



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS

Proyecto de Investigación previo a
la obtención del título de Ingeniero
en Sistemas

Título del Proyecto de investigación

ANÁLISIS DEL USO DEL INTERNET DE LAS COSAS Y EMG PARA LA
COMUNICACIÓN DE PERSONAS CON LAS EXTREMIDADES INFERIORES

Autores:

Romero Castro Victor Francisco

Tocta Bonilla Tyrone Wladimir

Director del Proyecto de Investigación:

Ing. Orlando Ramiro Erazo Moreta, PhD.

Quevedo – Los Ríos – Ecuador

2022



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Nosotros, **Romero Castro Victor Francisco** y **Tocta Bonilla Tyrone Wladimir** declaramos que la presente investigación aquí descrita es de nuestra total autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

f. 

Romero Castro Victor Francisco

C.I. 0503303380

f. 

Tocta Bonilla Tyrone Wladimir

C.I. 1207744895



CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, **Ing. Orlando Erazo Moreta PhD.**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que los estudiantes **Romero Castro Victor Francisco** y **Tocta Bonilla Tyrone Wladimir**, realizaron el Proyecto de Investigación de grado titulado “**ANÁLISIS DEL USO DEL INTERNET DE LAS COSAS Y EMG PARA LA COMUNICACIÓN DE PERSONAS CON LAS EXTREMIDADES INFERIORES**”, previo a la obtención del título de Ingeniero en Sistemas, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

f.

Ing. Orlando Erazo Moreta, PhD.
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

Yo, Ing. Orlando Erazo Moreta PhD., en calidad de director del Proyecto de Investigación titulado: "ANÁLISIS DEL USO DEL INTERNET DE LAS COSAS Y EMG PARA LA COMUNICACIÓN DE PERSONAS CON LAS EXTREMIDADES INFERIORES", me permito manifestar a ustedes y por medio del Consejo Académico de Facultad lo siguiente:

Que, los estudiantes: ROMERO CASTRO VICTOR FRANCISCO y TOCTA BONILLA TYRONE WLADIMIR, egresados de la Facultad Ciencias de la Ingeniería, han cumplido con las correcciones pertinentes e ingresado su Proyecto de Investigación al sistema URKUND, por lo que tengo a bien certificar la siguiente información sobre el informe del sistema anti plagio con un porcentaje de 1% de similitud con otras fuentes.



Document Information

Analyzed document	Proyecto de investigación docx (D144817360)
Submitted	9/26/2022 3.33.00 AM
Submitted by	
Submitter email	tyrone.tocta2016@uteq.edu.ec
Similarity	1%
Analysis address	oerazo@iteq.analysis.arkund.com

Ing. Orlando Erazo Moreta, PhD.
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



Título:

“ANÁLISIS DEL USO DEL INTERNET DE LAS COSAS Y EMG PARA LA COMUNICACIÓN DE PERSONAS CON LAS EXTREMIDADES INFERIORES”

Presentado al Consejo Directivo como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero en Sistemas.

Aprobado por:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Iván Jaramillo', is written over a horizontal line.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ING. IVÁN JARAMILLO CHUQUI

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Alex Fiallos', is written over a horizontal line.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

**ING. ALEX FIALLOS
BARRIONUEVO**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Emilio Zhuma Mera', is written over a horizontal line.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

ING. EMILIO ZHUMA MERA

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2022

AGRADECIMIENTO

Primero agradezco a Dios por todas las cosas buenas y lo malas que han ocurrido a lo largo de mi vida universitaria. También quiero agradecer a mis padres, quienes han sido el pilar fundamental en mi vida, y que, gracias a ellos, a mi esfuerzo y dedicación he logrado cumplir mis sueños.

También agradezco al Ing. Orlando Ramiro Erazo Moreta, por la dedicación, tiempo y compartir sus conocimiento e ideas ganadas a lo largo de su vida profesional, y por todo el apoyo que ha brindado para que este trabajo concluya de la mejor manera.

Tocta Bonilla Tyrone Wladimir

AGRADECIMIENTO

Este trabajo de tesis realizado en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, quiero expresar mi agradecimiento al encargado del proyecto de tesis, Ing. Orlando Ramiro Erazo Moreta, por la dedicación, tiempo y conocimiento que ha brindado en este trabajo, por el respeto a nuestras ideas y por darnos la dirección correcta para el cumplimiento y culminación del mismo. Gracias por compartirnos sus conocimientos en cada periodo desde el inicio de la llegada a nuestra facultad.

De igual manera agradezco a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, y a la facultad de Ciencias de la Ingeniería por haberme formado en ella. También agradezco a todas las personas que fueron partícipes del proceso, donde se ven reflejados en la culminación de nuestro paso por la universidad.

Romero Castro Victor Francisco

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación se la dedico a mis padres Segundo Tocta y Lidian Bonilla, que gracias a sus esfuerzos me han permitido culminar esta etapa importante en mi vida.

Tocta Bonilla Tyrone Wladimir

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación se la dedico a mi madre Castro Alejandrina y a mi hermana Romero Verónica, que gracias a sus esfuerzos me han permitido culminar esta etapa importante en mi vida.

Romero Castro Victor Francisco

RESUMEN

El presente trabajo se ha desarrollado con el propósito brindar apoyo a las personas que tienen poca de movilidad. Las personas con situaciones complejas de movilidad de sus extremidades superiores y su cabeza optan por utilizar sus piernas, para realizar alguna acción e incluso para poder comunicarse con los demás. Sin embargo, la comunicación entre la persona dependiente y familiares y/o cuidadores puede resultar complicada, sobre todo si presentan complicaciones al hablar. Aunque existen varias tecnologías, como las prótesis inteligentes, los dispositivos IoT, entre otros, enfocadas a las personas con problemas de movilidad, pues no están precisamente enfocadas a mejorar la comunicación.

Tratando de contribuir al uso de las extremidades inferiores como una forma alternativa de comunicación con otras personas o dispositivos. Se plantea diseñar un prototipo que consiste en un dispositivo que podrá ser colocado en una de las extremidades inferiores de las personas para brindarles un medio de comunicación alternativo con otras personas o dispositivos.

Para llevar a cabo esta propuesta, primero se definió los requerimientos del prototipo mediante investigaciones en artículos científicos relacionados con el tema. Luego se realizó un estudio de usuario para definir los movimientos, la cual dio como resultado que los movimientos más fáciles de realizar son hacia arriba e izquierda. Posteriormente se elaboró un conjunto de datos para entrenar un modelo capaz de reconocer el movimiento que realiza una persona. Para visualizar la información procesada se desarrolló una aplicación móvil, donde llegan mediante notificaciones los mensajes que el usuario tiene asociado con cada movimiento que realice. Finalmente se realizó una evaluación de aceptación del prototipo mediante un estudio de usuario, obteniendo resultados favorables. Estos resultados permiten concluir que esta propuesta puede ser una valiosa herramienta de apoyo a la comunicación entre la persona dependiente y familiares y/o cuidadores.

Palabras claves: electromiografía, señales EMG, Internet of Things (IoT), reconocimiento de los gestos, sensores de señales electromiográficas.

ABSTRACT

This work has been developed to provide support for people with low mobility. People with complex upper limb and head mobility situations opt to use their legs to perform some action and even to communicate with others. However, communication between the dependent person and family members and/or caregivers can be complicated, especially if they have speech complications. Although there are several technologies, such as intelligent prostheses, IoT devices, among others, focused on people with mobility problems, they are not precisely focused on improving communication.

Trying to contribute to the use of the lower extremities as an alternative form of communication with other people or devices. We propose to design a prototype consisting of a device that can be placed in one of the lower extremities of people to provide them with an alternative means of communication with other people or devices.

To carry out this proposal, the requirements of the prototype were first defined through research in scientific articles related to the subject. Next, a user study was conducted to define the movements, which resulted in the easiest movements to perform being upward and to the left. Subsequently, a dataset was developed to train a model capable of recognizing the movement performed by a person. To visualize the processed information, a mobile application was developed in which the messages that the user has associated with each movement performed are received through notifications. Finally, an acceptance evaluation of the prototype was carried out by means of a user study, obtaining favorable results. These results allow us to conclude that this proposal can be a valuable tool to support communication between the dependent person and family members and/or caregivers.

Keywords: electromyography, EMG signals, Internet of Things (IoT), Gesture recognition, electromyographic signal sensors.

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN..	iii
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO	iv
CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	v
AGRADECIMIENTO	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA.....	viii
DEDICATORIA.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
TABLA DE CONTENIDO	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS	xviii
CÓDIGO DUBLÍN	xix
1. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1. Problema de investigación	4
1.1.1. Planteamiento del problema	4
1.1.2. Formulación del problema.....	6
1.1.3. Sistematización del problema.....	7
1.2. Objetivos.....	7
1.2.1. Objetivo General.....	7

1.2.2.	Objetivos Específicos	7
1.3.	Justificación	8
CAPÍTULO II.....		10
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN		10
2.1.	Electromiografía	11
2.1.1.	Detección de señales electromiográficas	11
2.1.2.	Tipos de señales EMG	11
2.2.	Interacción basada en gestos con los pies	12
2.3.	Internet de las cosas	12
2.4.	Algoritmos de aprendizaje	13
2.4.1.	Algoritmo SVM.....	13
2.4.2.	Algoritmo de Redes Neuronales.....	13
2.4.3.	Algoritmo de árboles de decisión	14
2.5.	Estudios relacionados con los gestos de los pies	14
2.5.1.	Estudio para el control o manipulación basado en gestos de los pies	14
2.5.2.	Aplicaciones de interacción basada en gestos con los pies	15
2.5.3.	Usos de la electromiografía basada en gestos con las extremidades.....	16
2.6.	Technology Acceptance Model (TAM).....	16
CAPÍTULO III		18
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		18
3.1.	Localización.....	19
3.2.	Tipos de investigación	19
3.2.1.	Investigación exploratoria	19
3.2.2.	Investigación bibliográfica	19
3.3.	Métodos de investigación	20
3.3.1.	Método analítico	20
3.3.2.	Método bibliográfico	20

3.4.	Fuentes de recopilación de información	20
3.5.	Diseño de la investigación	20
3.5.1.	Fase 1: Análisis preliminar	21
3.5.2.	Fase 2: Análisis detallado de los requerimientos.....	22
3.5.3.	Fase 3: Diseño de la capa tecnológica	24
3.5.4.	Fase 5: Pruebas del sistema	27
3.5.5.	Fase 6: Mantenimiento	30
3.6.	Recursos humanos y materiales	30
3.6.1.	Talento humano	30
3.6.2.	Equipos y materiales.....	30
CAPÍTULO IV		32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		32
4.1.	Selección de componentes	33
4.2.	Preparación del conjunto de datos	37
4.3.	Definición del modelo	39
4.3.1.	Máquinas de Soporte Vectorial (SVM).....	39
4.3.2.	Modelo de redes neuronales	40
4.3.3.	Modelo de árboles de decisiones	41
4.3.4.	Selección del modelo a utilizar.....	43
4.4.	Creación del prototipo IoT y aplicación móvil	43
4.4.1.	Diseño del prototipo	43
4.4.2.	Prototipo	44
4.4.3.	Aplicación móvil	45
4.4.4.	Diagramas del sistema	46
4.5.	Estudio de usuarios	62
CAPÍTULO V		67
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		67

5.1. Conclusiones	68
5.2. Recomendaciones	70
CAPÍTULO VI	71
BIBLIOGRAFÍA	71
CAPITULO VII.....	79
ANEXOS	79
7.1. Anexo 1: Preguntas para seleccionar los movimientos adecuados.....	80
7.2. Anexo 2: Consentimiento informado para recolección de datos	81
7.3. Anexo 3: Consentimiento informado para evaluar el prototipo	82
7.4. Anexo 4: preguntas para evaluar el prototipo	83
7.5. Anexo 5: Obtención de movimientos	85
7.6. Anexo 6: Prueba de aceptación.....	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cuestionario para evaluar la aceptación de la tecnología.....	27
Tabla 2 Cuestionario para evaluar la aceptación del prototipo.....	28
Tabla 3 Recursos de hardware utilizados.....	30
Tabla 4 Recursos de software utilizados.....	31
Tabla 5 Comparaciones de sensores EMG.....	34
Tabla 6 Comparación de módulos wifi.....	36
Tabla 7 Mensajes.....	38
Tabla 8 Presumen de porcentajes de precisión de los modelos analizados.....	43
Tabla 9 Descripción de caso de uso para iniciar sesión.....	47
Tabla 10 Descripción de caso de uso para el registro de usuario.....	49
Tabla 11 Descripción de caso de uso para configurar mensaje.....	51
Tabla 12 Descripción de caso de uso para inhabilitar configuración.....	53
Tabla 13 Descripción de caso para ver notificaciones.....	55
Tabla 14 Descripción de caso de uso para cerrar sesión.....	57
Tabla 15 Facilidad de uso percibido.....	60
Tabla 16 Intención de comportamiento.....	61
Tabla 17 Demostración de Resultados.....	61
Tabla 18 Voluntariedad.....	62
Tabla 19 Relevancia laboral.....	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Estructura de una red del Internet de las cosas (Iot).....	13
Ilustración 2 Ubicación geográfica.....	19
Ilustración 3 Fases de la Metodología TDDM4IoTS	21
Ilustración 4 Capa tecnológica	26
Ilustración 5 Representación del proceso de evaluación	29
Ilustración 6 Movimientos (gestos) utilizados.....	37
Ilustración 7 Promedio de dificultad de gestos.....	38
Ilustración 8 Matriz de confusión Máquinas de Vector de Soporte	39
Ilustración 9 Red neuronal.....	40
Ilustración 10 Matriz de confusión redes neuronal	41
Ilustración 11 Árbol de decisión.....	42
Ilustración 12 Matriz de confusión del árbol de decisión.....	42
Ilustración 13 Circuito de Lower Extremities Sensor	44
Ilustración 14 Lower Extremities Sensor	44
Ilustración 15 Interfaz de la aplicación móvil	45
Ilustración 16 Notificación del dispositivo móvil	45
Ilustración 17 Diagrama de clases – Back-End	46
Ilustración 18 Diagrama de caso de uso del sistema	47
Ilustración 19 Gráfico general de evaluación TAM	63
Ilustración 20 Gráfico agrupado por factores TAM	66
Ilustración 21 Primer movimiento a la izquierda	85
Ilustración 22 Segundo movimiento arriba	85

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Preguntas para seleccionar los movimientos adecuados	80
Anexo 2: Consentimiento informado para recolección de datos	81
Anexo 3: Consentimiento informado para evaluar el prototipo	82
Anexo 4: preguntas para evaluar el prototipo	83
Anexo 5: Obtención de movimientos	85
Anexo 6: Prueba de aceptación.....	86

CÓDIGO DUBLÍN

Título:	Análisis del uso del internet de las cosas y EMG para la comunicación de personas con las extremidades inferiores		
Autores:	Romero Castro Victor Francisco y Tocta Bonilla Tyrone Wladimir		
Palabras claves:	Electromiografía	Señales EMG	Internet of Things (IoT)
	Reconocimiento de gestos	Sensores de señales electromiográficas	
Fecha de publicación:	Diciembre, 2022		
Editorial:	Universidad Técnica Estatal de Quevedo		
Resumen:	<p>Resumen. - El presente trabajo se ha desarrollado con el propósito brindar apoyo a las personas que tienen poca movilidad. Tratando de contribuir al uso de las extremidades inferiores como una forma alternativa de comunicación con otras personas o dispositivos. Se plantea diseñar un prototipo que consiste en un dispositivo que podrá ser colocado en una de las extremidades inferiores de las personas. Se definió los requerimientos del prototipo mediante investigaciones en artículos científicos relacionados con el tema. Se realizó un estudio de usuario para definir los movimientos. Se elaboró un conjunto de datos para entrenar un modelo capaz de reconocer el movimiento que realiza una persona. Para visualizar la información procesada se desarrolló una aplicación móvil, donde llegan mediante notificaciones los mensajes que el usuario tiene asociado con cada movimiento que realice. Finalmente se realizó una evaluación de aceptación del prototipo mediante un estudio de usuario, obteniendo resultados favorables.</p> <p>Abstract. - This work has been developed with the purpose of providing support to people with low mobility. Trying to contribute to the use of the lower extremities as an alternative form of communication with other people or devices. It is proposed the design of a prototype consisting of a device that can be placed in one of the lower extremities of people.</p> <p>The requirements of the prototype were defined through research in scientific articles related to the topic. A user study was conducted to define the movements. A data set was developed to train a model capable of recognizing the movement performed by a person. To visualize the processed information, a mobile application was developed to receive, through notifications, the messages that the user has associated with each movement performed. Finally, an acceptance evaluation of the prototype was carried out by means of a user study, obtaining favorable results.</p>		
Descripción:	107 hojas: Dimensiones 19x21 cm		
URL:			

1. INTRODUCCIÓN

El Internet de las Cosas (IoT, *Internet of Things*) es una revolución tecnológica que representa el futuro de la informática y la comunicación, y su desarrollo depende de dinámicas e innovaciones en varios campos importantes, desde sensores inalámbricos hasta nanotecnología [1]. Los sistemas IoT poco a poco han provocado cambios tecnológicos, ayudando a mejorar la calidad de vida de las personas a través de diferentes aplicaciones. Los sistemas basados en IoT tienen innumerables usos y se pueden implementar en educación, industria, entretenimiento, salud y más [1], [2].

El área médica y el apoyo a la calidad de vida de las personas no se quedan fuera de la utilidad del IoT. De hecho, IoT es una alternativa válida para apoyar la calidad de vida de personas con discapacidad. Por lo tanto, el IoT se puede emplear como un medio de comunicación no verbal utilizando equipos, sistemas o servicios de apoyo. Esto permite avanzar hacia la integración digital y social de las personas dependientes en igualdad de condiciones [3].

Las personas con discapacidad pueden optar por integrar tecnologías que les ayude a apoyar la comunicación con personas de esta o diferente condición. Existen sistemas multimedia interactivos, sistemas aumentativos, sistemas de comunicaciones avanzados que buscan la inclusividad para este grupo poblacional y puedan establecer una comunicación [4]. Sin embargo, las personas dependientes necesitan otras tecnologías para cubrir los distintos escenarios que se les puede presentar, como por ejemplo problemas de lesiones de médulas, afectación de músculos de la mandíbula o daño cerebral. Cada uno de los problemas mencionados impiden una comunicación concreta del individuo con las demás personas. Además, algunas tecnologías no están diseñadas para establecer una comunicación no verbal utilizando las extremidades inferiores para el envío de mensajes.

Dado este escenario de limitaciones en el uso de extremidades inferiores en el ámbito de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), este proyecto busca apoyar la comunicación no verbal de personas haciendo uso de tales extremidades. Para el efecto, se busca explorar esta idea como primer paso, para a partir de esos resultados, orientarse al diseño de un prototipo. Este prototipo, denominado *Lower Extremities Sensor* (LES), consiste en un dispositivo que podrá ser colocado en una de las extremidades inferiores

de las personas para brindarles un medio de comunicación alternativo con otras personas o dispositivos.

Para el efecto, LES capta las señales electromiográficas generadas por los músculos de las extremidades inferiores (es decir, su actividad eléctrica) e identifica el significado de cada movimiento haciendo uso de un modelo previamente preparado. De esta manera, se espera que este trabajo ofrezca una base para el desarrollo de aplicaciones o dispositivos similares a futuro, procurando especialmente ayudar a un segmento de población que no ha sido suficientemente atendido con herramientas del tipo propuesto.

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de investigación

1.1.1. Planteamiento del problema

El lenguaje es el concepto de la capacidad humana para expresar pensamientos y sentimientos a través del lenguaje que abarca varios canales de comunicación como los gestos, el cuerpo, los sentidos, miradas, señales de signos, y movimientos. Las personas en el transcurso de su vida cotidiana utilizan uno o varios canales de comunicación para transmitir sus ideas o necesidades. Entonces, no está por demás cuestionarse: ¿Cuáles son las personas que usan este tipo de comunicación no verbal? Según la información proporcionada por la Organización Mundial de Salud (OMS), se considera que las personas que presentan algún tipo de discapacidad motora utilizan con más frecuencia este tipo de comunicación [5]. Algunos ejemplos de esto son las personas que padecen de disartria (dificultad en la articulación de la palabra) [6], problemas en lesiones de médula espinal que en algunos casos afecta los músculos de la mandíbula y extremidades superiores [7], daño cerebral que dificulta la comprensión, voz, habla, lenguaje, lectura y escritura [8]. Cada uno de estos problemas pueden desembocar en un aislamiento comunicativo en este grupo de personas, derivando en un deterioro de su calidad de vida como consecuencia de su limitación para comunicarse.

Otro panorama que se le presenta a este segmento de la población es que existen tecnologías útiles, pero que no están diseñadas apropiadamente para ellos. Un ejemplo de esto es el entretenimiento, en el cual se puede considerar aspectos cotidianos y simples como cambiar de canal en un televisor y subir o bajar volumen de equipos de música [9]. Por el contrario, también se pueden considerar casos más complejos como los que se pueden realizar en operaciones en una sala quirúrgica, guantes que controlan una computadora [10], o dispositivos móviles. Utilizando la comunicación por Bluetooth, cada uno de estos dispositivos están enfocados a ser controlados por extremidades superiores realizando movimientos de brazos o manos [11]. Esto significa que dispositivos como los citados no pueden ser utilizados por otros grupos de personas con problemas en las extremidades inferiores, lo que representa dificultades en la comunicación, incluso al no poder realizar envíos de mensajes basados en señales electromiográficas.

Por otro lado, se han realizado estudios de interacciones con extremidades inferiores (como por ejemplo las compiladas en [12]), pero no son suficientes para cubrir los distintos escenarios que se presentan como captar señales para interpretar los mensajes de manera adecuada tomando en cuenta que puede existir movimientos involuntarios producidos por descargas eléctricas en el sistema nervioso. Estos movimientos pueden ser interpretados como una señal o necesidad que requiere cumplir la persona, provocando una confusión al receptor o persona encargada del cuidado. Además, surgen incógnitas como: ¿Qué movimiento va a determinar la acción o mensaje que necesita transmitir?, o ¿Qué tipo de componentes se requieren para establecer una comunicación no verbal utilizando las extremidades inferiores? Responder estas preguntas requiere de la realización de estudios de usuarios, de analizar componentes electrónicos, de construcción de software, entre otros. Sin embargo, a partir de una revisión preliminar se ha notado que la literatura existente es insuficiente, siendo necesario explorar la idea de emplear las extremidades inferiores para transmitir mensajes mediante el uso de IoT en primera instancia antes de poder llegar a la construcción de dispositivos que puedan ser puestos en consideración de las personas que tengan esta necesidad.

1.1.1.1. Diagnóstico

Las personas con situaciones complejas de movilidad de sus extremidades superiores y su cabeza optan por utilizar sus piernas para realizar alguna acción e incluso para poder comunicarse con los demás. Sin embargo, la comunicación entre la persona dependiente y familiares y/o cuidadores puede ser compleja y más aún si tiene complicaciones al hablar.

Las personas que tienen problemas de movilidad necesitan comunicarse con los demás, pero la situación propia de estas personas hace que el proceso de comunicación sea difícil. En muchas ocasiones buscan herramientas o medios tecnológicos que ayuden a comunicarse con sus familiares, amigos, entre otros. Sin embargo, sería muy difícil conseguir uno que se adapte a las necesidades de la persona, debido a que las herramientas existentes no están precisamente enfocadas a mejorar la comunicación.

Sin lugar a duda, existen tecnologías IoT enfocadas a las personas con problemas de movilidad. Algunas están basadas en gestos de las personas con sus extremidades (como, por ejemplo, FootUI [13], Myo Armband [14]). Sin embargo, estas tecnologías no

necesariamente dan la flexibilidad para que una persona con problemas de movilidad pueda utilizarlas como medio para una comunicación no verbal.

1.1.1.2. Pronóstico

Las personas que enfrentan algún problema de movilidad en las extremidades superiores están sujetas a una barrera que dificulta e impide una vida autónoma. Esto hace que se limiten a relacionarse con los demás, debido a que les cuesta más trabajo expresar lo que sienten, transmitir ideas, realizar tareas cotidianas, etc. Por ello, necesitan el apoyo de los demás para que puedan mejorar su forma de vida acorde con sus expectativas reales de sí mismo.

Hay que reconocer que el desarrollo de prótesis, dispositivos IoT u otras tecnologías basadas en gestos, han impactado positivamente en la participación de actividades cotidianas y a incrementar la autonomía e independencia de personas con problemas severos de movimientos y comunicación. Sin embargo, hasta ahora existen pocas herramientas tecnológicas que utilicen los movimientos de las extremidades inferiores como canal de comunicación no verbal. Esto lleva al hecho de que las personas con movilidad reducida están condenadas a vivir en condiciones restringidas.

Por lo tanto, se propone analizar y verificar si es apropiado establecer una comunicación no verbal utilizando un dispositivo IoT como intermediario entre dos personas. Esto lleva a la necesidad de partir desde el cumplimiento de los objetivos establecidos y la aceptación de la idea principal del proyecto para el usuario final, con la finalidad de que las personas tengan una forma alternativa de comunicarse con otras, utilizando las extremidades inferiores como detonante para el envío de los mensajes. Así, si la ejecución de este proyecto es exitosa, se podrá disponer de un estudio que sirva de base en procura de ayudar a las personas como movilidad reducida y dificultades de comunicación, lo cual puede derivar en una ayuda para mejorar su calidad de vida y apoyo para sus familiares o cuidadores.

1.1.2. Formulación del problema

¿De qué manera se podría diseñar un dispositivo basado en IoT que permita establecer la comunicación de una persona con otra o con un dispositivo utilizando las extremidades inferiores?

1.1.3. Sistematización del problema

¿Cuáles son los componentes apropiados para analizar la posibilidad de construir un prototipo del tipo propuesto?

¿Cómo obtener la información necesaria para determinar qué tipos de movimientos puede realizar el usuario y los mensajes que podría transmitir?

¿Cómo obtener un conjunto de datos que contribuya a la construcción de un sistema del tipo propuesto apuntando a que otros usuarios puedan utilizarlo?

¿Cómo incorporar los componentes y el modelo necesarios para transmitir las señales electromiográficas producidas por los músculos e interpretarlas adecuadamente?

¿Cómo verificar si el prototipo es aceptable para establecer una comunicación utilizando sus extremidades inferiores?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Construir un prototipo basado en Internet of Things (IoT) que permita a la persona establecer una comunicación mediante señales electromiográficas producidas por los músculos de las extremidades inferiores haciendo uso de sensores musculares.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Seleccionar los componentes adecuados mediante la revisión de especificaciones técnicas y de artículos científicos para el análisis de la propuesta.
- Preparar un conjunto de datos con la colaboración de personas para encaminarse a la construcción de un sistema del tipo propuesto apuntando a que otros usuarios puedan utilizarlo.
- Formular un modelo a partir del conjunto de datos para que pueda ser utilizado por otros usuarios en otros escenarios.
- Configurar un prototipo mediante el uso del IoT que permita incorporar los componentes y el modelo previamente definidos.

- Analizar la funcionalidad del prototipo mediante la colaboración de personas para conocer su aceptación.

1.3. Justificación

El internet de las cosas aporta un sin número de beneficios que pueden ser aprovechados para mejorar la calidad de vida de las personas. El IoT se ha implementado en varias áreas, por ejemplo, detectar caídas dentro del hogar [15], mediante sensores de aceleración [16], detectar posibles accidentes, como fugas de gas o fallos eléctricos [17], y notificar en tiempo real al usuario [18]. Gracias a los avances tecnológicos, los sistemas basados en IoT que se conectan por medio del internet pueden comunicarse con otras tecnologías como por ejemplo un teléfono móvil, beneficiando de manera más directa a las personas dependientes. Gracias a los avances tecnológicos, los sistemas basados en IoT pueden comunicarse con otras tecnologías como por ejemplo un teléfono móvil, beneficiando de manera más directa a las personas dependientes. Estas bondades del IoT son las que se intenta aprovechar en el presente proyecto.

Este trabajo busca que las personas puedan usar sus extremidades inferiores como una forma alternativa de comunicación con otras personas o dispositivos. Esto significa que se pretende ayudar a las personas a dar a conocer sus necesidades no solo verbalmente sino, buscando alternativas de comunicación que beneficien a las personas con discapacidad o problemas temporales. La propuesta plantea la posibilidad de construir un prototipo basado en IoT para apoyar la comunicación entre las personas dependientes y quienes cuidan de ellas. Esta solución es necesaria porque existen personas que padecen de una disminución de la movilidad, parcial o total, de una o más partes del cuerpo.

En este sentido, se puede considerar un escenario hipotético de una posible aplicación de la propuesta. Suponga que existe una familia que tiene un hijo con parálisis cerebral que tiene limitaciones extremas en la movilidad de su cuerpo, lo que lo lleva a pasar la mayor parte del tiempo en una cama o en alguna silla de ruedas. Debido a su condición, esta persona no puede utilizar ni sus extremidades superiores ni su cabeza como un medio para transmitir ideas o mensajes a sus familiares, o peor aún, interactuar con algún dispositivo. Sin embargo, esta persona aún podría tener cierta movilidad en sus extremidades inferiores. Estos movimientos, con el paso del tiempo, podrían ser

reconocidos por sus familiares como mensajes o ideas que esta persona quiere transmitirles. Esto a su vez sería efectivamente una oportunidad para esta persona y su familia, pero no lo es porque no existe un sistema, equipo o dispositivo que permita aprovechar tal condición. Si esto fuera posible, se abrirían otras posibilidades para la persona descrita, como por ejemplo tener algún tipo de interacción con algún equipo o dispositivo, aprovechando el IoT. Más allá del escenario planteado, otras condiciones similares, sean temporales o permanentes, podrían asemejarse a la descrita.

Entonces, es aquí donde surge la presente propuesta, como un primer paso hacia ese apoyo a personas que se encuentran en situaciones como la descrita. Por un lado, las personas con limitaciones de movimientos y que aún pueden emplear sus extremidades inferiores podrían disponer de una forma de comunicación no verbal alternativa para expresar alguna idea o transmitir algún mensaje, incluso aunque sea algo muy básico como “tener hambre” o “sentir un dolor”. Por otro lado, los cuidadores o familiares que cuidan de quienes tienen estos problemas de movilidad necesitan estar pendientes de las necesidades de aquellas personas. Si fuera posible construir un dispositivo, como lo que se busca analizar en este trabajo, los cuidadores podrían disponer de un mecanismo para contrarrestar esta situación ya que el dispositivo usado por la persona limitada de movimiento se complementa con una aplicación móvil. Esta aplicación permitiría a los familiares y/o cuidadores conocer las necesidades de la persona dependiente. De esta manera, se espera que este trabajo constituya para brindar apoyo a personas con limitaciones de movimiento y habla, con miras a aportar al mejoramiento de su calidad de vida.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Electromiografía

La electromiografía (EMG) es un proceso mediante el cual se captan las señales eléctricas producidas por los músculos durante la contracción muscular. Básicamente consiste en la adquisición, registro y análisis de la actividad eléctrica generada en nervios y músculos mediante el uso de electrodos (superficiales, agujas, implantados) [19]. Estas señales resultan del intercambio de iones a través de las membranas de las fibras musculares causado por la contracción muscular.

2.1.1. Detección de señales electromiográficas

La electromiografía mide los potenciales eléctricos desarrollados en los músculos durante la contracción y relajación muscular. Las señales de electromiografía (EMG) se pueden registrar de forma invasiva insertando una aguja en el músculo que se está monitoreando [20], [21]. Estos tipos de procedimientos son más comunes en la investigación médica que requiere un control preciso del potencial eléctrico de los músculos individuales. Sin embargo, en otras áreas o aplicaciones tales como interfaces hombre-máquina, aplicaciones de juegos, asistencia para personas con discapacidad y control protésico, se prefiere el monitoreo no invasivo de la actividad muscular [21], [22]. Para este caso, los electrodos EMG se colocan en la superficie de la piel por encima del músculo a monitorear. A diferencia de los electrodos de aguja, los electrodos de superficie solo brindan cobertura de diversas actividades eléctricas musculares [21]. La detección de señales electromiográficas por medio de electrodos superficiales es útil para reconocer el potencial de acción generado por los músculos. Con la detección de estas señales se puede realizar el accionamiento de algún tipo de prótesis [23].

2.1.2. Tipos de señales EMG

Principalmente se estudian tres tipos métodos [20]:

- ✓ **Electromiografía de fibra única (SFEMG).** Clínicamente es utilizada para detectar el mal funcionamiento muscular; contiene bajas frecuencias y el ancho de banda es de 500Hz-10kHz.
- ✓ **Potencial de acción de la unidad motora (MUAP).** Son el resultado de la suma de distintos potenciales de acción de fibras musculares que se contraen sincrónicamente.

Su ancho de banda es de 5Hz-10kHz. Su morfología se ve afectada por diferentes patologías.

- ✓ **EMG de superficie (EMGs).** Consiste en obtener la información asociada a la actividad eléctrica de una contracción muscular mediante electrodos superficiales colocados en la piel. Su ancho de banda es de 2 Hz a 500 Hz y para músculos lisos de 0,01Hz a 1Hz. 2.2. Este tipo de método es el que se utiliza para el este proyecto.

2.2. Interacción basada en gestos con los pies

Los métodos de interacción entre el hombre y la máquina son un tema de investigación de gran interés para muchos investigadores. En este campo se ha venido estudiando también la comunicación no verbal utilizando gestos o movimientos de brazos y pies. Los movimientos de los pies se han ido integrando poco a poco en el campo tecnológico para que las personas utilicen sus capacidades para operar de manera conveniente, eficiente y precisa, es decir, la habilidad psicomotora que tienen las personas para adquirir nuevos aprendizajes utilizando su cuerpo [24].

La tecnología aprovecha esta habilidad que tienen las personas para adaptarse a ciertas circunstancias o problemas que puede presentar una persona, como la discapacidad, por ejemplo: manipulación de teléfonos por medio de la cámara para personas con problema motriz [25], realizar tareas de navegación en entornos 3D interactivos [26], dispositivo equipado para la entrada de texto para mejorar la comunicación de una persona con problemas neuronales motora [27], etc.

2.3. Internet de las cosas

Hablar de Internet es imaginar varias redes interconectadas entre diferentes ordenadores alrededor del mundo [28]. El llamado Internet de las cosas no es más que una red interconectada entre personas, internet y dispositivos, lo que permite el intercambio de datos entre ellos para obtener la información y el rendimiento del dispositivo [29].

El Internet de las cosas se define como conceptos intangibles que admiten varias conexiones, como entre teléfonos móviles y dispositivos inteligentes, en la cual se puede controlar ciertas funcionalidades del interior de un hogar, Arduino o es una Raspberry Pi que puede controlar la programación de un televisor, sensores que recopilan datos de su entorno, generando información y sensibilización sobre el contexto [17]. Gracias a

rápidos avances en las tecnologías subyacentes, IoT está abriendo enormes oportunidades para un gran número de aplicaciones novedosas que prometen ayudar a mejorar el entorno de las personas.

Ilustración 1 Estructura de una red del Internet de las cosas (Iot)



ELABORADO POR: LOS AUTORES

2.4. Algoritmos de aprendizaje

2.4.1. Algoritmo SVM

Support Vector Machine (SVM) es un algoritmo de aprendizaje supervisado que se utiliza en muchos problemas de clasificación y regresión, incluidas aplicaciones médicas de procesamiento de señales, procesamiento del lenguaje natural y reconocimiento de imágenes y voz [30]. SVM funciona mediante el mapeo de datos en un espacio de características de alta dimensión para que los puntos de datos puedan clasificarse, incluso si los datos no pueden separarse linealmente.

2.4.2. Algoritmo de Redes Neuronales

Las redes neuronales son solo otra forma de simular ciertas características de los humanos, como la capacidad de recordar y asociar hechos [31]. Si observamos de cerca estos problemas que no pueden ser expresados por el algoritmo, veremos que todos tienen una cosa en común: experiencias. Los humanos pueden hacer frente a estas situaciones

utilizando experiencias acumuladas. Por lo tanto, está claro que una forma de abordar el problema es construir un sistema que sea capaz de replicar esta característica humana [32].

La Red neuronal es un ejemplo de aprendizaje y procesamiento de información, que provee un acercamiento mayor al reconocimiento y percepción humana. Las redes neuronales se han aplicados en diferentes áreas de aplicaciones de las ANN tal como: Análisis y procesado de señales, robótica, diagnósticos médicos, filtrado de ruido [33].

2.4.3. Algoritmo de árboles de decisión

Un árbol de decisión es un algoritmo de aprendizaje supervisado no paramétrico que se utiliza tanto para tareas de clasificación como de regresión. Tiene una estructura de árbol jerárquico, que consta de un nodo raíz, ramas, nodos internos y nodos hoja [34]. Un árbol de decisión comienza con un nodo raíz, sin ramas entrantes. Las ramas que van desde la raíz alimentan los nodos internos, también conocidos como nodos de decisión. Según la funcionalidad disponible, ambos tipos de nodos realizan la evaluación para formar subconjuntos homogéneos, representados por nodos de hoja o terminales [35].

Los árboles de decisiones son algoritmos de aprendizaje supervisado que se usan para problemas de clasificación [33]. Este algoritmo consiste en crear un modelo que predice el valor de una variable de destino en función de diversas variables de entrada [36].

2.5. Estudios relacionados con los gestos de los pies

2.5.1. Estudio para el control o manipulación basado en gestos de los pies

En [37] presentan un estudio para el proceso, análisis y comprensión de los gestos de los pies de un usuario para el control de dispositivos. Su principal contribución del trabajo es obtener tres conjuntos de gestos de los pies definidos por el usuario. Este estudio se basa en tres escenarios en la cual un usuario está de pie frente a una pantalla, sentado de frente a la pantalla, y de pie sobre una superficie proyectada. Cada escenario contiene un conjunto de condiciones para la obtención de información. Este estudio puede ayudar a

alcanzar que los gestos de los pies puedan ser implementados y usados en ciertas condiciones como la discapacidad de una persona.

2.5.2. Aplicaciones de interacción basada en gestos con los pies

Los autores Hu, Wang, Gao, Yu [13] presentan a FootUI, el cual es capaz de utilizar la cámara del teléfono para rastrear los pies del usuario y traducir los gestos de los pies en acciones del teléfono inteligente. Está desarrollado principalmente para personas con trastornos del movimiento de las extremidades superiores, pero con extremidades inferiores sanas. Dicha tecnología permite al usuario interactuar con el teléfono inteligente mientras está acostado en la cama y mejora la comodidad del usuario. En este trabajo han explorado escenarios de uso y gestos, definieron los gestos que pueden ser acciones en un teléfono inteligente. Para lograr descifrar los gestos han preparado un algoritmo de reconocimiento y seguimiento de gestos e interfaces de usuario.

Por otro lado, Valkov [38] plantea cómo utilizar gestos con los pies para realizar tareas de navegación en un entorno 3D interactivo y cómo manipular una vista de mundo en miniatura (WIM, *World-In-Miniature*) con gestos multitáctiles para facilitar la orientación en entornos complejos. Para el efecto han utilizado sensores multitáctiles de bajo costo y dispositivos relativamente económicos para detectar gestos con los pies. En definitiva, han configurado una interfaz de usuario 3D intuitiva que incorpore gestos multitáctiles de manos y pies para interactuar con datos espaciales en entornos de realidad virtual.

En [39], proponen la combinación de un conjunto de gestos con los pies con gestos multitáctiles de las manos para mejorar la interacción con datos espaciales dentro de un Sistema de Información Geográfica multitáctiles (SIG). Los gestos multitáctiles proporcionan más información, es decir, permite al usuario explorar múltiples regiones de contacto y realizar cambios temporales, la interacción con los pies es adecuada para la entrada continua de datos durante un período de tiempo más largo, por ejemplo, cuando se realiza una panorámica durante un tiempo más largo. De una manera más general, la interacción del pie proporciona un plano de interacción horizontal.

2.5.3. Usos de la electromiografía basada en gestos con las extremidades

Los autores Vatavu y Ungurean [40], presentan un estudio de gestos de seguimiento de pantalla táctil y gestos de movimiento de aire expresados por usuarios de discinesia de las extremidades superiores que utilizan dispositivos montados en muñecas, dedos y cabeza. Los autores analizaron el rendimiento de entrada de gestos de los usuarios en términos de tiempo de producción, consistencia de la pronunciación y medidas cinemáticas, y compararon el nivel de rendimiento de los usuarios con discinesias en las extremidades superiores con el de un grupo de control de usuarios sin discapacidades. Usando dos conjuntos de datos de 7290 gestos de trazo y 3809 gestos de movimiento recopilados de 28 participantes, los autores encontraron que los usuarios con discapacidades motoras de la parte superior del cuerpo tardan el doble en producir gestos de trazo en pantallas táctiles portátiles en comparación con los usuarios sin discapacidades.

Por otro lado, Rawat [14] presentan a Myo Armband. Se trata de un brazalete de ocho sensores tipo electromiografía no invasivos que detectan la actividad eléctrica de los músculos del antebrazo y que reconoce los gestos de ciertas poses de la mano. Esta pulsera tiene un acelerómetro y un giroscopio para obtener aceleración y orientación de la mano. Myo es un producto de Thalmic Laboratories que cambia la forma en que interactúas con las computadoras, y su principal aplicación es controlar dispositivos como computadoras, teléfonos móviles, drones, entre otros por vía Bluetooth. Este trabajo, se muestran las pruebas de comunicación, ejecución y reconocimiento de poses de mano, en tres ambientes de desarrollo, el primero vía Web, el segundo una placa Arduino Uno y un motor de video juegos Unity. Los principales motivos de las pruebas son la creación de aplicaciones relacionadas con el desarrollo de videojuegos, la manipulación de dispositivos como robots, drones y aplicaciones médicas como prótesis y fisioterapia.

2.6. Technology Acceptance Model (TAM)

Este modelo consiste en realizar una serie de preguntas que se encargan de medir, evaluar y analizar una nueva tecnología, sistema, prototipo, etc. Las preguntas consisten tanto en la funcionalidad, apariencia, necesidad y parte de dos factores fundamentales: la primera es la utilidad percibida que consiste en el uso de un sistema concreto que mejoraría el desempeño o funcionalidad [41].

La facilidad de uso percibida tiene como objetivo medir que un sistema o tecnología se use de forma libre si mayor esfuerzo, estos dos factores trabajando en sincronía permiten obtener un resultado preciso para el evaluador [41].

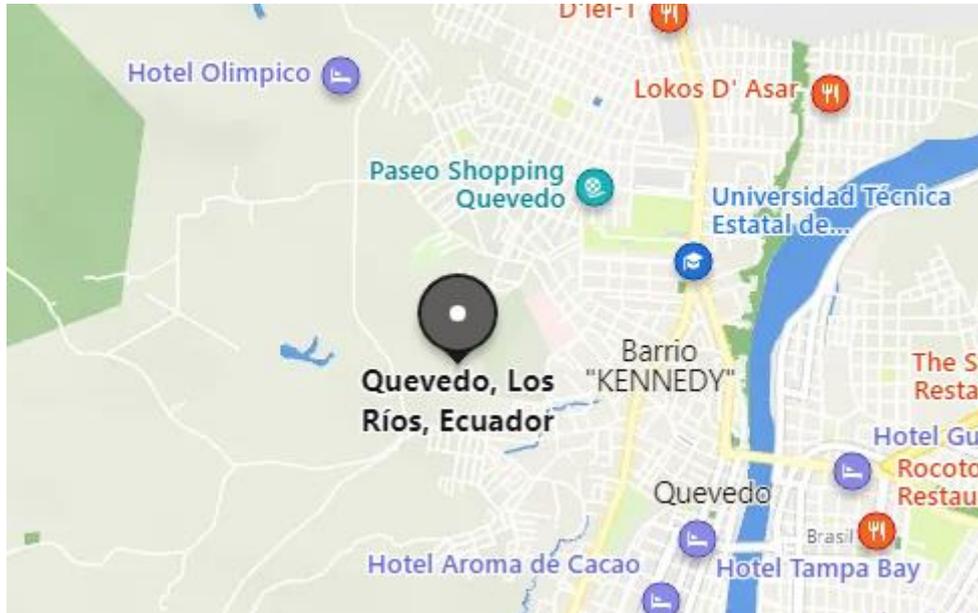
CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización

El proyecto de investigación se desarrolla en la ciudad de Quevedo (Ilustración 2), provincia de Los Ríos perteneciente a Ecuador.

Ilustración 2 Ubicación geográfica



FUENTE: GOOGLE MAPS

ELABORADO POR: LOS AUTORES

3.2. Tipos de investigación

3.2.1. Investigación exploratoria

Este tipo de investigación ayudó a identificar y analizar cuáles serían los músculos de los pies que producen altos niveles de señales eléctricas. Además, permitió saber la forma correcta de ubicar los electrodos en el pie, para obtener las señales electromiográficas adecuadas.

3.2.2. Investigación bibliográfica

En este estudio, dicha investigación se utilizó para desarrollar el marco conceptual y referencial a través de búsquedas exhaustivas de libros, artículos científicos, páginas web y otros trabajos relacionados con el tema.

3.3. Métodos de investigación

3.3.1. Método analítico

Este método se empleó para encontrar las partes que constituyen el hardware y software, lo que sirvió para analizar, estudiar, examinar cada parte por separado. En cuanto a este proyecto, se debe conocer los distintos dispositivos electrónicos u otros componentes que se utilizarán para el desarrollo del prototipo, lo que simplifica los problemas de costo y uso.

3.3.2. Método bibliográfico

Se utilizó este método para realizar consultas en libros, artículos científicos, sitios web, entre otros trabajos, que brindarán información necesaria para contemplar el tema a desarrollar. Este método permitió consultar sensores adecuados para captar señales electromiográficas, puntos apropiados de las extremidades inferiores para la captación de datos, Machine Learning, etc.

3.4. Fuentes de recopilación de información

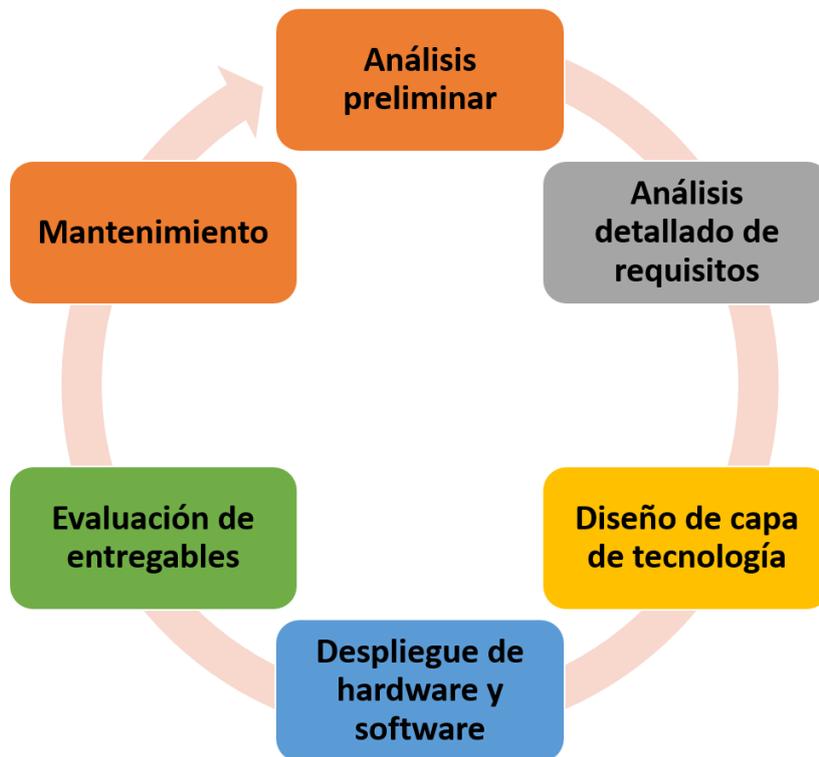
Son dos las principales fuentes a las que se recurrió para desarrollar el prototipo. La primera son las personas quienes participaron de este estudio. La segunda son libros, investigaciones realizadas y sistemas similares propuestos en artículos u otros estudios.

3.5. Diseño de la investigación

En este apartado se describe la metodología necesaria para el desarrollo del proyecto que busca establecer una comunicación no verbal utilizando las señales electromiográficas producidas por los músculos de las extremidades inferiores haciendo uso de un sensor muscular. Para el efecto, será necesario captar las señales respectivas, además de recolectar datos para analizarlos y crear un conjunto de datos con miras a determinar el mensaje que transmite el usuario a su receptor. Para el desarrollo del proyecto se aplicará la metodología *Test-Driven Development Methodology for IoTS* (TDDM4IoTS) [42], que contiene una estructura flexible, adaptable, y que garantiza cumplir con los objetivos planteados.

TDDM4IoTS es una metodología de desarrollo basada en pruebas para sistemas orientados en Internet de las cosas. Esta metodología está específicamente diseñada para el desarrollo de sistemas IoT. Consta de 11 fases (*Preliminary análisis, Technology layer design, Detailed requirement analysis, Model generation and adaptation, Test generation, Software generation, Model refinement, Software refinement, Hardware and software deploy, Deliverable assessment, Maintenance*). Sin embargo, se eligieron solo seis fases con base en los requerimientos del proyecto (Ilustración 3).

Ilustración 3 Fases de la Metodología TDDM4IoTS



FUENTE: TDDM4IoTS [41]

ELABORADO POR: LOS AUTORES

3.5.1. Fase 1: Análisis preliminar

Se realizó una investigación mediante la revisión de artículos o trabajos relacionados, para establecer los requerimientos necesarios para la construcción del prototipo Lower Extremity Sensor (LES). Aquella investigación previa permitió definir los componentes electrónicos adecuados para el desarrollo del prototipo, determinar los puntos apropiados para la obtención de las señales eléctricas.

3.5.2. Fase 2: Análisis detallado de los requerimientos

Para cubrir algunas necesidades que se requiere para establecer una comunicación no verbal utilizando las extremidades inferiores como medio de comunicación, se necesita realizar un estudio de usuarios. Esto consiste en responder algunas preguntas para obtener un conjunto de datos adecuado para el respectivo funcionamiento del prototipo. A continuación, se muestra lo que se requirió para cumplir con esta etapa:

A. Estudio de usuarios:

En este estudio colaboraron 24 personas entre 25 y 60 años de edad. Ellos fueron invitados a participar mediante textos enviados por redes sociales a los distintos contactos de los autores. Previo a su participación, los colaboradores firmaron un consentimiento informado luego de recibir las explicaciones necesarias.

La obtención de los datos se realizó en los hogares de los participantes. Luego de la explicación inicial, se solicitó a los participantes que adopten la posición requerida y realicen movimientos como: arriba, abajo, izquierda y derecha con el pie derecho para obtener los datos (señales eléctricas). Esto es, cada participante se acostó boca arriba en su cama (nótese que previamente se indicó este requerimiento). Después se procedió a conectar los electrodos en los músculos ya identificados que producen altos niveles de corriente eléctrica.

Cada participante realiza 4 veces seguidas cada movimiento, y por cada movimiento realizado tomaba un descanso de aproximadamente 1 minuto. Una vez concluido todos los movimientos, se aplicó un cuestionario de 4 preguntas abiertas sobre los mensajes que pueden transmitir mediante el uso de los pies. Las 2 primeras preguntas hacen referencia a los mensajes que el participante podría transmitir y de qué manera podrían hacerlo. La tercera pregunta se orienta hacia el uso de los pies para transmitir algún mensaje, mientras que en la última pregunta el participante debe asociar cada gesto con su respectivo mensaje. Además, en la escala del 1 al 7 el usuario debe calificar el nivel de dificultad que representa cada movimiento del pie. Cabe recalcar que las puntuaciones más altas se consideran muy complejo.

B. Selección del modelo:

Para obtener un modelo que se adapte a las características necesarias del proyecto se realizó una investigación de varios artículos, en los cuales se ha encontrado tres tipos de modelo. En el trabajo [43] se desarrolló un sistema para adquirir señales EMG utilizando el algoritmo de clasificación *Support Vector Machine* (SVM). El objetivo de este trabajo es predecir el mejor tipo de terapias para un paciente, dado que las pruebas experimentales y de simulación permiten entrenar este algoritmo para futuras predicciones en terapias del brazo.

Por otro lado, en el trabajo de [44] implementaron el algoritmo de redes neuronales por el motivo de que contiene una funcionalidad de aprender y mejorar con el tiempo en función del comportamiento del usuario. Además, desarrollaron una interfaz electrónica de una prótesis transfemoral para realizar ciertos movimientos básicos de la pierna. En este trabajo realizó una clasificación de señales EMG y se utilizaron siete tipos de movimientos y un vector de ocho características.

El modelo de árboles de decisiones también ha sido utilizado para detectar las señales electromiográficas. En [36] desarrollaron un sistema que emplea un algoritmo supervisado como árboles de decisiones, esto consiste en que la persona hace algún movimiento con el brazo y esto es reflejado en un brazo robótico.

Se tomó cada uno de estos modelos que han sido utilizados en los trabajos anteriormente mencionados para determinar el modelo adecuado para este proyecto. El modelo que se elegirá dependerá de su nivel de precisión. Para llevar a cabo este proceso se formó un conjunto de datos con base en las señales eléctricas de cada movimiento del pie de las personas encuestadas.

Antes del entrenamiento del modelo, los datos obtenidos se sometieron a una limpieza. Se aplicó técnicas de preprocesamiento de datos: visualización, transformación y modelado para eliminar datos ruidosos, valores faltantes, entre otros que podrían afectar en la calidad del conocimiento a extraer. La etapa del preprocesamiento de datos se realizó con el fin de inicializar correctamente los datos que sirvieron de entrada para los algoritmos de minería de datos.

Una vez que los datos pasaron por la etapa de preprocesamiento, se creó un conjunto de entrenamiento (70%) y un conjunto de prueba (30%) a partir del conjunto de datos original, con la intención de validar la calidad del resultado de cada modelo.

C. Prototipo IoT (LES)

Permite la comunicación e interpretación de señales producidas por las extremidades inferiores. A continuación, se presenta algunas de sus características:

- Este prototipo se desarrolló utilizando un conjunto de componentes físicos que permiten captar, analizar e interpretar las señales electromiográficas producidas por los músculos. Estas señales se convertirán en palabras o frases estableciendo una comunicación con un dispositivo móvil al receptor.
- Se utilizó librerías para la transferencia de datos entre componentes y envío de información a los dispositivos.
- Se realizaron un análisis de las señales obtenidas con base en el conjunto de datos almacenado para identificar qué movimiento ha realizado el usuario e interpretar los mensajes que quiere transmitir.

D. Aplicación móvil

Permite recibir notificaciones y configurar los mensajes que trasmite el usuario utilizando las extremidades inferiores. A continuación, se presenta algunas características:

- Establecer una comunicación entre el dispositivo móvil y el prototipo *LES* para la llegada de notificaciones en tiempo real.
- Ofrecer una interfaz de configuración para que pueda modificar los mensajes con los movimientos que realiza el usuario.

3.5.3. Fase 3: Diseño de la capa tecnológica

Aquí se obtiene el primer diseño del sistema en general, en el cual se representa de manera clara los elementos que se utilizan en el proyecto. Esto sirve como una guía para el desarrollo tanto del prototipo como de otros servicios. Para la elaboración de la aplicación móvil y el prototipo IoT se realizó un estudio exploratorio para seleccionar los componentes y herramientas adecuadas. Para cada uno de ellos se analizó y se estableció

un criterio de selección basado en artículos o trabajos relacionados, con el objetivo de seleccionar los componentes que más se adapten a las necesidades del prototipo IoT.

3.5.3.1. Integración de dispositivo y datos de sensores

Se utiliza el componente Esp8266 MCU para el intercambio de datos con otros componentes como el sensor muscular v3 mediante una comunicación serial. El Sensor muscular v3 se encarga de procesar la compleja actividad eléctrica de un músculo. Este sensor devuelve una señal análoga que puede ser fácilmente leída por cualquier microcontrolador con un convertidor análogo-a-digital. Los datos obtenidos son transferidos al Esp8266 y este envía al servidor utilizando el protocolo HTTP.

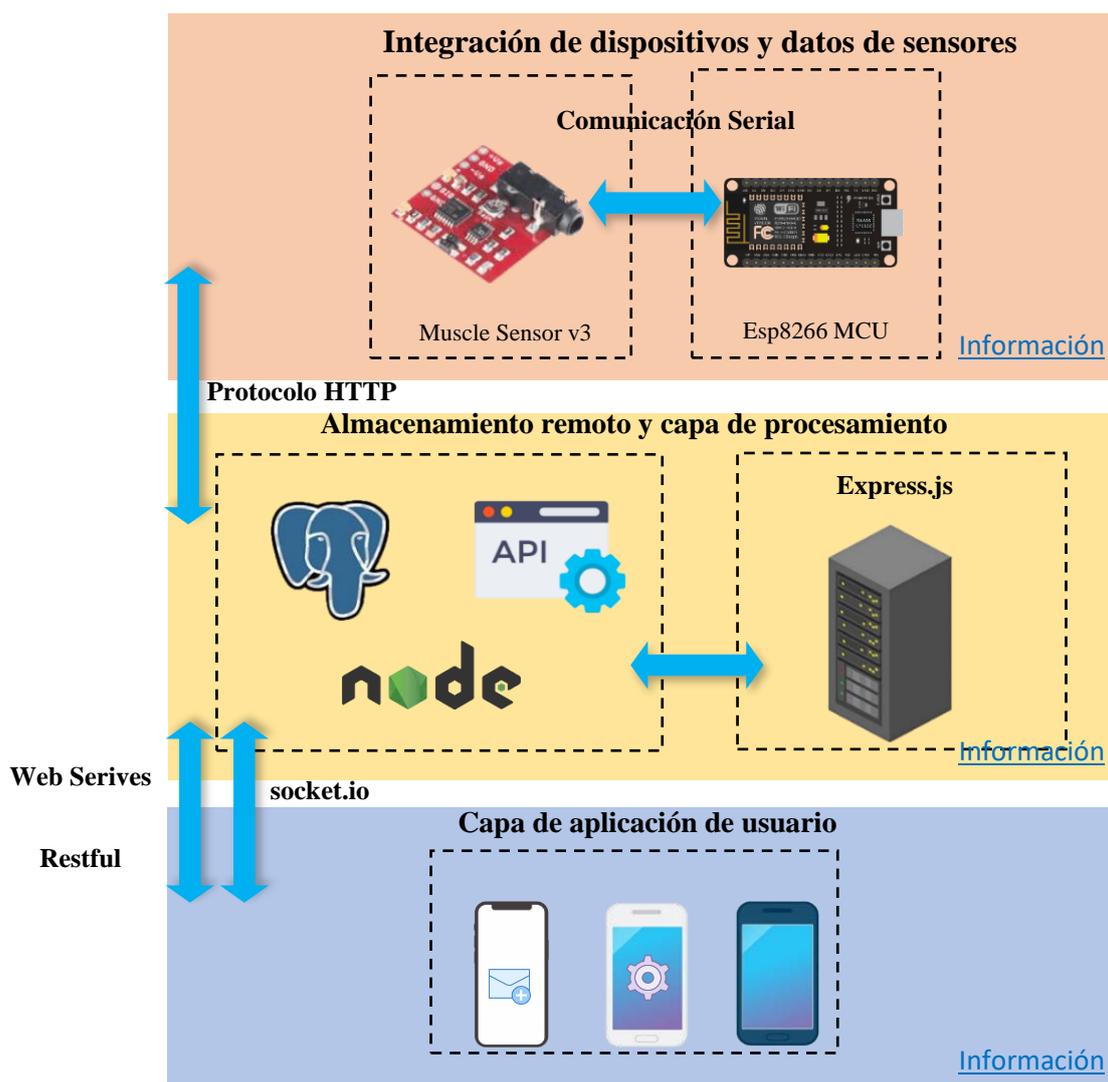
3.5.3.2. Almacenamiento remoto y capa de procesamiento

Se utilizó Nodest.js para el desarrollo del Back-End, el cual es el encargado de recibir datos enviados desde el prototipo y la aplicación móvil. Además, se encarga de enviar los datos correspondientes a un gestor de base de datos PostgreSQL, el cual está alojado en un servidor de la UTEQ. El Back-End envía la información a la capa de aplicación del usuario utilizando socket.io como medio de comunicación en tiempo real.

3.5.3.3. Capa de aplicación de usuario

El *Front-End* o la interfaz gráfica fue desarrollada en Android Studio. La aplicación permite al usuario ver gráficamente los mensajes previamente programados. El *Front-End* envía peticiones al *Back-End* utilizando *Web Services Restful* como medio de comunicación. Un servicio web es un programa diseñado para el intercambio de información de máquina a máquina sobre una red. Con su implementación, la aplicación *Lower Extremities Sensor* puede solicitar o recibir información de las diferentes interfaces como el inicio de sesión, registrar, modificar usuario y la interfaz de programación de movimiento.

Ilustración 4 Capa tecnológica



ELABORADO POR: LOS AUTORES

3.5.3.4. Fase 4: Despliegue de hardware y software

Para que el prototipo funcione correctamente, se debe configurar los servicios que envían los datos de los sensores hacia el servidor (Back-End). El Back-End fue desplegado en un servidor compartido donde se alojó la base de datos en PostgreSQL, el servidor desarrollado en Nodes.js y la aplicación móvil desarrollada en Android Studio. El envío de los datos se realiza mediante el protocolo HTTP en formato JSON. El servidor también requiere de algunas configuraciones de conexión, porque él será el encargado de recibir los datos de los sensores, procesar dichos datos mediante el modelo previamente realizado y posteriormente visualizados en la aplicación móvil. Una vez que exista conexión entre el prototipo y el servidor se procederá a adaptar el prototipo IoT para que pueda ser utilizado por las personas.

3.5.4. Fase 5: Pruebas del sistema

La evaluación consiste en permitir a un grupo de personas utilizar el prototipo para que luego respondan varias preguntas realizadas bajo los estándares del Technology Acceptance Model (TAM) [41] . A continuación, los detalles del proceso:

Participantes: se obtuvo la colaboración de 25 participantes entre ellos 10 personas de sexo masculino y 15 de sexo femenino, con edades de entre 25 y 60 años.

Ubicación: los participantes son habitantes de la ciudad de Quevedo. Ellos fueron convocados mediante las redes sociales. El estudio se realizó en los domicilios de cada uno de los participantes.

Cuestionario

Se utilizó la metodología *Technology Acceptance Model* para determinar si los usuarios aceptan o rechazan el prototipo realizado. Con esta metodología se puede evaluar con base en la percepción de la utilidad y la percepción de la facilidad de uso en la adopción de este prototipo [41]. Si la persona siente que es fácil de usar, gastará menos esfuerzo para realizar sus actividades. Esto hace que los usuarios piensen que implementar este prototipo mejora el proceso de comunicación con las demás personas. Los participantes respondieron 18 preguntas. Estas preguntas evalúan la aceptación del prototipo con base en diferentes factores establecidos en TAM como por ejemplo la Utilidad Percibida (UP), Facilidad de Uso Percibida (FUP), voluntariedad (VOL), entre otros. Las preguntas del cuestionario se muestran a continuación en la Tabla 1. Las respuestas establecidas para dichas preguntas están basadas en la escala Likert y se le asignó un valor a las mismas, tal y como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 1 Cuestionario para evaluar la aceptación de la tecnología

Cuestionario		
Factor	Indicador	Pregunta
Percepción de uso	P1	El uso del prototipo apoya mi proceso de comunicación con mi cuidador/familiar.
	P2	El prototipo es útil para mí, porque doy a conocer lo que necesito transmitir a mi cuidador/familiar.
	P3	Me es fácil mover el pie mientras uso el prototipo.
	P4	Mi interacción con el prototipo es fácil y cómoda.
	P5	El prototipo me resulta fácil de usar.
Facilidad de uso percibido	P6	Pienso que necesitaré ayuda para utilizar el prototipo.
	P7	Tengo control sobre el uso del prototipo.
	P8	El uso del prototipo me resulta agradable.
	P10	Es fácil hacer que el prototipo envíe los mensajes con cada movimiento que realizó.
	P12	La interacción con el prototipo no requiere mover mucho el pie para que cumpla su función.
	P13	Me resulta cómodo hacer los movimientos que requiere el prototipo para su funcionamiento.
	P9	Mi uso del prototipo es voluntario.
Voluntariedad	P11	Estaría dispuesto a utilizar el prototipo.
	P14	Mi familiar/cuidador no me exige que utilice el prototipo.
Intención de comportamiento	P15	Aunque puede ser útil, el uso del prototipo no es totalmente apropiado para mí.
	P18	Suponiendo que tuviera el prototipo a mi disposición, tengo la intención de utilizarlo.
Relevancia laboral	P16	El uso del prototipo es pertinente para mis diversas necesidades
Demostración de Resultados	P17	Considero, en cuanto a exactitud, que los resultados del prototipo son buenos.

ELABORADO POR: LOS AUTORES

Tabla 2 Cuestionario para evaluar la aceptación del prototipo

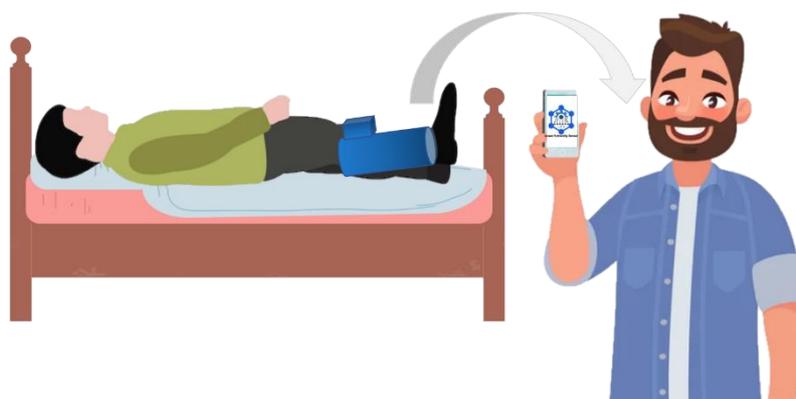
Respuestas	Valoración
Totalmente en desacuerdo	1
En desacuerdo	2
Ni de acuerdo, ni en desacuerdo	3
De acuerdo	4
Totalmente de acuerdo	5

ELABORADO POR: LOS AUTORES

Procedimiento

Los participantes fueron contactados por redes sociales. Se llegó a un acuerdo con cada uno para poder ir a su casa y realizar el estudio de usuarios en su domicilio. Los participantes recibieron una hoja donde se detalla los objetivos del proyecto y demás especificaciones. Una vez firmado el consentimiento informado, se adecuó un espacio donde el participante se acostó en su cama y se procedió a instalar el prototipo en su extremidad inferior derecha (Ilustración 5). Luego, cada participante configuró en la aplicación móvil los mensajes que desea transmitir con los movimientos. Cada uno de los participantes realizó hasta dos veces cada movimiento (Arriba, Izquierda). Los resultados son reflejados en la aplicación móvil en la sección de notificaciones. Una vez concluido el uso del prototipo se procedió a entregar una hoja donde el usuario evaluó el mismo.

Ilustración 5 Representación del proceso de evaluación



ELABORADO POR: LOS AUTORES

3.5.5. Fase 6: Mantenimiento

Esta fase aún no se tomó en cuenta por el tipo de desarrollo que se realizó en este proyecto. Además, el dispositivo IoT no requiere un mantenimiento preventivo solo requerirá mantenimiento correctivo al momento de alguna falla.

3.6. Recursos humanos y materiales

Para lograr la ejecución del proyecto de investigación, es necesario implementar recursos como apoyo en las diferentes etapas de la investigación. Estos recursos, tanto humanos como materiales, se detallan a continuación.

3.6.1. Talento humano

En el proyecto están involucrados los estudiantes: Romero Castro Víctor Francisco, Tocta Bonilla Tyrone Wladimir, estudiantes de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo de la carrera de Ingeniería en Sistemas; y el docente Ing. Orlando Erazo Moreta Ph.D., tutor académico. Haciendo un trabajo en equipo se logró realizar la planeación, organización, desarrollo y coordinación de las actividades de cada etapa del proyecto.

3.6.2. Equipos y materiales

Para la ejecución del proyecto se necesitó equipos informáticos y materiales digitales e informáticos. A continuación, se detalla los recursos utilizados.

3.6.2.1. Recursos de hardware

En la Tabla 3 se muestran todos los equipos informáticos que se han utilizado para la elaboración del proyecto.

Tabla 3 Recursos de hardware utilizados

Cantidad	Equipo	Características
2	Laptop Dell	<ul style="list-style-type: none"> ● Procesador Intel Core i7 5500U 2.4 Ghz ● 8 Gb - RAM ● 1 TB - SSD ● Sistema operativo: Windows 11
1	Impresora HP	<ul style="list-style-type: none"> ● Multifunción ● Serie L515
1	Dispositivo de almacenamiento (USB)	<ul style="list-style-type: none"> ● 8 GB
1	Kit de componentes IoT	<ul style="list-style-type: none"> ● Sensor EMG ● ESP 8266 ● Push boton ● Arduino uno ● Cables jumper

ELABORADO POR: LOS AUTORES

3.6.2.2. Recursos de software

En la Tabla 4 se muestran los recursos de software que se requirieron para la elaboración del proyecto.

Tabla 4 Recursos de software utilizados

Software	Descripción
Nodes.js	Un entorno de desarrollo basado en JavaScript.
Android Studio 2.1.16	IDE para el desarrollo de aplicaciones móviles
Arduino IDE	Entorno de desarrollo integrado de Arduino para la programación de los componentes IoT.
PostgreSQL 13	Sistema gestor de base de datos (SGBD)
Sistemas Operativos	Windows 10
Programas de Oficina	Microsoft Word
	Microsoft Excel

ELABORADO POR: LOS AUTORES

CAPÍTULO IV

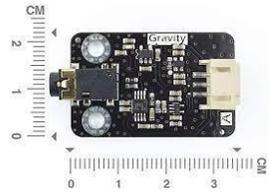
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Selección de componentes

Para seleccionar los componentes adecuados se realizó una revisión bibliográfica tomando en consideración ciertas características, como funcionamiento, ampliación de señales, y si fueron utilizados en alguna parte del cuerpo trabajando con señales eléctricas de los músculos. En la Tabla 5 se detallan los diferentes sensores que permiten detectar señales electromiográficas. El dispositivo EMG *Myoware* se ha utilizado en varios artículos, pero la mayoría los utilizan en los brazos o manos. El *Gravity Shake Sensor* SEN0289 está más orientado a la captación de señales eléctricas altas como los músculos de los brazos. Por otro lado, el componente EMG 826 es poco utilizado en trabajos científicos. Se ha encontrado en páginas web o blogs información acerca de las características del componente. Por último, el dispositivo *Muscle Sensor v3* ha sido utilizado en varios trabajos relacionados con señales EMG. El *Muscle Sensor V3* se utiliza en brazos, hombros, rostro, tobillo, pies. Bajo estas características, se eligió *Muscle Sensor V3* para obtener las señales eléctricas de los movimientos de los usuarios.

En la Tabla 6 se presentan los microcontroladores ESP8266, cada uno con su respectiva información. El ESP8266 modelo ESP-03 está diseñado solo para recibir los datos que se obtienen de otros componentes, luego se envía a cualquier servidor, pero no contiene una interfaz para ingresar los parámetros como usuario y clave. Por otro lado, ESP-05 está diseñado solo para recibir los datos que se obtienen de otros componentes para su respectivo envío a cualquier servidor. El ESP-05 solo tiene 5 puertos para su respectiva funcionalidad, lo que limita conectar todos los cables que necesita el sensor de EMG. Además, el ESP8266 NodeMCU contiene una variedad de puertos para conectar varios componentes y una interfaz para el ingreso de clave y usuario wifi para enviar los datos mediante el protocolo http con formato JSON. Por lo tanto, se eligió el ESP8266 NodeMCU porque cumple con las especificaciones que requiere para el proyecto.

Tabla 5 Comparaciones de sensores EMG

Dispositivo	Nombre	Mayor utilidad en el cuerpo	Cantidad de electrodos	Criterio de proyecto	Funcionalidad	Conclusión
	EMG Myoware	Brazos	3	Se requiere un sensor que sea utilizado en varias partes del cuerpo, además con mayor número de electrodos para una mejor captación de señal	Permite registrar la actividad eléctrica generada por los músculos esqueléticos cuando realizan algún movimiento; es decir, está diseñado para captar altas tensiones intramusculares, como por ejemplo los brazos [45].	Este dispositivo no cumple con los requisitos establecidos
	Gravity Shake Sensor SEN0289	Mano; movimientos unidireccionales de la mano	1	Se requiere un sensor que sea utilizado en varias partes del cuerpo, además con mayor número de electrodos para una mejor captación de señal	El sensor de movimiento digital sirve para detectar el movimiento de la mano, y solo es sensible a sus movimientos unidireccionales. Dispone de un interruptor de vibración tipo resorte se usa para emitir un pulso de bajo nivel cuando el usuario agita una vez la mano en la dirección especificada y el indicador de a bordo parpadea al mismo tiempo [46].	Este dispositivo no cumple con los requisitos establecidos
	EMG 826	Brazo	3	Se requiere un sensor que sea utilizado en varias partes del cuerpo, además con mayor número de electrodos para una mejor captación de señal	El sensor EMG sirve como puente para detectar los pequeños pulsos eléctricos producto de la actividad muscular y transformarlos en una señal reconocible por Arduino.	No se obtuvo información de este dispositivo



Muscle
Sensor v3

Pecho, Rostro,
tobillo, brazos

3

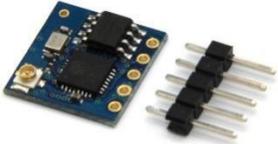
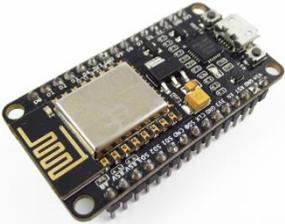
Se requiere un sensor que sea utilizado en varias partes del cuerpo, además con mayor número de electrodos para una mejor captación de señal

Sensor de electromiografía, que es un dispositivo que puede leer señales en los músculos humanos. Luego, la señal se procesa para producir una determinada salida. Este sensor está diseñado para la captación de señales musculares pecho y rostro [47], para brazos [37], [48], prótesis de tobillo [49].

Cumple con los requisitos que se necesita para el proyecto.

ELABORADO POR: LOS AUTORES

Tabla 6 Comparación de módulos wifi

Dispositivo	Nombre	Uso	GPIO utilizables	Criterio de proyecto	Funcionalidad	Conclusión
	ESP8266 modelo ESP-03	Requiere de otro componente (placa Arduino) para su funcionamiento.	11	Se requiere un microcontrolador con al menos 16 pines, y wifi incorporado para el envío de datos.	Este módulo ESP-05 está basado en el ESP8266 con una sencilla interfaz de 14 pines, con la que se puede agregar WiFi; capta la información enviada por el Arduino y envía la información por protocolos http [50].	Este dispositivo no cumple con los requisitos establecidos
	ESP8266 modelo ESP-05	Requiere de otro componente (placa Arduino) para su funcionamiento.	5	Se requiere un microcontrolador con al menos 16 pines, y wifi incorporado para el envío de datos.	Este módulo ESP-05 está basado en el ESP8266 con una interfaz sencilla de 5 pines, dos pines para transferir datos con el Arduino, uno para el negativo, uno para el positivo, con la que se puede agregar WiFi; capta la información enviada por el Arduino y envía la información por protocolos http [51].	Este dispositivo no cumple con los requisitos establecidos
	ESP8266 NodeMCU	Está integrado el wifi en una sola placa que tiene varios números periféricos.	32	Se requiere un microcontrolador con al menos 16 pines, y wifi incorporado para el envío de datos.	El NodeMCU es un módulo que permite la entrada y salida de datos por medio de sus puertos, en total 30 puertos. Además, permite realizar la configuración para acceder al wifi por medio de una interfaz programada en el MCU y por último se puede integrar varios lenguajes como Python, Basic o JavaScript [52].	Contiene una variedad de funcionalidades que cumple con lo necesario para el proyecto.

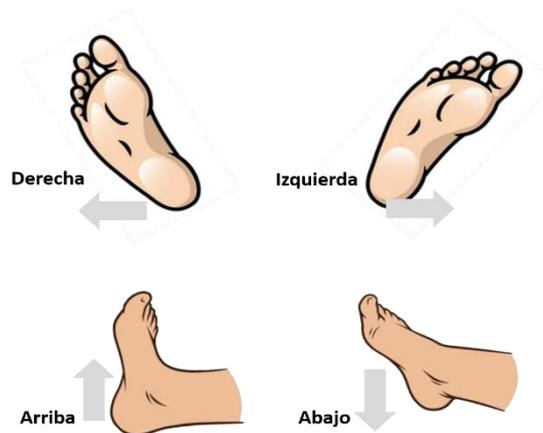
ELABORADO POR: LOS AUTORES

4.2. Preparación del conjunto de datos

La recopilación de datos es el primer paso para formar el conjunto de datos que sirvió para el entrenamiento del modelo. Este proceso consistió en obtener 100 valores de los pulsos eléctricos producidos por los músculos al realizar un movimiento. El usuario realizó los movimientos hacia arriba, derecha, izquierda y abajo. Cada movimiento se repitió 4 veces.

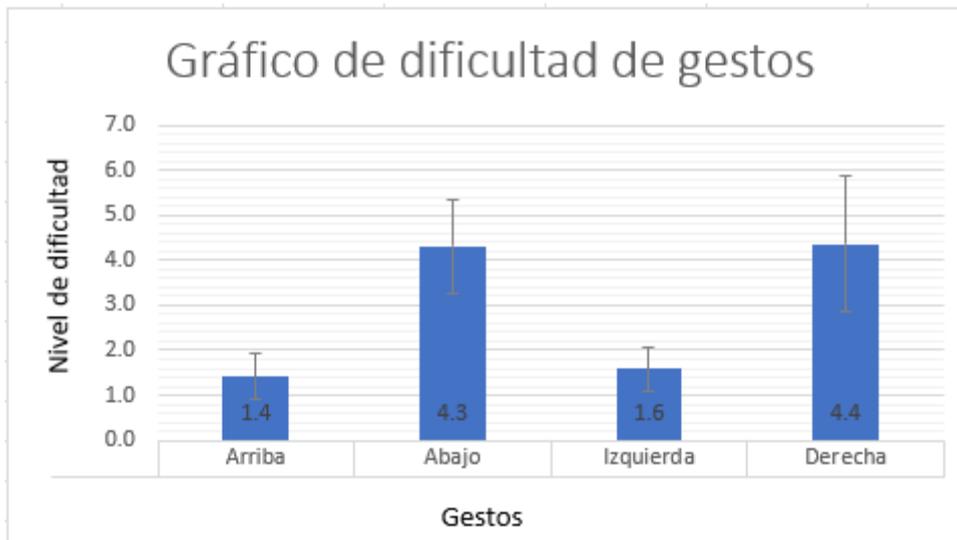
Una vez obtenido los datos de cada usuario se procede a sacar la media, desviación estándar y la varianza, con ello tenemos un conjunto de datos que contienen tres columnas por 384 filas para el entrenamiento del modelo. Además, una vez obtenido cada uno de los gestos (Ilustración 6) y su puntuación correspondiente, se procedió a sacar el promedio y la desviación estándar de cada gesto. Luego se verificó qué gestos fueron los más fáciles y los más difíciles para los usuarios. En este punto se obtuvo dos movimientos con bajos índices de dificultad. El movimiento hacia arriba tiene una dificultad de 1.4 y a la izquierda 1.6, mientras que los movimientos hacia abajo y hacia la derecha son los más difíciles, con una puntuación de 4.3 y 4.4 (Ilustración 7).

Ilustración 6 Movimientos (gestos) utilizados



ELABORADO POR: LOS AUTORES

Ilustración 7 Promedio de dificultad de gestos



ELABORADO POR: LOS AUTORES

Una vez que se obtuvieron los movimientos seleccionados, se procedió a generar un subconjunto de datos únicamente con los campos previamente definidos. Es decir, solo con los movimientos que tienen menor puntaje de dificultad (hacia arriba y a la izquierda). Además, en el estudio de usuarios realizado se obtuvieron varios mensajes distintos. Los mensajes que se presentan en la Tabla 7 son los que fueron sugeridos con mayor frecuencia.

Tabla 7 Mensajes

Número	Mensaje
1	Quiero ir al baño
2	Quiero bañarme
3	Quiero sentarme
4	Quiero comer o tomar agua
5	Quiero salir
6	Quiero ver televisión

ELABORADO POR: LOS AUTORES

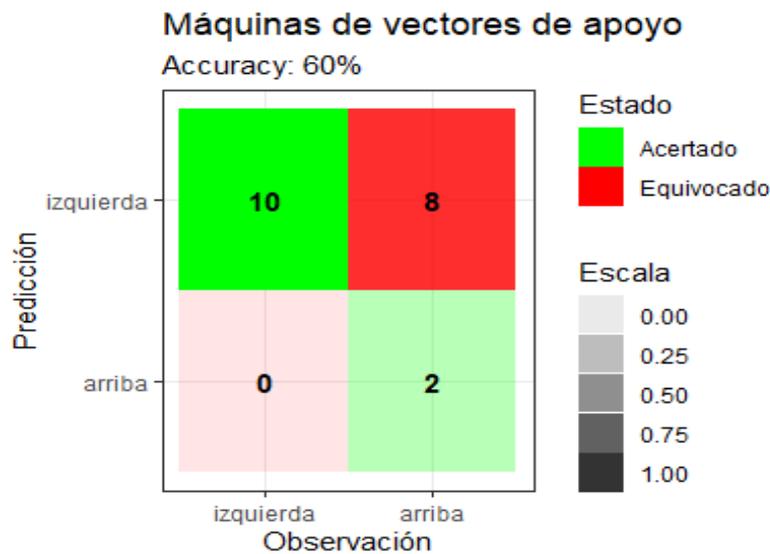
4.3. Definición del modelo

Después de obtener el conjunto de datos, se procedió a entrenar los diferentes modelos seleccionados. A continuación, se detallan los resultados de cada uno de ellos.

4.3.1. Máquinas de Soporte Vectorial (SVM)

Para entrenar este modelo se hizo uso de la función *svm* de la librería *e1071*. Una vez que el modelo SVM fue entrenado, se hizo una predicción enviándole como parámetro el conjunto de datos de prueba, dando como resultado 12 predicciones correctas. En la Ilustración 8 se evidencia que los movimientos hacia la izquierda han sido predichos todos correctamente (color verde), mientras que en los movimientos hacia arriba se ha equivocado 8 veces de 10 (color rojo). En resumen, este modelo obtuvo una precisión de predicción del 60% con un error del 40%, lo que refleja un desempeño regular del clasificador para este conjunto de datos.

Ilustración 8 Matriz de confusión Máquinas de Vector de Soporte

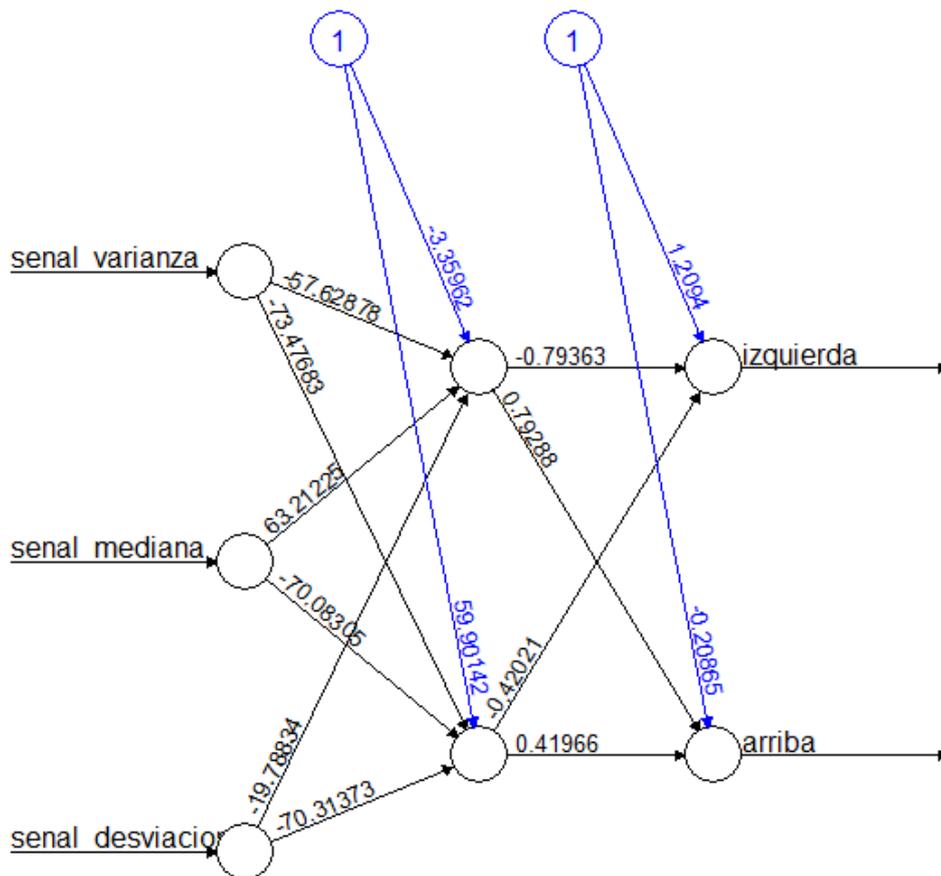


ELABORADO POR: LOS AUTORES

4.3.2. Modelo de redes neuronales

Para entrenar la red neuronal se hizo uso de la función *neuralnet* de la librería neuralnet, enviando los parámetros varianza, mediana y desviación estándar, requeridos para su funcionamiento. En la Ilustración 9 se muestra la red neuronal calculada, visualizándose que tiene 2 neuronas en su capa oculta. Las líneas negras muestran las conexiones con los pesos, los mismos que se calculan utilizando el algoritmo de retro propagación. Las líneas azules muestran el término de sesgo.

Ilustración 9 Red neuronal

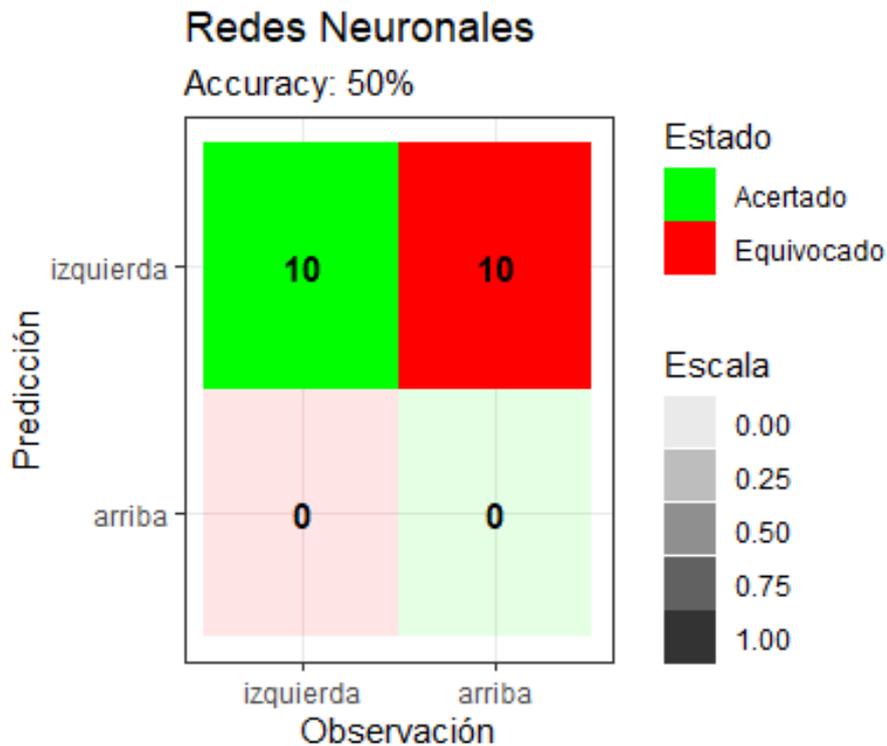


Error: 10.006255 Steps: 3211

ELABORADO POR: LOS AUTORES

Una vez que se obtuvo la red ya entrenada, se procedió a utilizarla ingresando nuevos parámetros de entrada para obtener una predicción que debería ser el valor resultante del modelo previamente entrenado. Para ello se usó la función *compute*, con la cual se obtiene como resultado 10 predicciones correctas lo que genera una precisión de predicción del 50% con un error del 50% así como se muestra Ilustración 10.

Ilustración 10 Matriz de confusión redes neuronal

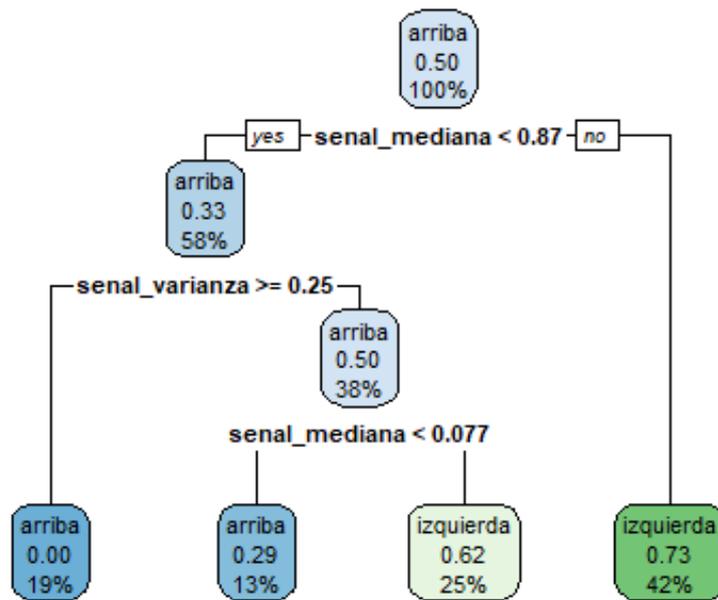


ELABORADO POR: LOS AUTORES

4.3.3. Modelo de árboles de decisiones

Para crear el modelo de árboles de decisiones se usó la función *rpart*, enviándole el conjunto de datos, fórmula, método para la clasificación, entre otros. Una vez que se obtuvo el modelo, se puede dibujarlo para visualizar cómo está clasificando los puntos de datos. En la Ilustración 11 se puede visualizar que si la mediana de las señales eléctricas es menor que 0.87, probablemente sea un movimiento hacia arriba; si no, sería un movimiento a la izquierda, y según la ramificación del árbol daría un solo resultado ya sea arriba o izquierda.

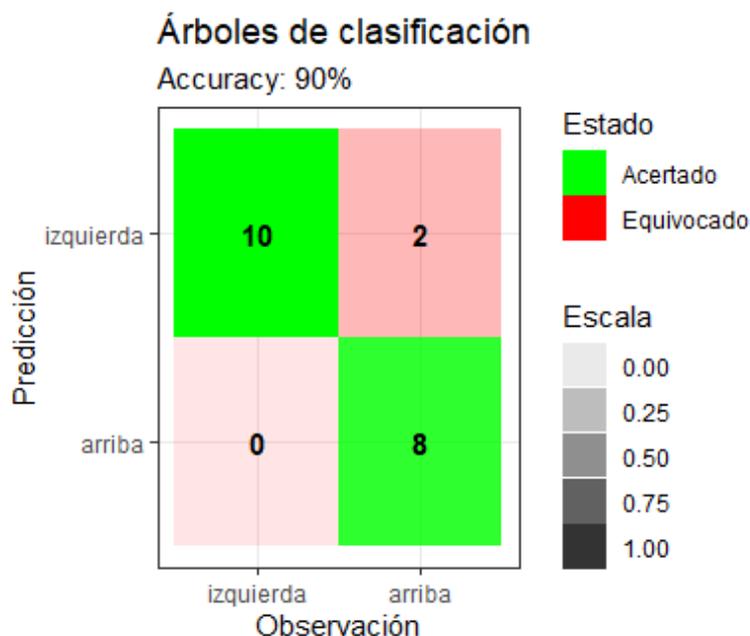
Ilustración 11 Árbol de decisión



ELABORADO POR: LOS AUTORES

Para verificar la precisión de la predicción se hizo uso de la función *predict*, enviándole el conjunto de datos de prueba junto al modelo previamente entrenado. Esto dio como resultado 18 predicciones correctas, que es equivalente al 90% de precisión con un error del 10% Ilustración 12, dando a notar que el modelo es bastante bueno.

Ilustración 12 Matriz de confusión del árbol de decisión



ELABORADO POR: LOS AUTORES

4.3.4. Selección del modelo a utilizar

Se hizo una comparación rápida de los resultados de cada modelo (SVM, Redes neuronales, árboles de decisiones), dando como resultado que el modelo de árboles de decisiones es el que tuvo mayor precisión con un 90%, mientras que el modelo SVM tuvo el 60% de precisión y el modelo de redes neuronales es el que tiene menor precisión con un 50% Tabla 8. Es evidente que el modelo de árboles de decisiones es adecuado para predecir los tipos de movimientos de interés.

Tabla 8 Resumen de porcentajes de precisión de los modelos analizados

Modelos	Precisión
Máquinas de vectores de apoyo	60%
Redes Neuronales	50%
Árboles de clasificación	90%

ELABORADO POR: LOS AUTORES

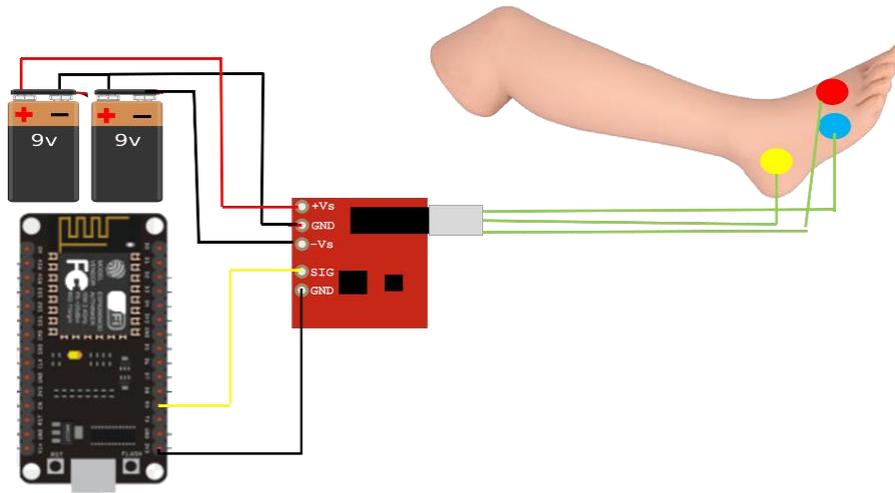
4.4. Creación del prototipo IoT y aplicación móvil

4.4.1. Diseño del prototipo

Para el ensamblado del prototipo se utilizó los componentes ESP8266 y *Muscle Sensor v3*, el primero para recopilar y enviar datos y el segundo para captar las señales eléctricas que producen los músculos. Para el registro de actividad eléctrica (EMG), se empleó el sensor *Muscle Sensor v3*, que mide la actividad eléctrica filtrada y rectificada de un músculo.

En la Ilustración 13 se puede observar el diseño del circuito del prototipo. En ella se puede evidenciar que el componente *Muscle Sensor v3* recibe una entrada de tensión de alimentación de 9v. Además, se visualiza la forma correcta en que los electrodos deben ubicarse en el pie, para obtener la corriente apropiada al realizar los movimientos o gestos ya establecidos. Por último, se puede evidenciar las conexiones que permiten establecer una comunicación entre los componentes ya mencionados.

Ilustración 13 Circuito de Lower Extremities Sensor



ELABORADO POR: LOS AUTORES

4.4.2. Prototipo

El prototipo (Ilustración 14) que se construyó contiene varios elementos. El principal es un corrector de tobillo que se encarga de sostener cada uno de los componentes, los cables y los tres electrodos que se encuentran integrados en el interior de este. Los componentes como el ESP8266 MCU, Muscle Sensor v3, y dos pilas de 9v se encuentran en el interior de un recipiente protector para evitar que el usuario manipule o mueva estos componentes. El usuario debe colocarse el prototipo en el pie derecho ajustando las respectivas cintas para mantener fijos los tres electrodos. Luego, cuando el usuario procede a realizar los movimientos respectivos, la información procesada es enviada a los dispositivos móviles que estén vinculados.

Ilustración 14 Lower Extremities Sensor



ELABORADO POR: LOS AUTORES

4.4.3. Aplicación móvil

En la aplicación móvil (Ilustración 15), el cuidador puede programar cada movimiento independiente que realizará el usuario del dispositivo. El cuidador debe elegir un movimiento y el mensaje que la persona dependiente quiere transmitir con el mismo. El objetivo de esta programación independiente es permitir que la aplicación se adapte a los diferentes panoramas que puede presentar un usuario sin o con limitaciones de movimientos en sus extremidades inferiores.

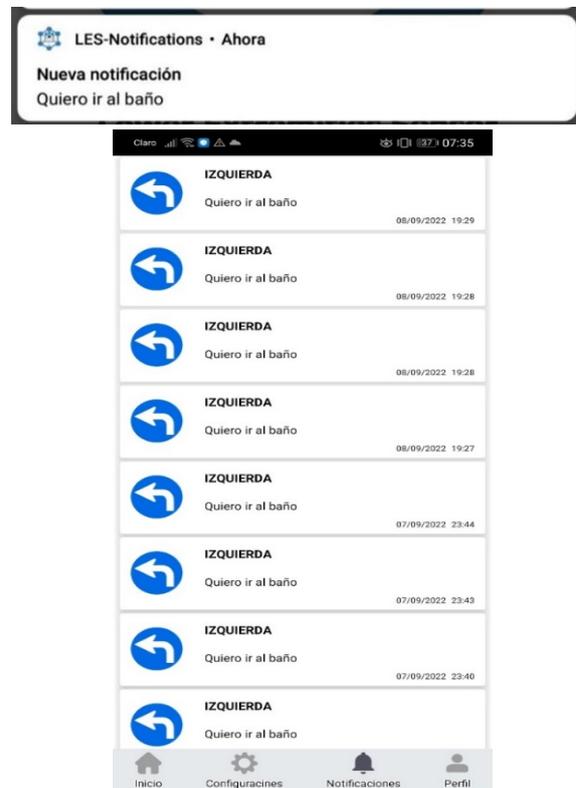
Una vez programados los movimientos del usuario, el prototipo se encuentra a la espera de obtener las señales musculares. Cuando el usuario realiza algún movimiento ya programado, el prototipo procede a captar y enviar los datos al modelo. El modelo se encarga de recibir, analizar e identificar los parámetros de entrada para posteriormente dar como resultado el movimiento que realizó el usuario. El resultado es enviado a la base de datos para realizar una consulta y verificar qué mensaje tiene el movimiento de entrada y presentarlas mediante notificaciones en los dispositivos móviles que se encuentren vinculados con este prototipo (Ilustración 16).

Ilustración 15 Interfaz de la aplicación móvil



ELABORADO POR: LOS AUTORES

Ilustración 16 Notificación del dispositivo móvil



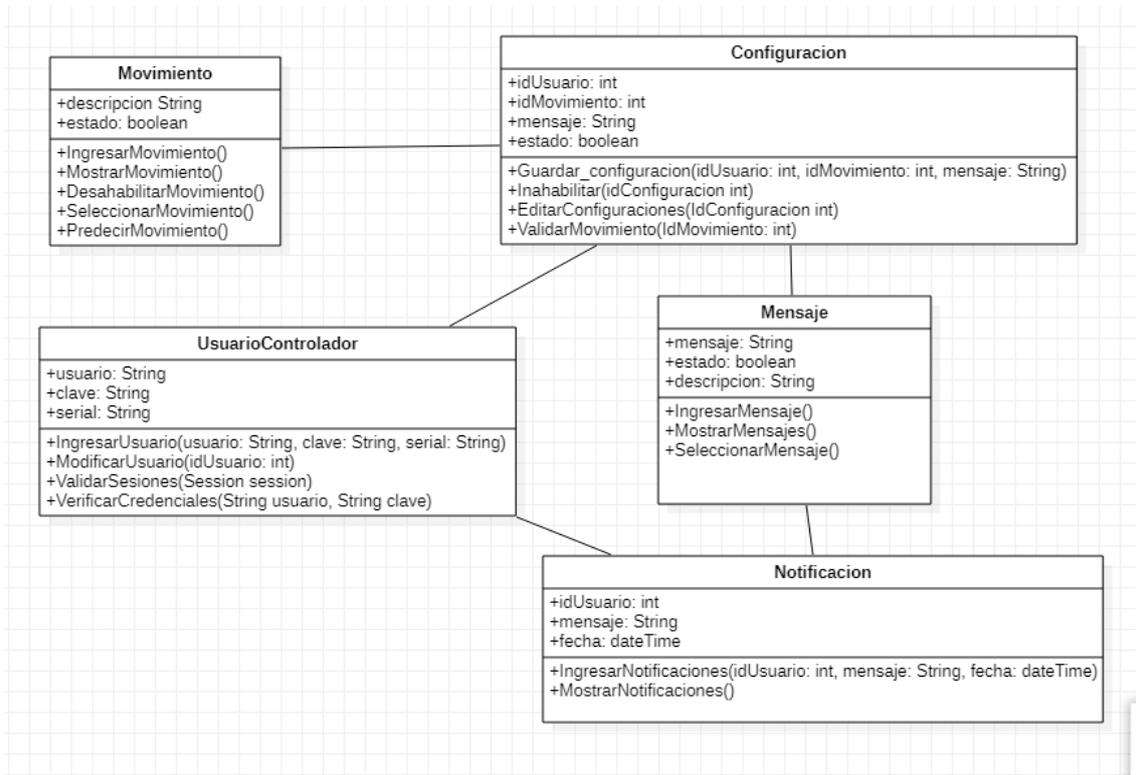
ELABORADO POR: LOS AUTORES

4.4.4. Diagramas del sistema

4.4.4.1. Diagrama de clases

En la Ilustración 17 se puede observar el diagrama de clases del Back-End. En ella se encuentran las clases, atributos y métodos de cada una.

Ilustración 17 Diagrama de clases – Back-End

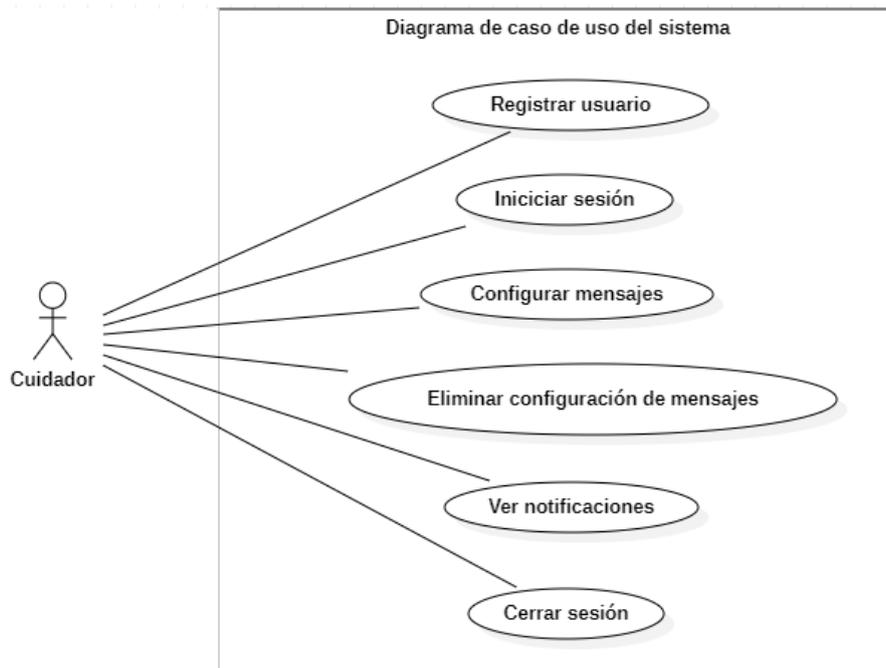


ELABORADO POR: LOS AUTORES

4.4.4.2. Casos de usos

En la Ilustración 18 se puede visualizar el diagrama de casos de uso en la cual proporcionan una estructura que se centra en representar todos los elementos que se relacionan entre sí.

Ilustración 18 Diagrama de caso de uso del sistema

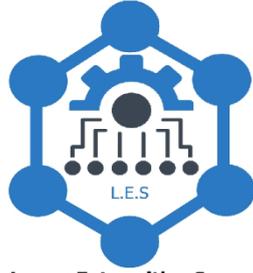


ELABORADO POR: LOS AUTORES

Tabla 9 Descripción de caso de uso para iniciar sesión

Caso de uso	Iniciar sesión
Actor	Cuidador
Dependencias	Registro de usuario
Resumen	Este caso de uso empieza cuando el cuidador ingresa las credenciales de su usuario con el que se registró en la aplicación LES-Notifications. Luego el sistema verificará si las credenciales son correctas; si son correctas, ingresa al sistema, caso contrario mostrará un mensaje de usuario o contraseña incorrecto.
Tipo	Primario
Precondición	El cuidador debe estar registrado en el sistema.
Curso normal de eventos	
Acción del actor	Respuesta del sistema

<p>1. Este caso de uso inicia cuando el cuidador ingresa su usuario y contraseña en la pantalla de inicio de sesión.</p>	
	<p>2. El sistema verifica si las credenciales ingresadas son correctas.</p>
	<p>3. El sistema concede el acceso al menú principal</p>
<p>4. El cuidador empieza a utilizar la aplicación.</p>	
<p>Cursos alternos</p>	
<p>Línea 2: Si el usuario o contraseña es incorrecto, el sistema informa de lo ocurrido.</p>	
<p>Post condición</p>	<p>El cuidador ha iniciado sesión.</p>



Lower Extremities Sensor

L.E.S

 Usuario

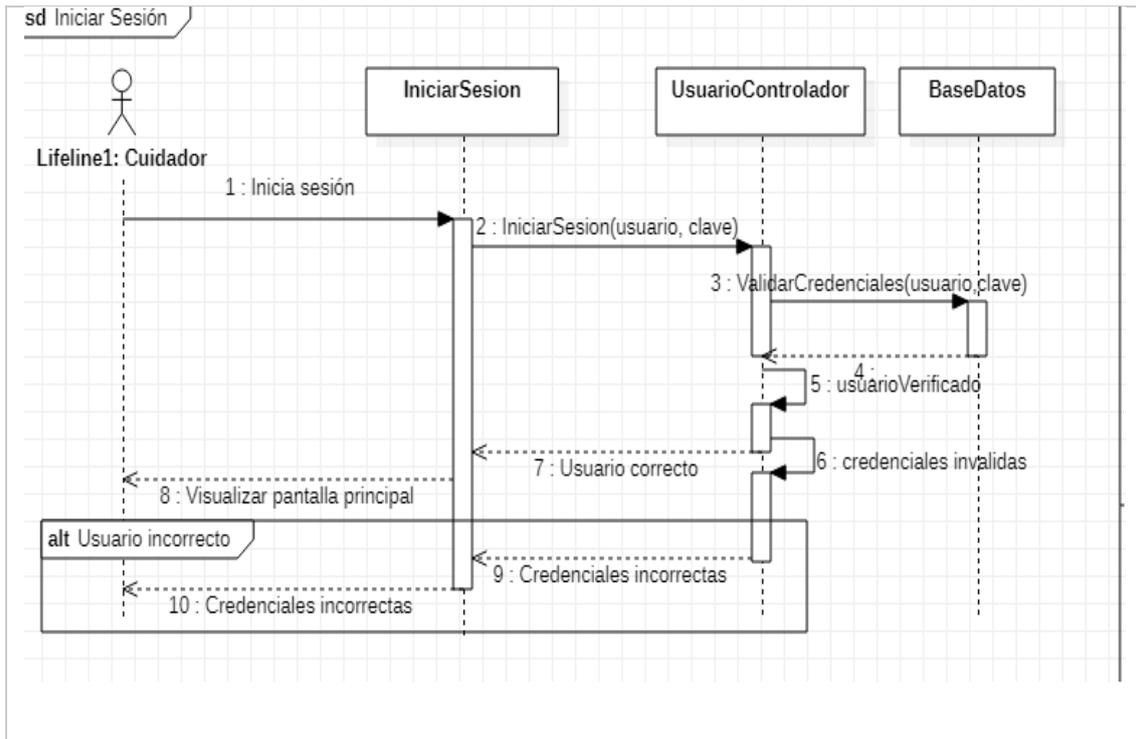
 Contraseña

INICIAR

¿No tienes cuenta?

Registrarse

Diagrama de secuencia

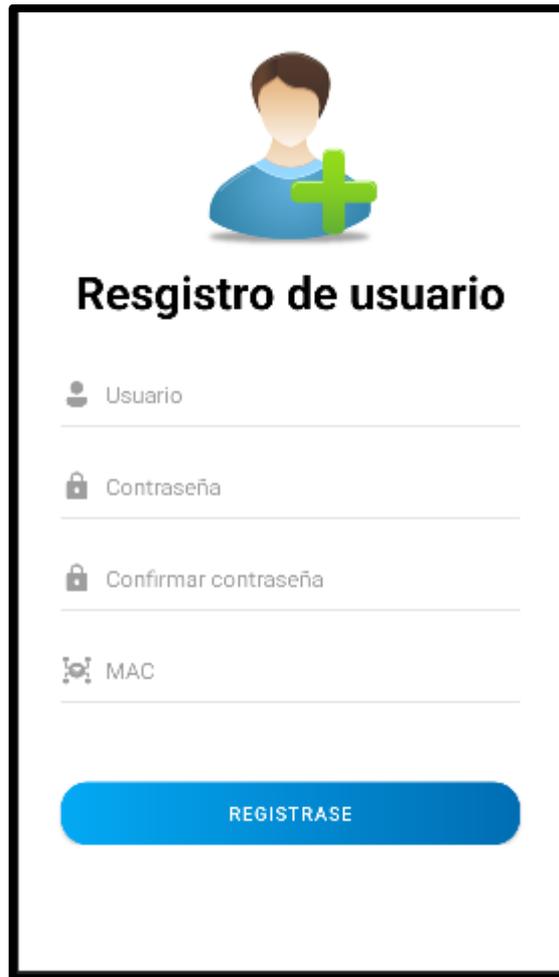


ELABORADO POR: LOS AUTORES

Tabla 10 Descripción de caso de uso para el registro de usuario

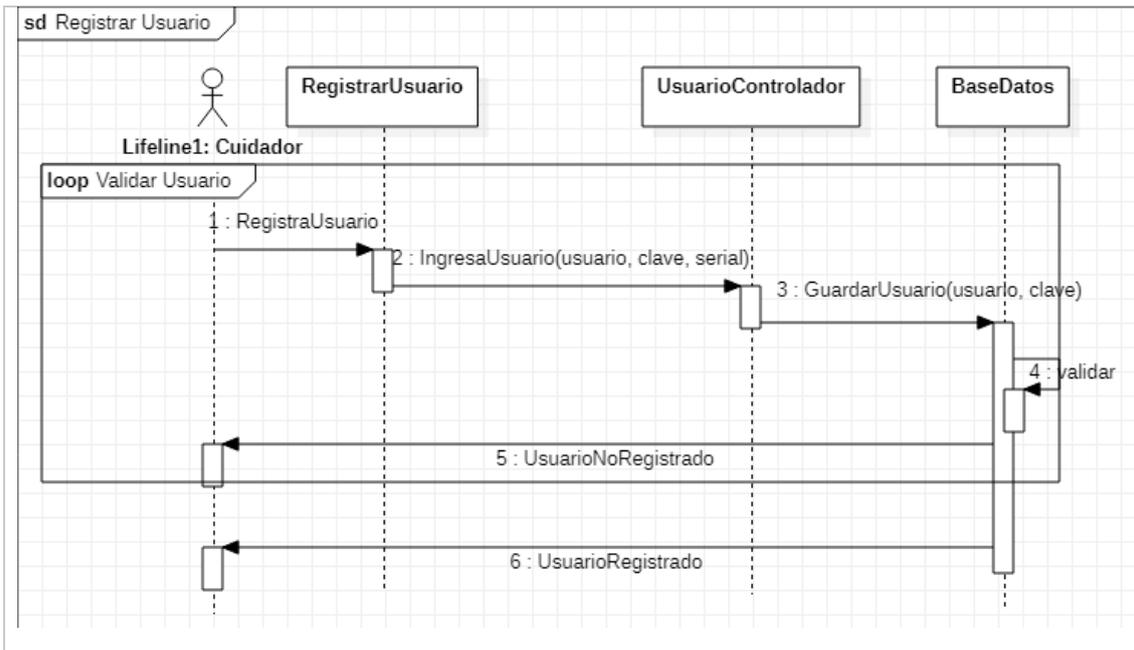
Caso de uso	Registrar usuario
Actor	Cuidador
Dependencias	
Resumen	El cuidador crea un usuario para acceder al menú principal.
Precondición	
Curso normal de eventos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
1. Este caso de uso empieza cuando el cuidador presiona la opción registrarse.	
	2. El sistema muestra el fragmento de registro de usuario.

<p>3. El cuidador ingresa el usuario, MAC del dispositivo, y la clave.</p>	
	<p>4. El sistema valida que el usuario sea único.</p>
	<p>5. El sistema crea la cuenta de usuario</p>
	<p>6. El sistema redirecciona a la pantalla de iniciar sesión.</p>
<p>7. El cuidador visualiza la pantalla de iniciar sesión.</p>	
<p>Cursos alternos</p>	
<p>Linea 4: si el usuario ingresado ya está registrado, el cuidador debe ingresar otro usuario.</p>	
<p>Post condición</p>	<p>El cuidador posee una cuenta de usuario.</p>



The image shows a user registration form titled "Registro de usuario". At the top, there is an icon of a person with a green plus sign. Below the title, there are four input fields: "Usuario" (with a person icon), "Contraseña" (with a lock icon), "Confirmar contraseña" (with a lock icon), and "MAC" (with a MAC address icon). A blue button labeled "REGISTRASE" is positioned at the bottom of the form.

Diagrama de secuencia



ELABORADO POR: LOS AUTORES

Tabla 11 Descripción de caso de uso para configurar mensaje

Caso de uso	Configurar mensaje
Actor	Cuidador
Dependencias	Iniciar sesión, movimientos activos, mensajes activos.
Resumen	Estando en el fragmento de configuraciones de movimientos, el cuidador seleccionará el movimiento y luego seleccionará el mensaje que desea asociar al mismo.
Tipo	Primario
Precondición	Debe haber mensajes registrados al igual que los movimientos.
Curso normal de eventos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
1. Este caso de uso inicia cuando el cuidador selecciona el movimiento	
2. El cuidador busca los mensajes.	
3. El cuidador selecciona los mensajes.	

	4. El sistema verifica si ya existe un mensaje programado con otros movimientos.
	5. El sistema guarda los datos seleccionados.
	6. El sistema confirma la acción.
7. El cuidador visualiza las configuraciones.	
Cursos alternos	
Línea 4: si el cuidador selecciona un mensaje que ya está asociado a otro movimiento, debe seleccionar otro mensaje.	
Post condición	El cuidador ya tiene programado un mensaje cuando la persona dependiente haga el movimiento seleccionado.
Diagrama de secuencia	

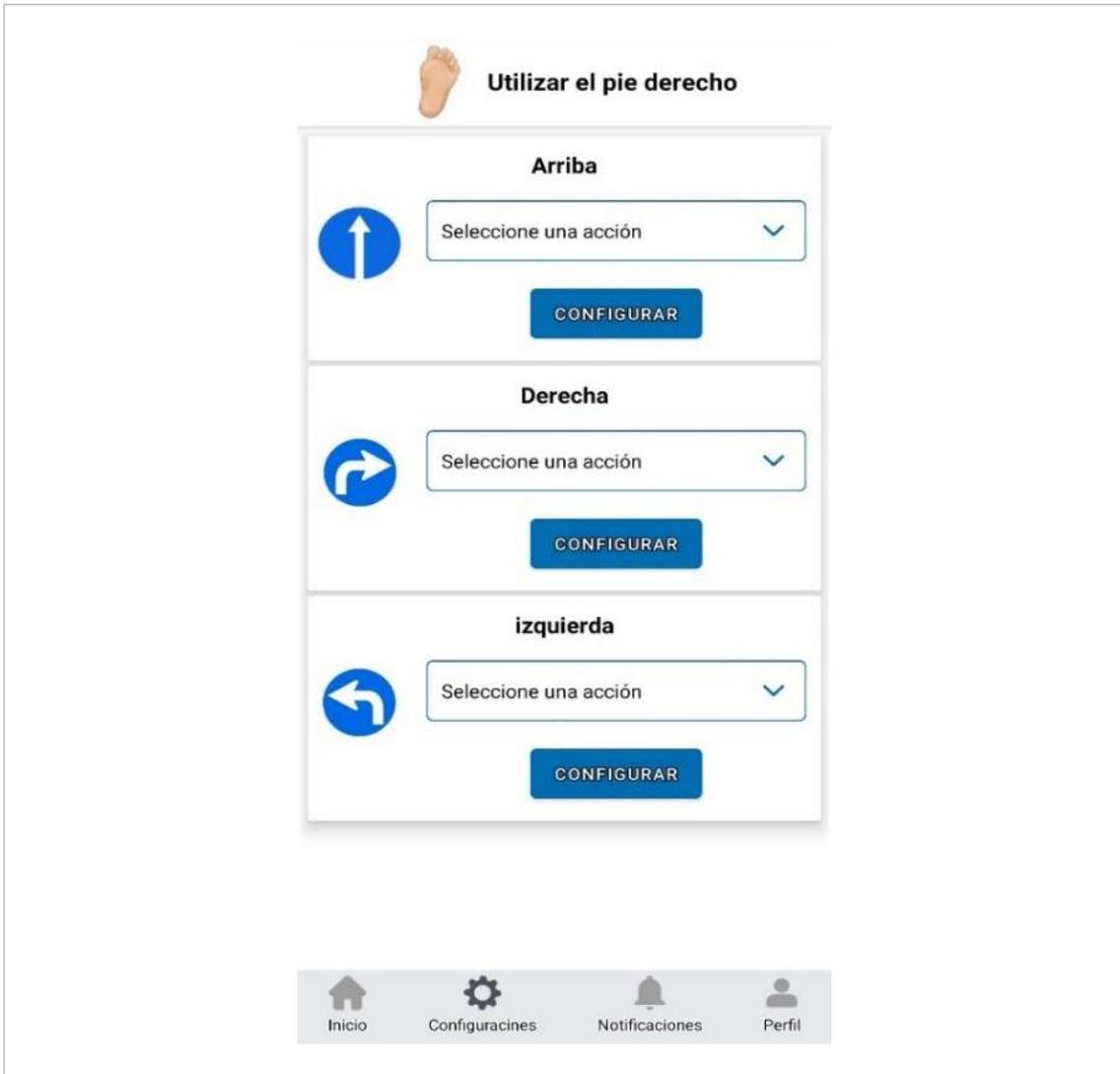
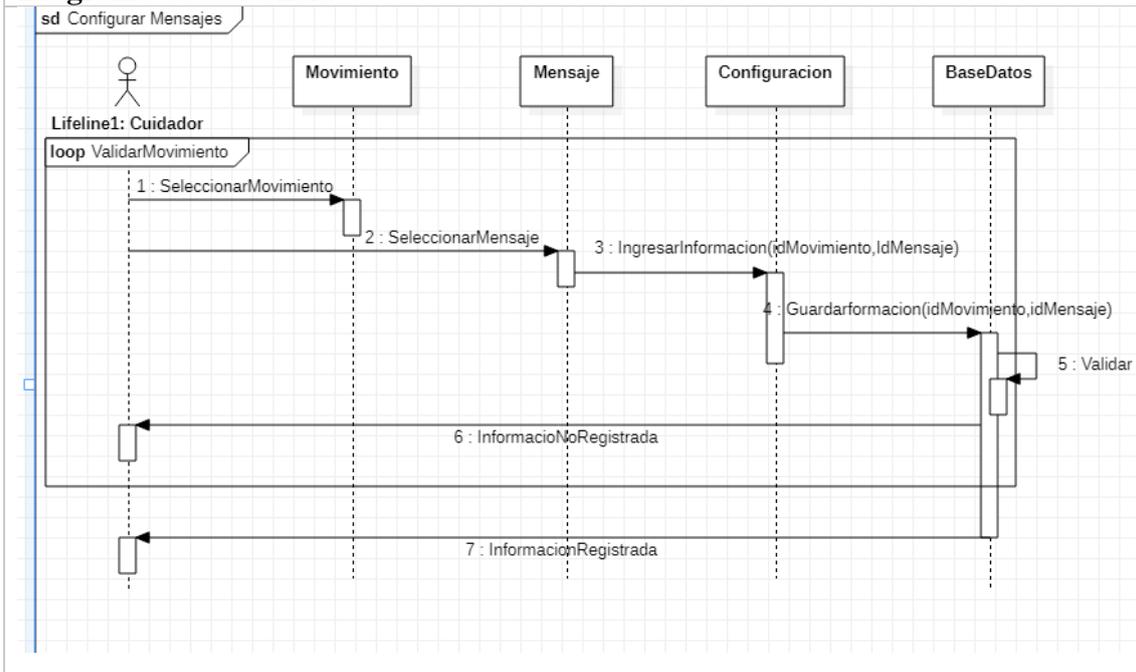


Diagrama de secuencia



ELABORADO POR: LOS AUTORES

Tabla 12 Descripción de caso de uso para inhabilitar configuración

Caso de uso	Inhabilitar mensaje
Actor	Cuidador
Dependencias	Iniciar sesión, configuraciones activas.
Resumen	El cuidador seleccionará el movimiento y el mensaje asociado al mismo, posteriormente presiona el botón eliminar.
Tipo	Primario
Precondición	Debe haber configuraciones registradas.
Curso normal de eventos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
1. Este caso de uso inicia cuando el cuidador selecciona el movimiento.	
2. El cuidador presiona en el botón eliminar.	
	3. El sistema verifica el mensaje asociado al movimiento.
	4. El sistema elimina la configuración.
	5. El sistema confirma la acción.
	6. El sistema visualiza las configuraciones activas.
7. El cuidador visualiza las configuraciones.	
Cursos alternos	
Ninguno	
Post condición	El cuidador inactiva la configuración cuando la persona dependiente haga el movimiento.

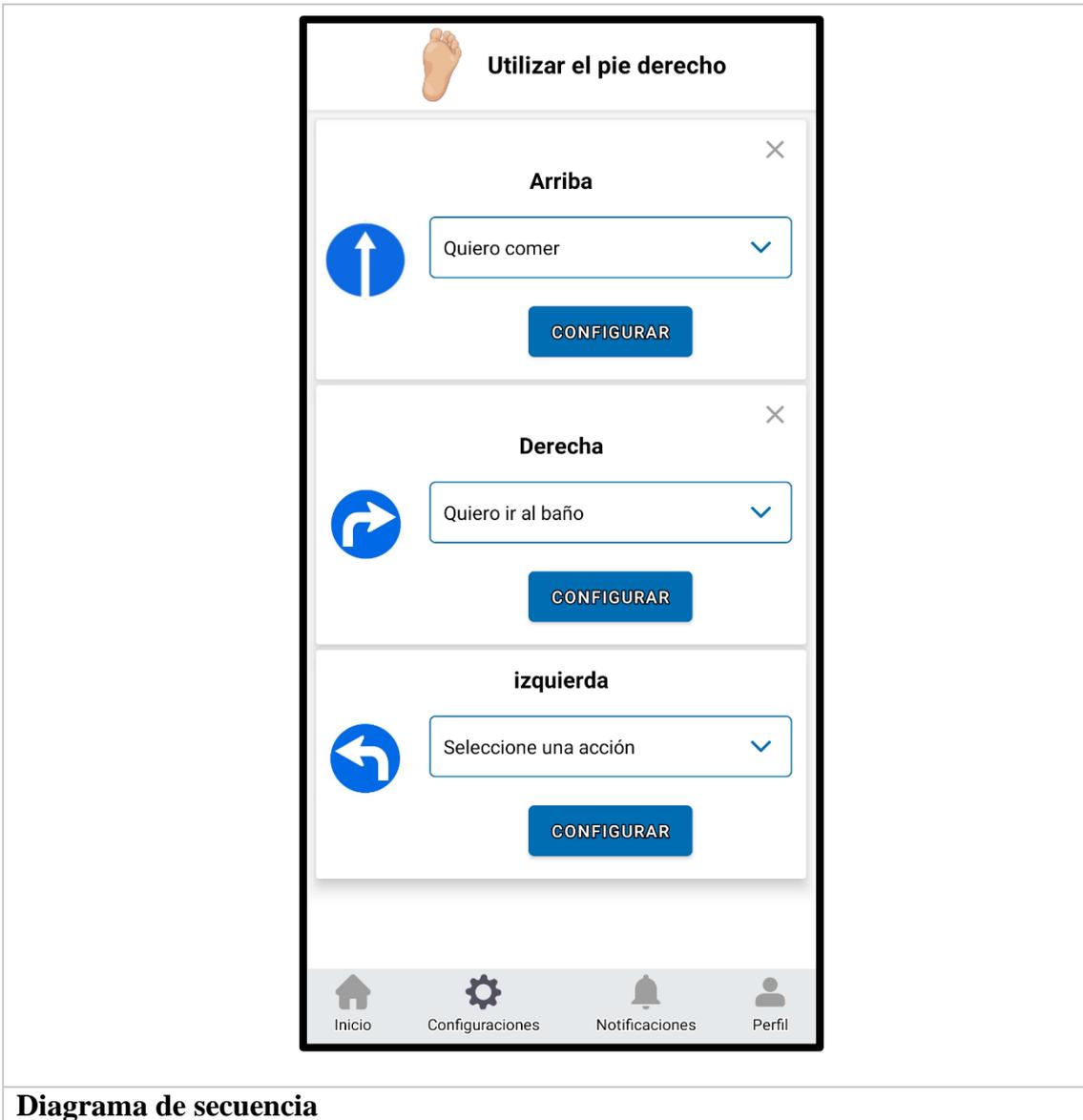
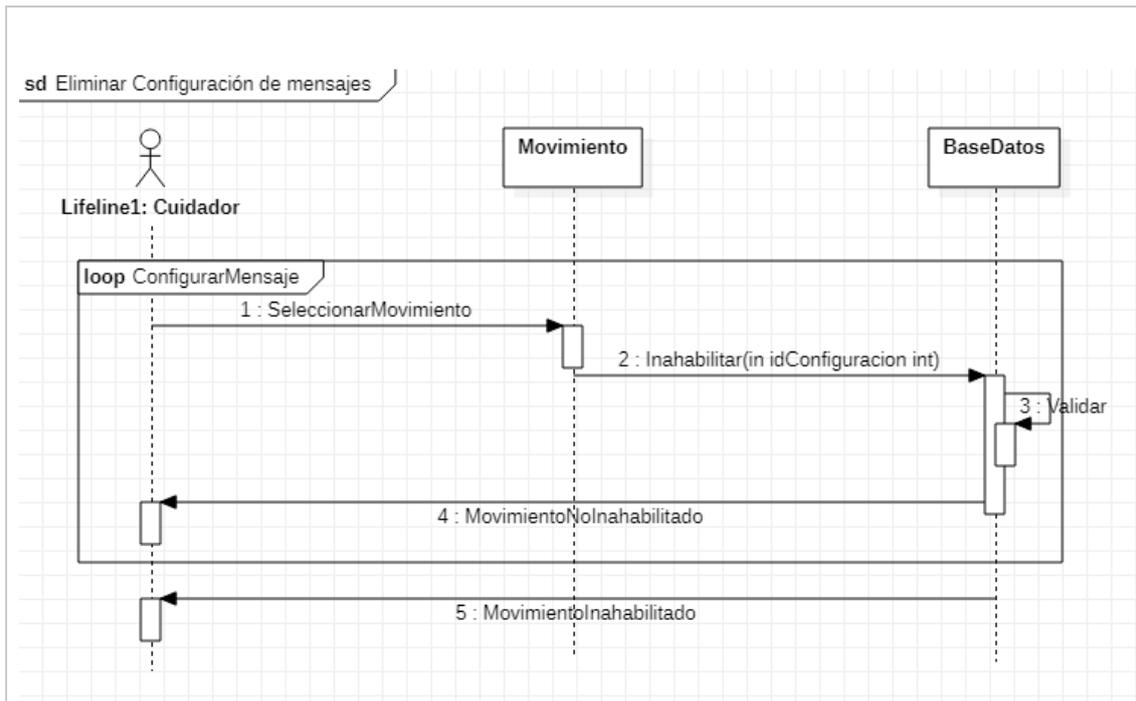


Diagrama de secuencia



ELABORADO POR: LOS AUTORES

Tabla 13 Descripción de caso para ver notificaciones

Caso de uso	Ver notificaciones
Actor	Cuidador
Dependencias	Iniciar sesión, configuraciones activas.
Resumen	En el teléfono celular el cuidador recibirá una notificación del mensaje asociado al movimiento realizado.
Tipo	Primario
Precondición	Debe haber configuraciones activas de movimientos y mensajes.
Curso normal de eventos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
1. Este caso de uso inicia cuando el cuidador recibe una notificación.	
2. El cuidador presiona la notificación.	
	3. El sistema abre la bandeja de notificaciones.
	4. El sistema muestra los detalles de la notificación.

5. El cuidador visualiza la notificación.

Cursos alternos

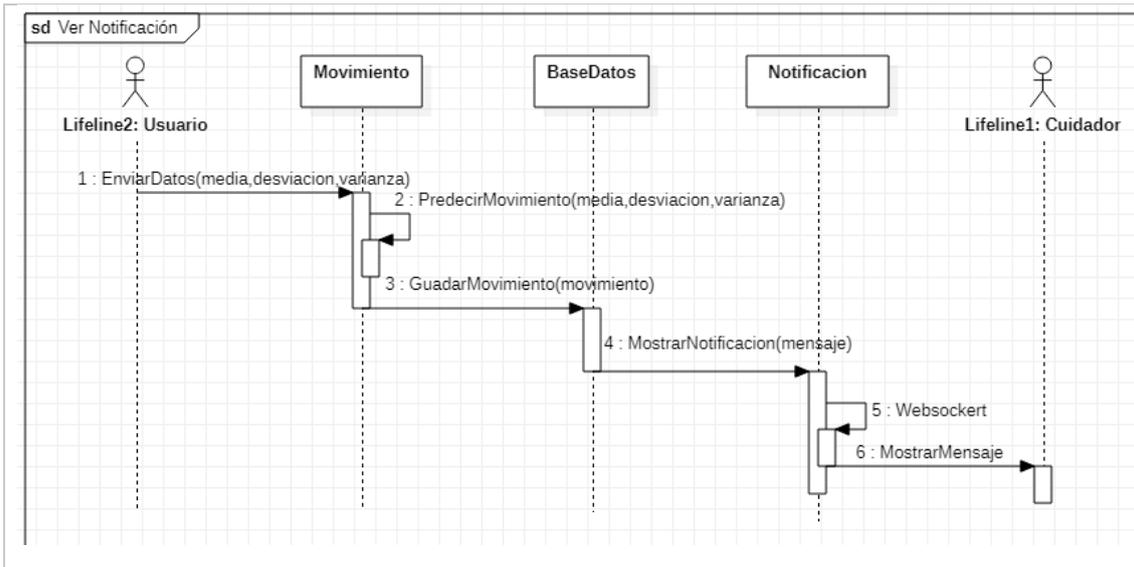
Ninguno

Post condición

El cuidador visualiza las notificaciones.



Diagrama de secuencia



ELABORADO POR: LOS AUTORES

Tabla 14 Descripción de caso de uso para cerrar sesión

Caso de uso	Cerrar sesión
Actor	Cuidador
Dependencias	Iniciar sesión
Resumen	El cuidador cierra la sesión de la aplicación móvil LESNotifications. El sistema limpia la sesión.
Precondición	El cuidador debe haber iniciado sesión.
Curso normal de eventos	
Acción del actor	Respuesta del sistema
1. Este caso de uso empieza cuando el cuidador abre la sección perfil.	
	2. El sistema muestra el fragmento con las credenciales del usuario.
3. El cuidador selecciona la opción de cerrar sesión.	
	4. El sistema limpia la sesión y envía al usuario al inicio de sesión.

5. El cuidador visualiza la pantalla de iniciar sesión.

Cursos alternos

No posee

Post condición

El cuidador regresa al módulo de inicio de sesión

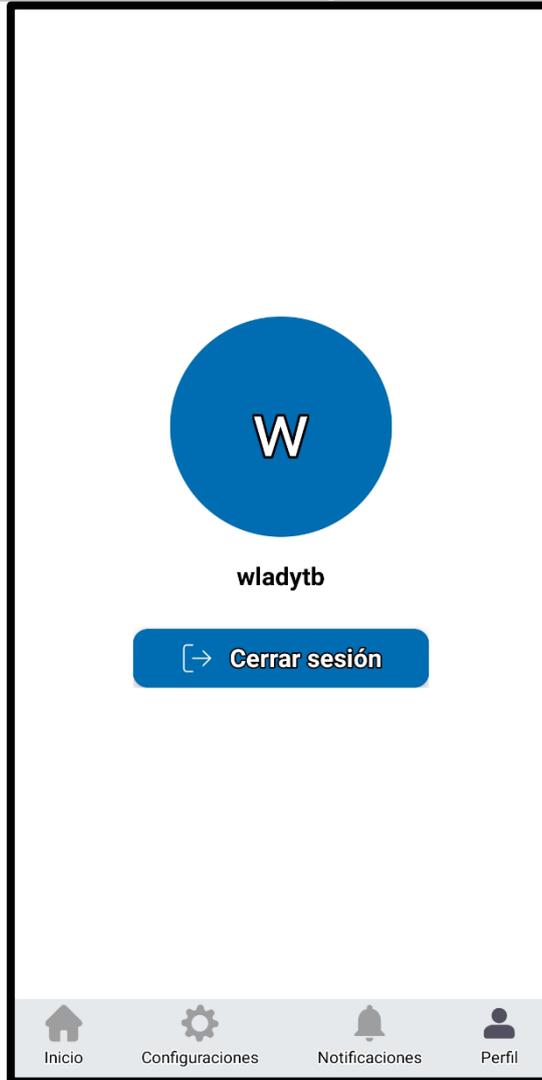
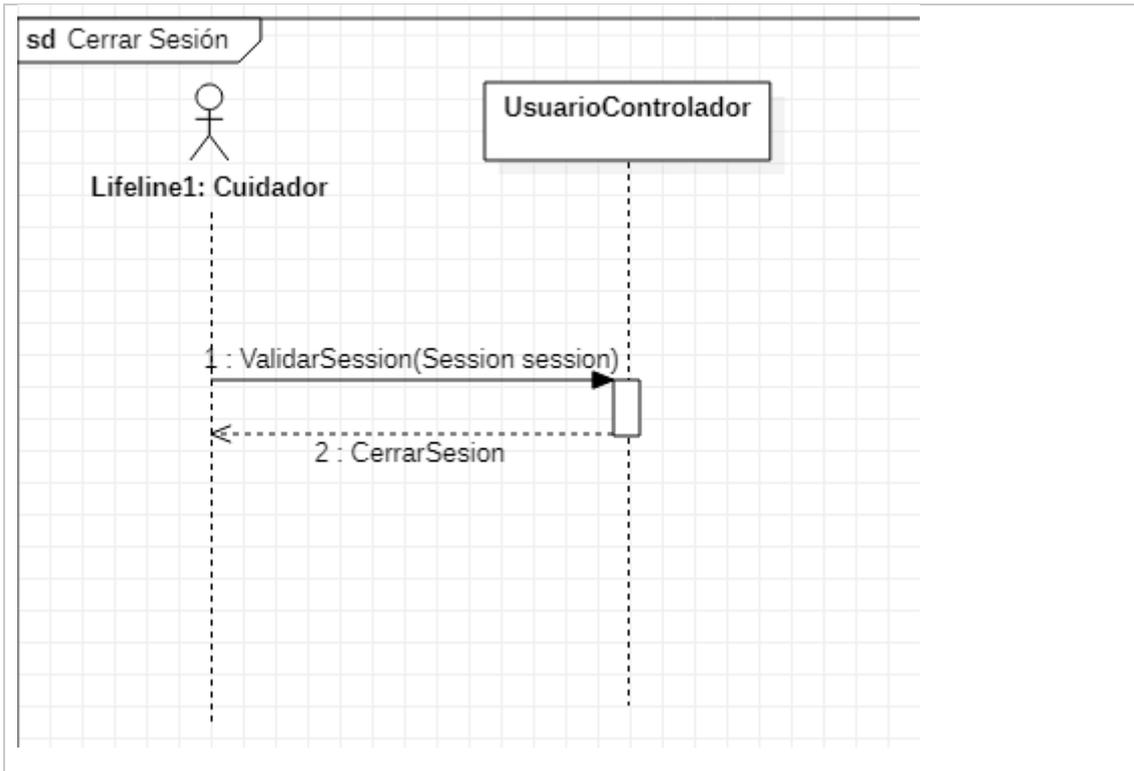


Diagrama de secuencia

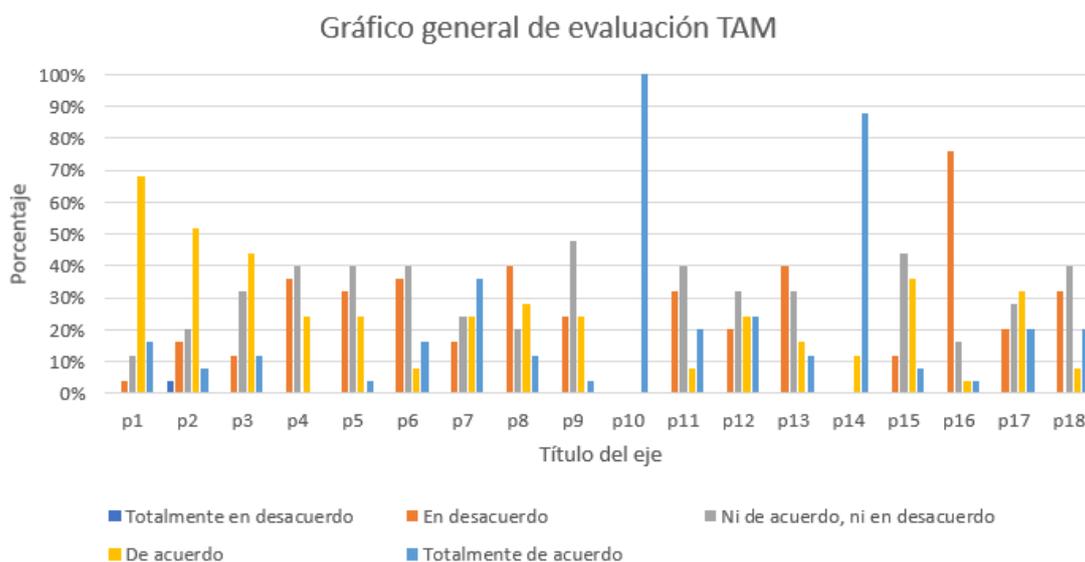


ELABORADO POR: LOS AUTORES

4.5. Estudio de usuarios

En la Ilustración 19 se muestran los resultados generales de la evaluación de aceptación del prototipo mediante un estudio de usuarios. En ella se representan las 18 preguntas evaluadas de acuerdo con las decisiones de los participantes sobre cómo y cuándo utilizarían el prototipo. Para una mejor interpretación de los resultados se agrupó las preguntas con base en la influencia de factores como la percepción de la utilidad, la percepción de la facilidad de uso, intención de comportamiento, entre otros.

Ilustración 19 Gráfico general de evaluación TAM



ELABORADO POR: LOS AUTORES

En cuanto a la facilidad de uso del prototipo, los participantes manifestaron lo siguiente: el 28 % está de acuerdo, el 27% está neutral (es decir, no están de acuerdo ni en desacuerdo), el 23% en desacuerdo y el 22% manifestó estar totalmente de acuerdo, estos resultados se obtuvieron en base a las preguntas indicadas en la Tabla 15.

Tabla 15 Facilidad de uso percibido

Cuestionario		
Factor	Indicador	Pregunta
Facilidad de uso percibido	P1	El uso del prototipo apoya mi proceso de comunicación con mi cuidador/familiar.
	P2	El prototipo es útil para mí, porque doy a conocer lo que necesito transmitir a mi cuidador/familiar.
	P3	Me es fácil mover el pie mientras uso el prototipo.
	P4	Mi interacción con el prototipo es fácil y cómoda.
	P5	El prototipo me resulta fácil de usar.
	P6	Pienso que necesitaré ayuda para utilizar el prototipo

P7	Tengo control sobre el uso del prototipo.
P8	El uso del prototipo me resulta agradable.
P10	Me es fácil mover el pie mientras uso el prototipo
P12	La interacción con el prototipo no requiere mover mucho el pie para que cumpla su función
P13	Me resulta cómodo hacer los movimientos que requiere el prototipo para su funcionamiento

ELABORADO POR: LOS AUTORES

En cuanto a la intención de uso del prototipo el 42% no está de acuerdo ni en desacuerdo, mientras que el 22% si está de acuerdo en usarlo, el 14% está totalmente de acuerdo y el 21% está en desacuerdo, los resultados obtenidos corresponden a las preguntas que se presentan en la Tabla 16.

Tabla 16 Intención de comportamiento

Cuestionario

Factor	Indicador	Pregunta
Intención de comportamiento	P15	Aunque puede ser útil, el uso del prototipo no es totalmente apropiado para mí
	P18	suponiendo que tuviera el prototipo a mi disposición, tengo la intención de utilizarlo

ELABORADO POR: LOS AUTORES

En cuanto a la demostración de resultados, los participantes manifestaron lo siguiente: el 32% está de acuerdo, el 28% está neutral, mientras que el 20% se mantuvo en totalmente de acuerdo y en desacuerdo con los resultados.

Tabla 17 Demostración de Resultados

Cuestionario

Factor	Indicador	Pregunta
Demostración de Resultados	P17	Considero, en cuanto a exactitud, que los resultados del prototipo son buenos.

ELABORADO POR: LOS AUTORES

Respecto a la voluntariedad de uso del prototipo, los participantes mantuvieron la siguiente postura: el 37% dicen estar totalmente de acuerdo, el 29% no está de acuerdo ni en desacuerdo, el 19% está en desacuerdo y el 15% está de acuerdo. Esto corresponde a las preguntas que se muestran en la tabla 18.

Tabla 18 Voluntariedad

Cuestionario

Factor	Indicador	Pregunta
Voluntariedad	P9	Mi uso del prototipo es voluntario.
	P11	Estaría dispuesto a utilizar el prototipo.
	P14	Mi familiar/cuidador no me exige que utilice el prototipo.

Por último, los participantes mostraron su punto de vista en cuanto a la relevancia laboral que posee el prototipo: el 76% en desacuerdo, el 16% ni de acuerdo ni en desacuerdo, y 4% está totalmente de acuerdo y de acuerdo.

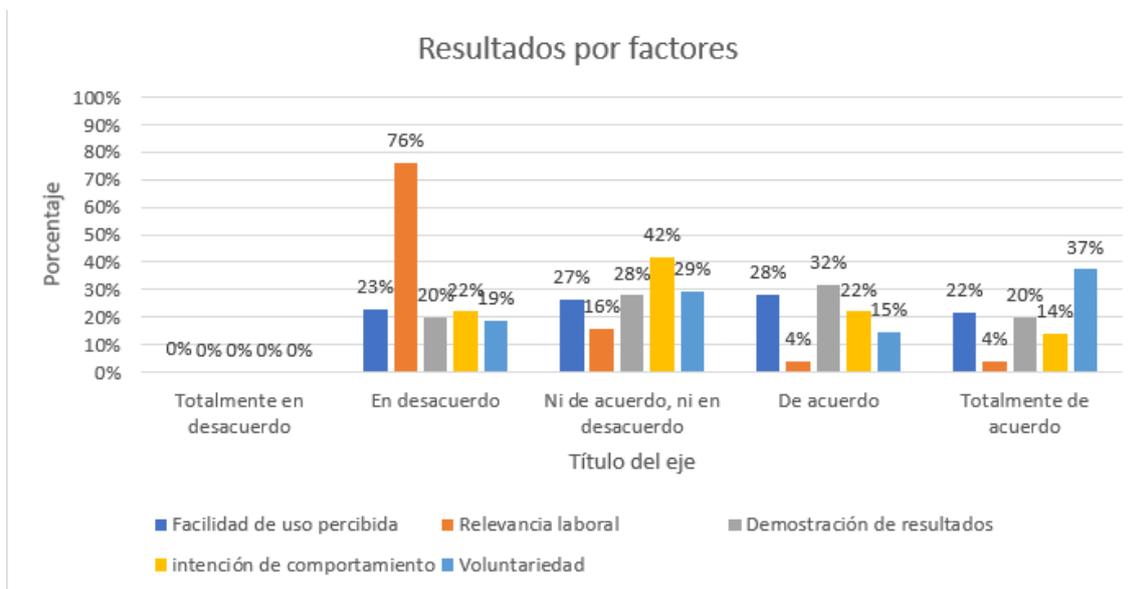
Tabla 19 Relevancia laboral

Cuestionario		
Factor	Indicador	Pregunta
Relevancia laboral	P16	El uso del prototipo es pertinente para mis diversas necesidades

ELABORADO POR: LOS AUTORES

Los resultados descritos anteriormente se pueden evidenciar en la Ilustración 20, en la cual se realizó una clasificación por los factores ya mencionados. Cabe mencionar que ninguno de los participantes manifestó estar totalmente en desacuerdo con las preguntas.

Ilustración 20 Gráfico agrupado por factores TAM



ELABORADO POR: LOS AUTORES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La construcción del prototipo *Lower Extremities Sensor* permite apoyar la comunicación no verbal utilizando las extremidades inferiores como medio de comunicación para personas con o sin discapacidad. Se busca que las personas puedan dar a conocer sus necesidades utilizando este prototipo vinculado a un dispositivo móvil. La aplicación móvil permite al cuidador, programar uno o varios movimientos con sus respectivos mensajes. Cuando el usuario realice un movimiento, el modelo se encarga de analizar e interpretar dichos valores para posteriormente enviar al dispositivo móvil la respectiva notificación.

La selección de componentes, basada en revisiones técnicas y de artículos científicos, permitió explorar nuevas áreas de tecnologías y obtener una lista de los componentes que más se acercaban a las necesidades del proyecto. Esta lista permitió analizar cada uno de los componentes y verificar si cumplían con todas las condiciones necesarias para el funcionamiento. Como resultado se obtuvo que el sensor Esp8266 MCU permite realizar la comunicación con el sensor muscular. Los datos obtenidos por medio de los sensores se envían al Back-End en formato JSON utilizando el protocolo HTTP. El sensor muscular v3 tiene como funcionalidad, obtener las señales eléctricas de los músculos y permite aumentar o disminuir la intensidad de la frecuencia de las señales. Por ello, estos dos componentes cumplen con todos los requerimientos para el proyecto.

Para la recolección de los datos se llevó a cabo un estudio de usuarios en donde se contó con la colaboración de 24 participantes. Cada participante realizaba los movimientos y luego los puntuaba con base en la dificultad. Este estudio de usuario permitió identificar los movimientos que son menos difíciles para el usuario. Como resultado se obtuvieron

que los gestos o movimientos apropiados son arriba y a la izquierda. Esta etapa fue el pilar fundamental para obtener un conjunto de datos, con el cual se entrenó el modelo.

Durante la investigación de trabajos relacionados al tema de este proyecto, se observó que en varios artículos científicos utilizaban distintos modelos IA. Por lo tanto, se tomó como referencia aquellos modelos (Máquinas de Soporte Vectorial, redes neuronales, árboles de decisión) que se utilizan para trabajar con señales EMG. Se entrenó los tres modelos con el conjunto de datos resultante del estudio de usuarios. Luego se analizó los tres modelos para determinar el adecuado para este proyecto. La red neuronal tuvo un 50% de precisión, árboles de decisión un 90% y el SVM un 60%. Por lo tanto, se eligió el modelo de árboles de decisión ya que tuvo un porcentaje mayor en cuanto a la precisión.

Con todos los preliminares, se construyó un prototipo que cumple con las expectativas del usuario final, permitiendo integrar los componentes seleccionados en la etapa de análisis. Este prototipo permite una comunicación no verbal utilizando cualquier dispositivo móvil, el cual recibe mediante notificaciones el mensaje que desea transmitir la persona dependiente con base en el movimiento realizado.

Como punto final se realizó una prueba de aceptación, esto permitió evaluar el prototipo en varias formas posibles. Este estudio dio como resultado que la facilidad de uso percibido tiene un 50% de aceptación. En cuanto a la demostración de resultados, el 52% está conforme, eso quiere decir, que los mensajes que enviaron a través del prototipo al dispositivo móvil fueron acorde al movimiento realizado. En resumen, el prototipo tiene un nivel de aceptación considerable, aspirando en un futuro mejorar la apariencia y el funcionamiento del prototipo para cubrir completamente las necesidades de las personas dependientes.

5.2. Recomendaciones

Tomado en consideración a las conclusiones, se recomienda lo siguiente:

- Considerar ampliar el área de investigación de artículos para obtener información de nuevos componentes que se pueden presentar a futuro, ya que el prototipo está diseñado para integrar más componentes que tengan mejores características o funcionalidades.
- Se puede considerar implementar una combinación de técnicas o métodos de aprendizaje supervisados para obtener un alto rendimiento predictivo, con la finalidad de implementar nuevas funcionalidades que se adapten a las necesidades de diversos usuarios.
- Realizar una combinación de los datos ya registrados con nuevos conjuntos de datos de personas que presentan algún tipo de discapacidad motora, con la finalidad de ampliar o considerar nuevos escenarios.
- Se recomendaría para un futuro, integrar una cámara de vigilancia con micrófono vinculado al prototipo, en la cual el cuidador tenga el control desde el dispositivo móvil y pueda observar y hablar con el usuario.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Giaccardi, "Things making things: Designing the internet of reinvented things", *IEEE Pervasive Comput*, ISSN: 15582590, vol. 17, no. 3, pp. 70–72, Jul. 2018, DOI: 10.1109/MPRV.2018.03367737.
- [2] S. Madakam, R. Ramaswamy, S. Tripathi, S. Madakam, R. Ramaswamy, and S. Tripathi, "Internet of Things (IoT): A Literature Review", *Journal of Computer and Communications*, ISSN: 2327-5219, vol. 3, no. 5, pp. 164–173, May 2015, DOI: 10.4236/JCC.2015.35021.
- [3] N. Misran, M. S. Islam, G. K. Beng, N. Amin, and M. T. Islam, "IoT Based Health Monitoring System with LoRa Communication Technology", *Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering and Informatics*, ISSN: 21556830, vol. 2019-July, pp. 514–517, Jul. 2019, DOI: 10.1109/ICEEI47359.2019.8988869.
- [4] S. Phuphatana, S. Chompoobutr, and N. Thatphithakkul, "Thai Minspeak® System for Long-Distance Facilitating Communications Involving People with Communication Disabilities", *IEECON 2018 - 6th International Electrical Engineering Congress*, Jul. 2018, DOI: 10.1109/IEECON.2018.8712211.
- [5] C. García Egea and A. Sánchez Sarabia, "Clasificaciones de la OMS sobre discapacidad", Murcia, Nov. 2001. Accessed: Jul. 20, 2022. [Online].
- [6] T. Kawase and M. Iwaki, "Emotional communication assist interface app for people with dysarthria", *2020 IEEE 9th Global Conference on Consumer Electronics, GCCE 2020*, pp. 568–571, Oct. 2020, DOI: 10.1109/GCCE50665.2020.9291830.
- [7] B. Millán Bustamante, J. Hernández Cristóbal, M. Alavena Brou, P. García Gálvez, R. C. Vaduva, and A. Yusta Izquierdo, "Enfermedades no degenerativas de la médula espinal", *Medicine - Programa de Formación Médica Continuada Acreditado*, ISSN:

0304-5412, vol. 10, no. 77, pp. 5209–5219, Apr. 2011, DOI: 10.1016/S0304-5412(11)70080-4.

- [8] C. Serrano Martín and S. Santos del Riego, "Comunicación vocal y no vocal en la parálisis cerebral infantil", *Rehabilitacion (Madr)*, ISSN: 0048-7120, vol. 35, no. 2, pp. 114–120, Jan. 2001, DOI: 10.1016/S0048-7120(01)73150-7.
- [9] S. S. A. Shimon, C. Lutton, Z. Xu, S. Morrison-Smith, C. Boucher, and J. Ruiz, "Exploring non-touchscreen gestures for smartwatches", *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, pp. 3822–3833, May 2016, DOI: 10.1145/2858036.2858385.
- [10] M. P. Wilk, J. Torres-Sanchez, S. Tedesco, and B. O’Flynn, "Wearable Human Computer Interface for Control Within Immersive VAMR Gaming Environments Using Data Glove and Hand Gestures", *2018 IEEE Games, Entertainment, Media Conference, GEM 2018*, pp. 213–219, Oct. 2018, DOI: 10.1109/GEM.2018.8516521.
- [11] R. D. Vatavu and O. C. Ungurean, "Understanding Gesture Input Articulation with Upper-Body Wearables for Users with Upper-Body Motor Impairments", *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, Apr. 2022, DOI: 10.1145/3491102.3501964.
- [12] E. Velloso, D. Schmidt, J. Alexander, H. Gellersen, and A. Bulling, "The Feet in Human--Computer Interaction", *ACM Computing Surveys (CSUR)*, ISSN: 15577341, vol. 48, no. 2, Sep. 2015, DOI: 10.1145/2816455.
- [13] X. Hu, J. Wang, W. Gao, C. Yu, and Y. Shi, "FootUI: Assisting People with Upper Body Motor Impairments to Use Smartphones with Foot Gestures on the Bed", *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, May 2021, DOI: 10.1145/3411763.3451782.

- [14] S. Rawat, S. Vats, and P. Kumar, "Evaluating and exploring the MYO ARMBAND", *Proceedings of the 5th International Conference on System Modeling and Advancement in Research Trends, SMART 2016*, pp. 115–120, Apr. 2017, DOI: 10.1109/SYSMART.2016.7894501.
- [15] R. Yu, X. Zhang, and M. Zhang, "Smart Home Security Analysis System Based on the Internet of Things", *2021 IEEE 2nd International Conference on Big Data, Artificial Intelligence and Internet of Things Engineering, ICBAIE 2021*, pp. 596–599, Mar. 2021, DOI: 10.1109/ICBAIE52039.2021.9389849.
- [16] X. J. Yi, M. Zhou, and J. Liu, "Design of smart home control system by Internet of Things based on ZigBee", *Proceedings of the 2016 IEEE 11th Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2016*, pp. 128–133, Oct. 2016, DOI: 10.1109/ICIEA.2016.7603564.
- [17] P. J. Rani, J. Bakthakumar, B. P. Kumaar, U. P. Kumaar, and S. Kumar, "Voice controlled home automation system using natural language processing (NLP) and internet of things (IoT)", *ICONSTEM 2017 - Proceedings: 3rd IEEE International Conference on Science Technology, Engineering and Management*, vol. 2018-January, pp. 368–373, Jun. 2017, DOI: 10.1109/ICONSTEM.2017.8261311.
- [18] S. Soumya, M. Chavali, S. Gupta, and N. Rao, "Internet of things based home automation system", *2016 IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information and Communication Technology, RTEICT 2016 - Proceedings*, pp. 848–850, Jan. 2017, DOI: 10.1109/RTEICT.2016.7807947.
- [19] L. Gila, A. Malanda, I. Carreño, J. Falces, and J. Navallas, "Electromyographic signal processing and analysis methods", *An Sist Sanit Navar*, ISSN: 2340-3527, vol. 32 Suppl 3, no. 0, Jan. 2009, DOI: 10.23938/ASSN.0151.

- [20] D. A. Reyes Lopez, M. A. López, J. E. Duarte Sánchez, and H. Loaiza Correa, "IMPLEMENTACIÓN EN FPGA DE UN CLASIFICADOR DE MOVIMIENTOS DE LA MANO USANDO SEÑALES EMG", *Redes de Ingeniería*, vol. 6, no. 1, p. 85, Sep. 2015, DOI: 10.14483/UDISTRITAL.JOUR.REDES.2015.1.A06.
- [21] R. Gupta, T. Goel, and V. Bhardwaj, "Hand activity detection from electromyogram using instantaneous frequency", *2017 4th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks, SPIN 2017*, pp. 613–617, Sep. 2017, DOI: 10.1109/SPIN.2017.8050022.
- [22] M. Nguyen, T. N. Gia, and T. Westerlund, "EMG-based IoT System using Hand Gestures for Remote Control Applications", *7th IEEE World Forum on Internet of Things, WF-IoT 2021*, pp. 911–912, Jun. 2021, DOI: 10.1109/WF-IOT51360.2021.9595957.
- [23] S. F. Ahmed *et al.*, "Mobility assistance robot for disabled persons using electromyography(EMG) sensor", *2018 IEEE International Conference on Innovative Research and Development, ICIRD 2018*, pp. 1–5, Jun. 2018, DOI: 10.1109/ICIRD.2018.8376304.
- [24] R. G. Bozomitu, C. Barabaşa, V. Cehan, and R. G. Lupu, "The hardware component of the technology used to communicate with people with major neuro-locomotor disability using ocular electromyogram", *2011 IEEE 17th International Symposium for Design and Technology of Electronics Packages, SIITME 2011 - Conference Proceedings*, pp. 193–196, 2011, DOI: 10.1109/SIITME.2011.6102716.
- [25] X. Hu, J. Wang, W. Gao, C. Yu, and Y. Shi, "FootUI: Assisting People with Upper Body Motor Impairments to Use Smartphones with Foot Gestures on the Bed",

Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings, May 2021, DOI: 10.1145/3411763.3451782.

- [26] D. Valkov, F. Steinicke, ... G. B.-P. of virtual, and undefined 2010, "Traveling in 3d virtual environments with foot gestures and a multi-touch enabled wim", *sreal.ucf.edu*, Accessed: Sep. 22, 2022. [Online]. Available: <https://sreal.ucf.edu/wp-content/uploads/2017/02/VSBH10.pdf>.
- [27] D. Pedrosa and M. da Graça C. Pimentel, "Text entry using a foot for severely motor-impaired individuals", *Proceedings of the ACM Symposium on Applied Computing*, pp. 957–963, 2014, DOI: 10.1145/2554850.2554948.
- [28] G. Busby and D. Whitehouse, "Technology and society: How information and communication technologies can enhance the lives of persons with a disability", *International Symposium on Technology and Society*, pp. 235–243, 2017, DOI: 10.1109/ISTAS.1997.658900.
- [29] E. D. N. Ndihi and S. Cherkaoui, "On Enhancing Technology Coexistence in the IoT Era: ZigBee and 802.11 Case", *IEEE Access*, ISSN: 21693536, vol. 4, pp. 1835–1844, 2016, DOI: 10.1109/ACCESS.2016.2553150.
- [30] S. V. N. Vishwanathan and M. N. Murty, "SSVM: A simple SVM algorithm", *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*, vol. 3, pp. 2393–2398, 2002, DOI: 10.1109/IJCNN.2002.1007516.
- [31] T. H. preprint arXiv:1610.05267 and undefined 2016, "Rule extraction algorithm for deep neural networks: A review", *arxiv.org*, Accessed: Sep. 12, 2022. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1610.05267>.

- [32] K. M. R. Alam, N. Siddique, and H. Adeli, "A dynamic ensemble learning algorithm for neural networks", *Neural Comput Appl*, ISSN: 14333058, vol. 32, no. 12, pp. 8675–8690, Jun. 2020, DOI: 10.1007/S00521-019-04359-7.
- [33] G. Tsenov, A. H. Zeghibib, F. Palis, N. Shoylev, and V. Mladenov, "Neural networks for online classification of hand and finger movements using surface EMG signals", *8th Seminar on Neural Network Applications in Electrical Engineering, Neurel-2006 Proceedings*, pp. 167–171, 2006, DOI: 10.1109/NEUREL.2006.341203.
- [34] Y. Freund, L. M.- icml, and undefined 1999, "The alternating decision tree learning algorithm", *Citeseer*, Accessed: Sep. 12, 2022. [Online]. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.116.2945&rep=rep1&type=pdf>.
- [35] C. W. Olanow, R. L. Watts, and W. C. Koller, "An algorithm (decision tree) for the management of Parkinsons disease (2001):", *Neurology*, ISSN: 0028-3878, vol. 56, no. suppl 5, pp. S1–S88, 2001, DOI: 10.1212/WNL.56.suppl_5.S1.
- [36] E. Yaman, M. YAMAN, A. Subasi, and F. Rattay, "EMG SIGNAL CLASSIFICATION USING DECISION TREES AND NEURAL NETWORKS", *International Journal of Arts & Sciences*, vol. 4, pp. 285–292, Oct. 2011.
- [37] Y. Felberbaum and J. Lanir, "Better understanding of foot gestures: An elicitation study", *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, vol. 2018-April, Apr. 2018, DOI: 10.1145/3173574.3173908.
- [38] D. Valkov, "Traveling in 3D Virtual Environments with Foot Gestures and a Multi-Touch enabled WIM", *CiteSeer*, vol. 1, pp. 1–3, 2012, Accessed: Jul. 23, 2022. [Online]. Available: <http://130.203.136.95/viewdoc/summary?doi=10.1.1.187.7223>.

- [39] J. Schöning and A. Krüger, "Multi-modal Navigation through Spatial Information", Germany, 2010.
- [40] R. D. Vatavu and O. C. Ungurean, "Understanding Gesture Input Articulation with Upper-Body Wearables for Users with Upper-Body Motor Impairments", *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, Apr. 2022, DOI: 10.1145/3491102.3501964.
- [41] L. Wallace, S. S.-I. y gestión, and undefined 2014, "La adopción de medidas de software: una perspectiva del modelo de aceptación de tecnología (TAM)", *Elsevier*, Accessed: Sep. 22, 2022. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378720614000032>.
- [42] G. Guerrero-Ulloa, M. J. Hornos, and C. Rodríguez-Domínguez, "TDDM4IoTS: A Test-Driven Development Methodology for Internet of Things (IoT)-Based Systems", *Communications in Computer and Information Science*, ISSN: 18650937, vol. 1193 CCIS, pp. 41–55, 2020, DOI: 10.1007/978-3-030-42517-3_4.
- [43] "Sistema de clasificación SVM de señales electromiográficas extraídas en un sistema embebido - PDF Descargar libre". <https://docplayer.es/167627025-Sistema-de-clasificacion-svm-de-senales-electromiograficas-extraidas-en-un-sistema-embebido.html> (accessed Sep. 07, 2022).
- [44] M.-F. Martín, S.-E. María, R.-G. César, and O.-S. Jorge, "Detección de la intención de movimiento a partir de señales electromiográficas utilizando redes neuronales", *Artículo Revista de Ingeniería Eléctrica Septiembre*, vol. 1, no. 2, pp. 52–59, 2017, Accessed: Sep. 15, 2022. [Online]. Available: www.ecorfan.org/republicofperu.

CAPITULO VII

ANEXOS

7.1. Anexo 1: Preguntas para seleccionar los movimientos adecuados



Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Ingeniería en Sistemas



¿Cuáles son los mensajes, ideas, pedidos, etc. más comunes que usualmente transmite a otras personas?

¿Cómo los transmitiría si no pudiera comunicarse en la forma habitual (mediante el habla)?

¿Qué haría si únicamente pudiera usar los pies; ¿es decir, no poder hablar, no poder usar las manos o los brazos?

Asocie un mensaje con cada uno de los gestos que podría realizar solo con el pie; Además en escala de 1 a 7 escriba el nivel de dificultad que representaría el gesto para usted. Esto es dificultad - gesto - mensaje

Dificultad

Gesto

Mensaje

Dificultad	Gesto	Mensaje
<hr/>	<hr/>	<hr/>

7.2. Anexo 2: Consentimiento informado para recolección de datos

Consentimiento informado

Estimado participante:

El objetivo de este documento es entregar la información necesaria para que usted pueda decidir si participa o no en la investigación sobre “Análisis del uso del Internet de las Cosas y EMG para la comunicación de personas con las extremidades inferiores”, realizada bajo la dirección del docente Ing. Orlando Erazo Moreta, PhD.

La participación consiste únicamente en que la persona mediante su consentimiento nos permita realizar varias pruebas con el dispositivo, utilizando una de sus extremidades inferiores. El tiempo que requiere la participación es de aproximadamente 25 minutos. Estas actividades se llevarán a cabo en el domicilio de cada persona.

La información obtenida a través de este estudio será mantenida bajo estricta confidencialidad y sus nombres no serán utilizados. Usted tiene el derecho de retirar el consentimiento para la participación en cualquier momento. El estudio no conlleva ningún riesgo para usted, y tampoco recibirá ningún beneficio. Si tiene alguna pregunta sobre esta investigación se puede comunicar al email oerazo@uteq.edu.ec.

Romero Castro Victor
Alumno

Tocta Bonilla Tyrone
Alumno

Ing. Orlando Erazo M, PhD.
Docente

Después de haber leído el procedimiento descrito arriba, de que los investigadores han explicado el procedimiento y habiendo contestado las preguntas, el participante (abajo firmante), voluntariamente da su consentimiento para colaborar en el presente estudio.

Participante: _____ f. _____

Fecha: _____

7.3. Anexo 3: Consentimiento informado para evaluar el prototipo

Consentimiento informado

Estimado participante:

El objetivo de este documento es entregar la información necesaria para que usted pueda decidir si participa o no en la investigación sobre “Análisis del uso del Internet de las Cosas y EMG para la comunicación de personas con las extremidades inferiores”, realizada bajo la dirección del docente Ing. Orlando Erazo Moreta, PhD.

La participación consiste únicamente en que la persona mediante su consentimiento nos permita realizar pruebas de aceptación del prototipo. Para el efecto, primero el participante usa el prototipo y luego evalúa el mismo de manera general mediante varias preguntas bajo la metodología *Technology Acceptance Model* (TAM), que tiene como propósito de verificar qué tan aceptable es el prototipo para el usuario final. El tiempo que requiere la participación es de aproximadamente 25 minutos. Estas actividades se llevarán a cabo en el domicilio de cada persona.

La información obtenida a través de este estudio será mantenida bajo estricta confidencialidad y sus nombres no serán utilizados. Usted tiene el derecho de retirar el consentimiento para la participación en cualquier momento. El estudio no conlleva ningún riesgo para usted, y tampoco recibirá ningún beneficio. Si tiene alguna pregunta sobre esta investigación se puede comunicar al email oerazo@uteq.edu.ec.

Romero Castro Victor
Alumno

Tocta Bonilla Tyrone
Alumno

Ing. Orlando Erazo M, PhD.
Docente

Después de haber leído el procedimiento descrito arriba, de que los investigadores han explicado el procedimiento y habiendo contestado las preguntas, el participante (abajo firmante), voluntariamente da su consentimiento para colaborar en el presente estudio.

Participante: _____ f. _____

Fecha: _____

7.4. Anexo 4: preguntas para evaluar el prototipo

Preguntas	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Ni de acuerdo, ni en desacuerdo	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
El uso del prototipo apoya mi proceso de comunicación con mi cuidador/familiar.					
El prototipo es útil para mí, porque doy a conocer lo que necesito transmitir a mi cuidador/familiar.					
Me es fácil mover el pie mientras uso el prototipo.					
Mi interacción con el prototipo es fácil y cómoda.					
El prototipo me resulta fácil de usar.					
Pienso que necesitaré ayuda para utilizar el prototipo.					
Tengo control sobre el uso del prototipo.					
El uso del prototipo me resulta agradable.					

<p>Mi uso del prototipo es voluntario.</p>					
<p>Es fácil hacer que el prototipo envíe los mensajes con cada movimiento que realizo.</p>					
<p>Estaría dispuesto a utilizar el prototipo.</p>					
<p>La interacción con el prototipo no requiere mover mucho el pie para que cumpla su función.</p>					
<p>Me resulta cómodo hacer los movimientos que requiere el prototipo para su funcionamiento.</p>					
<p>Mi familiar/cuidador no me exige que utilice el prototipo.</p>					
<p>Aunque puede ser útil, el uso del prototipo no es totalmente apropiado para mí.</p>					
<p>El uso del prototipo es pertinente para mis diversas necesidades.</p>					
<p>Considero, en cuanto a exactitud, que los resultados del prototipo son buenos.</p>					

Suponiendo que tuviera el prototipo a mi disposición, tengo la intención de utilizarlo.					
---	--	--	--	--	--

7.5. Anexo 5: Obtención de movimientos

Ilustración 21 Primer movimiento a la izquierda



Ilustración 22 Segundo movimiento arriba



7.6. Anexo 6: Prueba de aceptación

