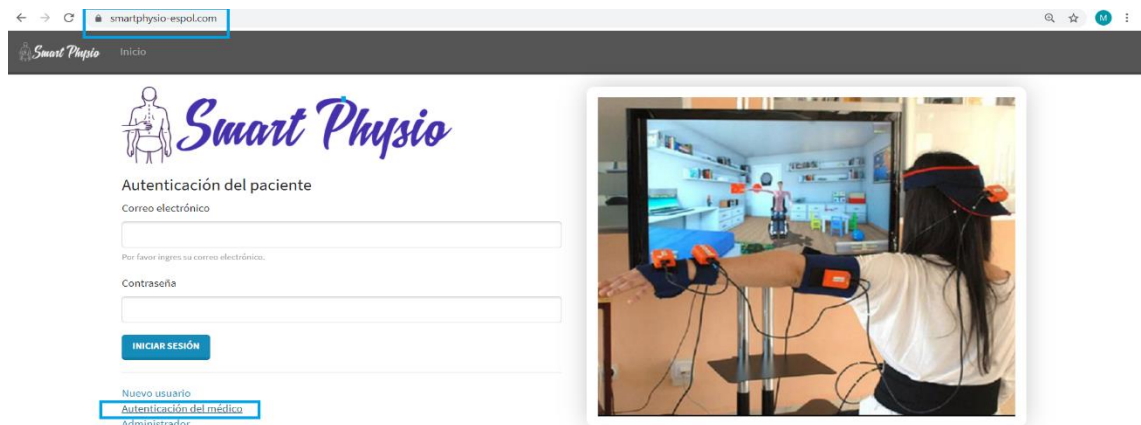
Fuente: Elaboración propia – Michelle Villalva

ANEXO G

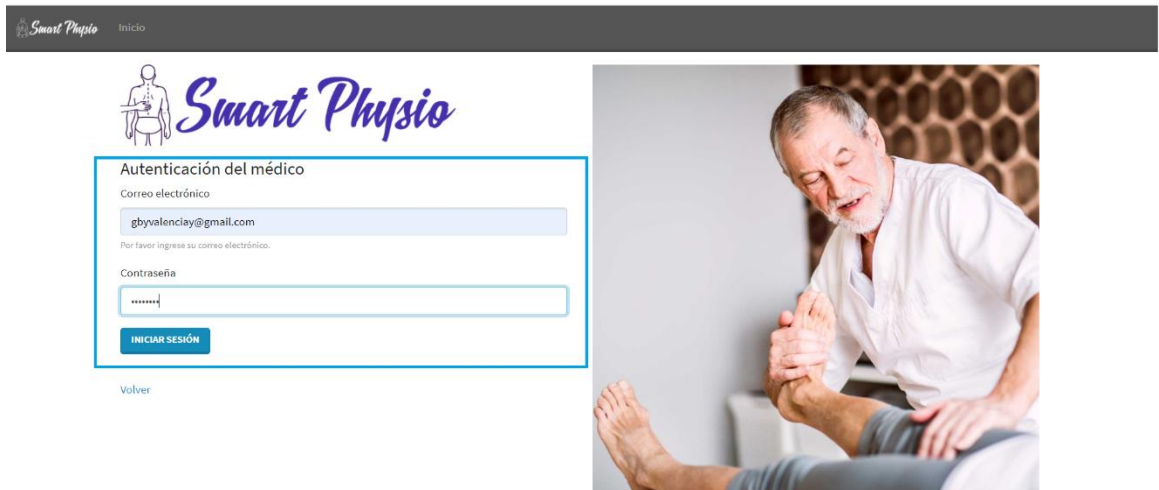
GUÍA DE USUARIO PARA EL TERAPISTA FÍSICO Y PACIENTE

Guía de Usuario para el Terapeuta Físico

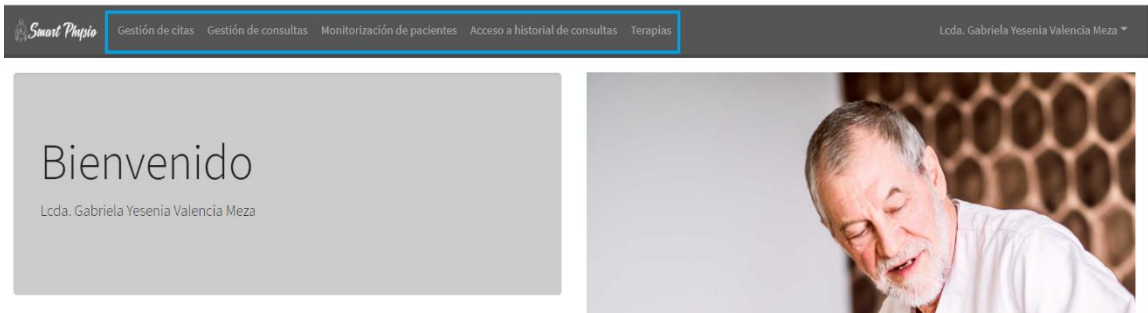
1. Para acceder a la plataforma debe digitar en el navegador Web de su elección el siguiente dominio <https://www.smartphysio-esp.com/>
2. Posteriormente, dirigirse a la sección de autenticación médico



3. Colocar las credenciales de acceso para el terapeuta físico, correo electrónico y contraseña para a continuación dar clic en el botón de INICIAR SESIÓN



4. En la página inicial, se puede visualizar los diferentes menús

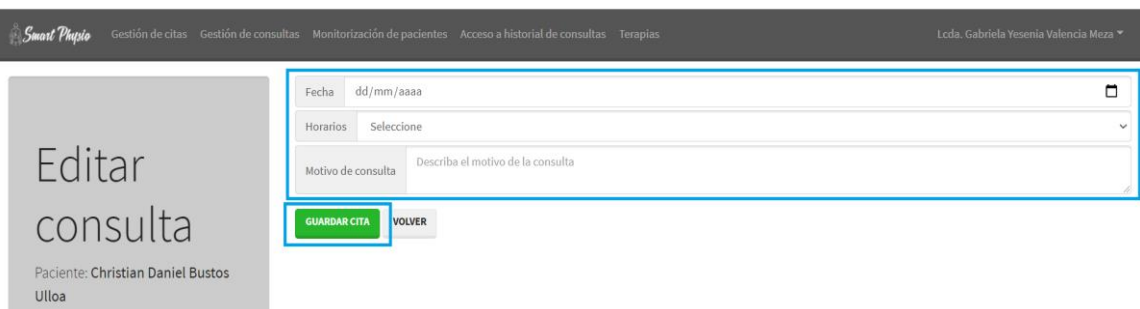


Gestión citas: en este menú usted puede programar las citas de sus pacientes, así como también visualizar las próximas citas e historial de citas de los pacientes

- a) Para crear una cita, debe dirigirse al lado izquierdo de la pantalla. Colocar el nombre del paciente que desea crear la cita. Para su ayuda existe un buscador.



- b) Al elegir al paciente, aparecerán campos para ser completados como la fecha, el horario y el motivo por el cual se crea la cita. Cuando finalice el llenado de la información, dar clic en GUARDAR CITA



- c) Una vez creada la cita está se visualizará en el panel principal del menú. Además, se habilitarán las opciones de ingresar a la consulta, reagendar/editar o cancelar la cita.

Smart Physio | Gestión de citas | Gestión de consultas | Monitorización de pacientes | Acceso a historial de consultas | Terapias | Lcda. Gabriela Yesenia Valencia Meza

Gestión de citas

Citas para hoy 2021-08-11

Fecha	Hora	Paciente	Estado	Opciones
2021-08-11	15:00	Christian Daniel Bustos Ulloa	Creada	OPCIONES
2021-08-11	18:00	Luis Alberto Arellano Mullo	Creada	Ingresar a la consulta Reagendar / Editar cita Cancelar cita

Gestión consultas: este menú muestra las consultas que se encuentran iniciadas y no han sido finalizadas aún por el especialista médico. La información se encuentra dispuesta por fecha, nombre del paciente y estado de la consulta.

- a) Para continuar completando la información en la consulta, pulse el botón **INGRESAR**

Smart Physio | Gestión de citas | Gestión de consultas | Monitorización de pacientes | Acceso a historial de consultas | Terapias | Lcda. Gabriela Yesenia Valencia Meza

Gestión de consultas

Consultas hoy 2021-08-11

Fecha	Paciente	Estado	Opciones
2021-08-10	Michelle Dayana Villalva Chaluisa	Iniciada	INGRESAR
2021-08-10	Mayra Elizabeth Amaguaya Villagomez	Iniciada	INGRESAR
2021-08-10	Mayra Elizabeth Amaguaya Villagomez	Iniciada	INGRESAR
2021-08-10	Mayra Elizabeth Amaguaya Villagomez	Iniciada	INGRESAR

- b) Aparecerá la consulta nuevamente para su edición. Adicionalmente, se puede revisar la historia clínica del paciente junto al historial de consultas.

Smart Physio | Gestión de citas | Gestión de consultas | Monitorización de pacientes | Acceso a historial de consultas | Terapias | Lcda. Gabriela Yesenia Valencia Meza

Consulta

Michelle Dayana Villalva Chaluisa

Historia clínica

Historial de consultas

- 2021-07-08 | Lcda. Katherine Johanna Caiza López
- 2021-08-10 | Lcda. Gabriela Yesenia Valencia Meza
- 2021-08-10 | Lcdo. Mario Trujillo
- 2021-08-10 | Lcdo. Mario Trujillo

Paciente: Michelle Dayana Villalva Chaluisa

Evaluación

	Derecho	Izquierdo
Flexión		
Extensión		
Abducción		
Aduccion		
Rotación interna		
Rotación externa		
Rotación derecha		
Rotación izquierda		
Inclinación derecha		

Diagnóstico

Observaciones

- c) Al terminar, dar un click en el botón **GUARDAR Y FINALIZAR**

Monitorización de pacientes: en este menú se puede monitorizar el progreso del paciente mediante la utilización de los sensores

- a) Al ingresar a este menú, en el lado izquierdo existe un buscador el cual le permitirá colocar el nombre del paciente que desea monitorizar.

Adquisición de parámetros

Luis

LUIS ALBERTO ARELLANO MULLO

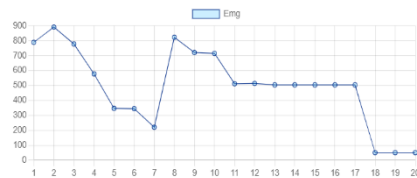
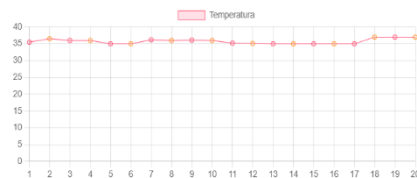
b) Al seleccionar el paciente, mostrará las gráficas de temperatura, saturación y electromiografía.

Adquisición de parámetros

Luis

Luis

Parámetros



Historial de Consultas: en este menú se puede visualizar las consultas realizados a los pacientes.

Terapias: en este menú se puede crear una nueva terapia, así como también editar la ya existentes.

a) Si desea crear una nueva terapia dirigirse al lado izquierdo de la pantalla, presionar el botón NUEVA TERAPIA

b) Al ingresar, la pantalla le permitirá ingresar la información como: nombre de la terapia, la descripción, links para que el paciente pueda acceder a videos, instrumentos necesarios para la ejecución entre otros. Al terminar pulse el botón GUARDAR

Terapia

Nombre: Nombre de la terapia

Descripción:

Link 1:

Link 2:

Link 3:

Glosario: Seleccione

Instrumentos:

Archivo 1: Seleccione el archivo

Archivo 2: Seleccione el archivo

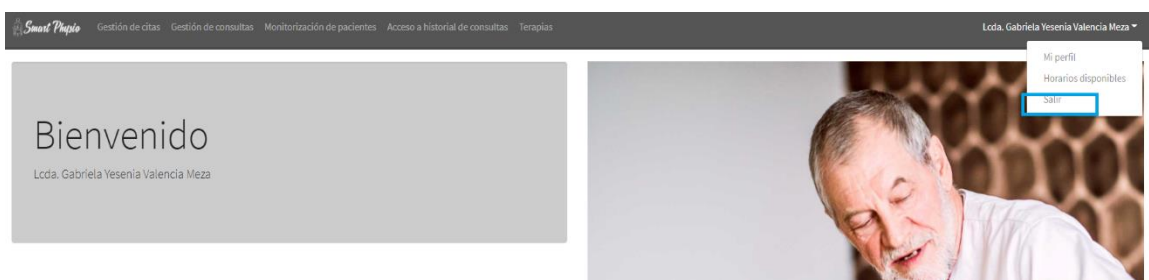
Archivo 3: Seleccione el archivo

- c) Si requiere la edición de una terapia existente, seleccionar la terapia a editar, pulsar el botón OPCIONES y EDITAR

Fisioterapeutas

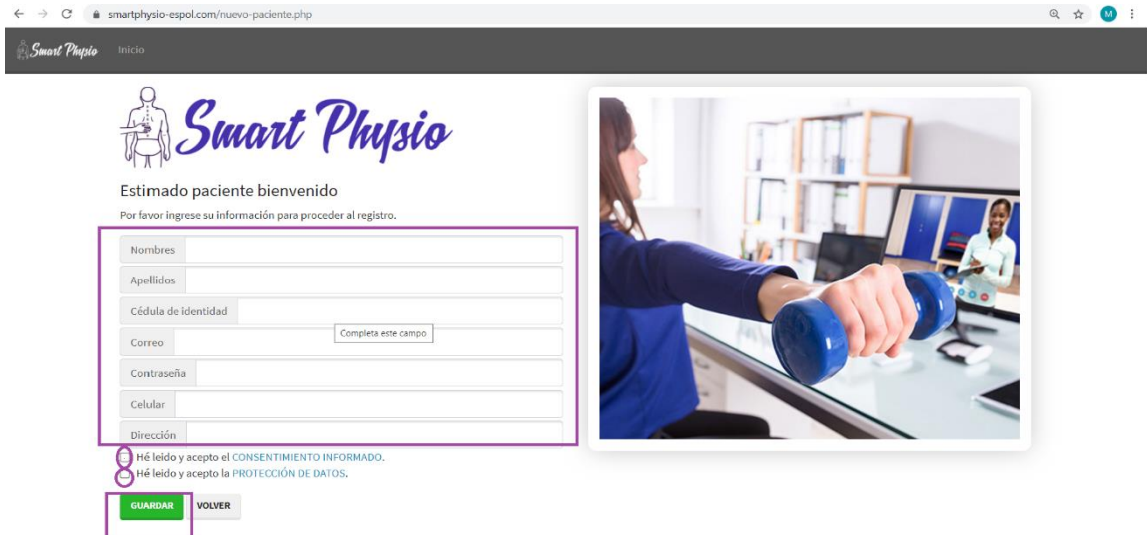
Nombres	Opciones
Nombre de la terapia	OPCIONES ▾
Terapia de Fascitis Plantar	OPCIONES ▾
Terapia de Fractura de Metacarpiano	OPCIONES ▾
Terapia para Artrosis de Rodilla	OPCIONES ▾
Terapia para Dolor de Espalda	Editar
Terapia para Lumbalgia	OPCIONES ▾
Terapia para Tendinitis de Quervain	OPCIONES ▾

5. Para salir del perfil, debe dirigirse a la esquina superior derecha y pulsar el botón SALIR

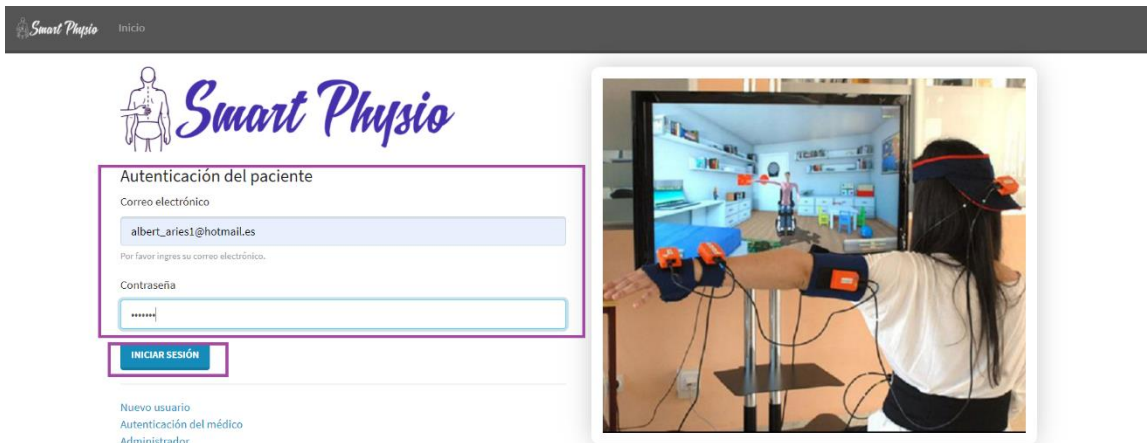


Guía de Usuario para el Paciente

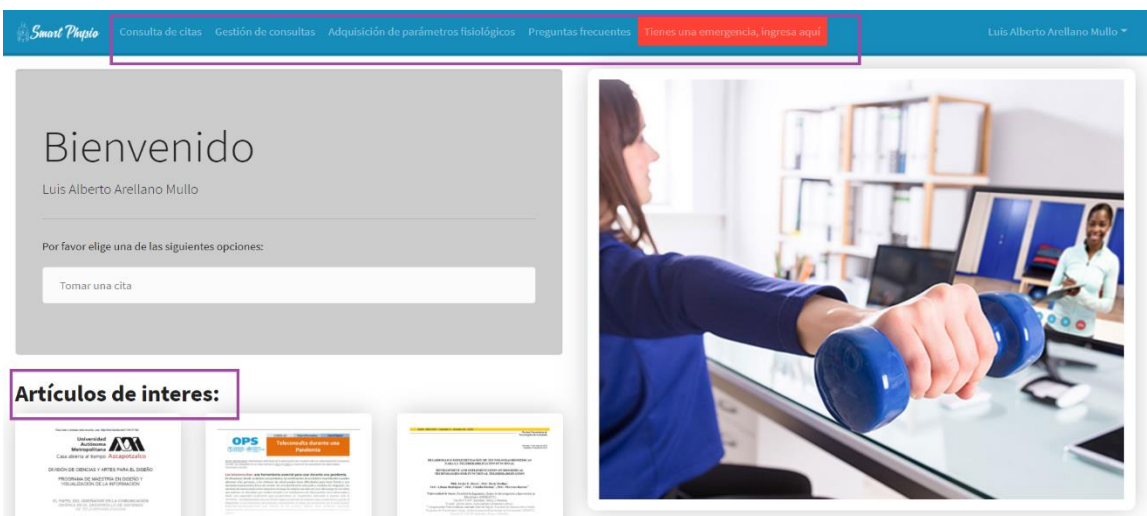
1. Para acceder a la plataforma debe digitar en el navegador Web de su elección el siguiente dominio <https://www.smartphysio-esp.com/>
2. Si es un paciente nuevo, realizar el registro de los datos del paciente y colocar un check en el consentimiento informado y de protección de datos una vez que hayan sido leídos. Al finalizar dar clic en el botón GUARDAR



3. Si es un paciente ya registrado, colocar las credenciales de acceso como el correo electrónico y contraseña. A continuación, dar clic en el botón de INICIAR SESIÓN.



4. En la página inicial, se puede visualizar los diferentes menús; además, de documentación informativa para el paciente.



Consulta de citas: en este menú se puede consultar las citas pendientes que tiene el paciente.

- a) Al escoger la cita pendiente, el paciente tiene dos opciones ingresar a la consulta o a la cancelación de la cita.

- b) Si selecciona entrar a la consulta, automáticamente se abrirá una ventana con el acceso a la teleconsulta con especialista a través de Zoom.

Gestión de consultas: en este menú se puede verificar si tiene consultas activas y su historial de consultas

Adquisición de parámetros fisiológicos: en este menú se puede visualizar las señales biomédicas obtenidos de los sensores colocados en el usuario.

Preguntas frecuentes: en este menú se presenta la contestación a algunas preguntas que los usuarios tienen cuando emplean la plataforma por primera vez.

Preguntas frecuentes

¿Cómo colocar los sensores dependiendo del miembro a trabajar?
Los sensores de electromiograma serán ubicados de acuerdo a los lineamientos indicados por el fisioterapeuta en una teleconsulta programada, en la se informará por que tiempo debe estar colocados y localización de los mismos.

¿Cómo saber si los sensores están funcionando adecuadamente?
En el menú de Adquisición de parámetros fisiológicos se puede visualizar la variación de las señales. En caso de no observar ningún cambio contactarse con soporte técnico para la revisión del funcionamiento.

¿Cómo el paciente debe ingresar a la sección de terapias?
Una vez finalizada la teleconsulta programada con el fisioterapeuta, en la sección de gestión de consultas se genera el historial por fechas de atención, en el cual se podrá verificar los detalles de la misma y la terapia asignada con los instrumentos a emplear.

En caso de no comprender la terapia o rutina de ejercicios, ¿cómo puede contactar a su fisioterapeuta?
En caso de tener alguna duda en relación a la rutina de ejercicios existe en la terapia videos explicativos e imágenes que le pueden ayudar a solventar sus cuestionamientos. Asimismo, puede contactar al fisioterapeuta de emergencia.

En caso de presentar alguna sintomatología o signo de dolor en una zona del cuerpo no asociada al tratamiento comuníquese con el Fisioterapeuta de turno:
Nombre: Lcdo. Mario Trujillo
Celular: 0995724047
Correo: ma.trujillo@gmail.com

CERRAR

Emergencia: en este botón se podrá solicitar ayuda en caso de presentar alguna molesta o complicación. Se presenta la información de un fisioterapeuta de emergencia que le atenderá las 24 horas.

Tienes una emergencia, ingresa aquí

Bienvenido
Luis Alberto Arellano Mullo

5. Para salir del perfil, debe dirigirse a la esquina superior derecha y pulsar el botón **CERRAR SESIÓN**

Visualización de información básica
Cerrar sesión