



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E  
INDUSTRIAL**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES**

**Tema:**

---

**SISTEMA HAPTICO DE TELEMEDICINA PARA LA DETECCION DE  
NIVELES DE ARTRITIS EN MANOS APLICANDO METODOS NO  
INVASIVOS.**

---

**Trabajo de Titulación Modalidad:** Proyecto de Investigación, presentado previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

**ÁREA:** Física y Electrónica

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Tecnologías de la Información y Sistemas de  
Control

**AUTOR:** Francisco David Zúñiga Heredia

**TUTOR:** Ing. Santiago Altamirano Meléndez, Mg.

**Ambato – Ecuador**

**septiembre -2022**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En calidad de tutor de Trabajo de Titulación con el tema: SISTEMA HAPTICO DE TELEMEDICINA PARA LA DETECCION DE NIVELES DE ARTRITIS EN MANOS APLICANDO METODOS NO INVASIVOS, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación realizado por el señor Francisco David Zúñiga Heredia, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 15 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y el numeral 7.4 del respectivo instructivo.

Ambato, septiembre 2022.

---

Ing. Santiago Altamirano Meléndez, Mg.

**TUTOR**

## AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: SISTEMA HAPTICO DE TELEMEDICINA PARA LA DETECCION DE NIVELES DE ARTRITIS EN MANOS APLICANDO METODOS NO INVASIVOS, es absolutamente original, auténtico y personal. En tal virtud, el contenido, efecto legal y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiones responsabilidad del autor.

Ambato, septiembre 2022.



---

Francisco David Zúñiga Heredia

C.C. 1804217089

AUTOR

## **APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO**

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Titulación presentado por el señor Francisco David Zúñiga Heredia, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado SISTEMA HAPTICO DE TELEMEDICINA PARA LA DETECCION DE NIVELES DE ARTRITIS EN MANOS APLICANDO METODOS NO INVASIVOS, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 17 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y al numeral 7.6 del respectivo instructivo. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidenta del Tribunal.

Ambato, septiembre 2022.

---

Ing. Pilar Urrutia, Mg.

**PRESIDENTA DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Fabián Salazar, PhD.

**PROFESOR CALIFICADOR**

---

Dr. Freddy Benalcázar, Mg.

**PROFESOR CALIFICADO**

## **DERECHO DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación en favor de la Universidad Técnica de Ambato, con fines de difusión pública. Además, autorizo su reproducción total o parcial dentro de las regulaciones de la institución.

Ambato, septiembre 2022.



---

Francisco David Zúñiga Heredia

C.C. 1804217089

AUTOR

## **DEDICATORIA**

*A Dios por bendecirme y guiarme en cada uno de mis días, por brindarme la fortaleza para salir de las adversidades y por ser la luz que alumbra cada paso que doy.*

*A mi núcleo familiar por ser el pilar fundamental al estar presentes en este camino, por su infinito amor y apoyo incondicional en cada momento de mi vida.*

*A mis hermanos Álvaro, Micaela, Sophia porque con su apoyo me han brindado la fortaleza para cada día seguir superándome.*

*Francisco David*

## AGRADECIMIENTO

*A Dios y mis padres por ser la fuente de fortaleza para superarme cada día, a mis hermanos por ser los cómplices en cada momento de mi vida.*

*A la Universidad Técnica de Ambato por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente en las aulas de la prestigiosa FISEI.*

*Al Ing. Santiago Altamirano, Mg por su apertura para contribuir con el desarrollo de la presente investigación. Gracias por el tiempo dedicado y sobre todo gracias por brindarme su amistad a lo largo de la carrera, ante todo un gran amigo.*

*Agradezco a Annabel por ser una persona especial quien, con su apoyo y fortaleza me ayudado en la superación personal demostrándome que la vida es de retos y que el tiempo solo es un número y las experiencias un verdadero tesoro.*

*A los verdaderos amigos que la vida me permitió conocer durante toda la etapa estudiantil, en especial a Cristian gracias por el tiempo compartido y las grandes anécdotas vividas, más que un amigo eres mi hermano.*

*Me agradezco por no rendirme y sobre llevar todas las adversidades, por seguir adelante y no decaer en un objetivo planteado.*

## ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA .....	iii
APROBACIÓN TRIBUNAL DE GRADO .....	iv
DERECHO DE AUTOR .....	1
DEDICATORIA .....	2
AGRADECIMIENTO .....	3
ÍNDICE GENERAL .....	4
ÍNDICE DE FIGURAS .....	7
ÍNDICE DE TABLAS .....	9
RESUMEN .....	10
ABSTRACT .....	11
CAPÍTULO I .....	12
MARCO TEÓRICO .....	12
1.1 Antecedentes Investigativos .....	12
1.2 Contextualización del problema.....	16
1.3 Fundamentación Teórica.....	17
1.3.1 Artritis .....	17
1.3.2 Manifestaciones clínicas.....	18
1.3.3 Diagnóstico.....	18
1.3.4 Sistema Háptico.....	19
1.3.5 Internet de las Cosas (IoT) .....	19
1.4 Objetivos .....	20
1.4.1 Objetivo General .....	20
1.4.2 Objetivos Específicos .....	20
CAPÍTULO II .....	22
METODOLOGÍA .....	22
2.1 Materiales .....	22
2.2 Métodos .....	22
2.2.1 Modalidad de Investigación .....	22
2.2.2 Procesamiento y Análisis de Datos .....	23
2.2.3 Desarrollo del Proyecto .....	23
CAPÍTULO III .....	25
RESULTADO Y DISCUSIÓN .....	25
3.1 Análisis y discusión de los resultados .....	25



3.2	Factibilidad Técnica .....	25
3.3	Factibilidad Económica.....	25
3.4	Factibilidad Bibliográfica .....	25
3.5	Desarrollo de la Propuesta .....	25
3.6	Análisis de parámetros técnicos y médicos .....	26
3.6.1	Parámetros médicos.....	26
3.6.1.1	Signos vitales.....	26
3.6.1.2	Movilidad de la mano.....	29
3.6.2	Sensor de Flexibilidad.....	31
3.6.3	Microcontroladores.....	33
3.6.4	Baterías de Respaldo Energético .....	34
3.6.5	Plataforma de Base de Datos .....	34
3.6.6	Software Programación.....	35
3.7	Sistema háptico para la detección de niveles de artritis .....	36
3.7.1	Adquisición de datos .....	38
3.7.2	Desarrollo del sistema de control para el sistema háptico.....	39
3.7.3	Configuración de parámetros de ingreso .....	42
3.7.4	Desarrollo de la interfaz móvil .....	43
3.7.5	Inicio de la aplicación .....	43
3.7.6	Visualización.....	47
3.7.7	Instrucciones de uso.....	47
3.7.8	Usuario.....	48
3.7.9	Interfaz de visualización de base de datos. ....	48
3.7.10	Base de Datos.....	49
3.7.11	Diseño de control y conexiones.....	50
3.7.12	Cálculos de respaldo energético.....	51
3.8	Presupuesto .....	52
3.9	Costos de diseño .....	53
3.10	Esquema del case del Sistema háptico.....	53
3.11	Pruebas de Funcionamiento .....	54
3.12	Resultados.....	58
	CAPITULO IV.....	63
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	63
4.1	Conclusiones .....	63
4.2	Recomendaciones .....	65

Bibliografía .....	66
ANEXO 1: Programación en IDE Arduino .....	69
ANEXO 2: Diagramas de bloque del desarrollo de la aplicación móvil .....	72
ANEXO 3 .....	87

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Anatomía de la mano .....	30
Figura 2 Esquema de puntos estratégicos.....	31
Figura 3 Diagrama esquemático del sistema háptico .....	37
Figura 4 Diagrama de Bloques de los procesos del sistema. ....	37
Figura 5 Diagrama del proceso que se realiza en el microcontrolador. ....	38
Figura 6 Resultado del proceso de adquisición de datos mediante sensores flex.....	39
Figura 7 Proceso de flexión del sensor flex. ....	39
Figura 8 Circuito del divisor de voltaje y placa de conexión. ....	40
Figura 9 Parametrización de valores obtenidos del sensor.....	41
Figura 10 Diagrama de configuración de parámetros de ingreso.....	42
Figura 11 Diagrama de las etapas de la aplicación. ....	43
Figura 12 Interfaz de inicio.....	44
Figura 13 Interfaz de registro de nuevo usuario. ....	45
Figura 14 Diagrama de validación de usuario.....	46
Figura 15 Diagrama de validación de usuario.....	46
Figura 16 Interfaz de Test.....	47
Figura 17 Interfaz de Redis Cloud Console. ....	48
Figura 18 Interfaz de Redmin. ....	49
Figura 19 Datos de configuración de la base de datos en Redis.....	49
Figura 20 Configuración de los datos de Redis para visualizar en Redmin. ....	50
Figura 21 Guante conectado a los sensores mediante cables dupont .....	50
Figura 22 Diseño carcasa del dispositivo háptico de 9 x 7 x 3 cm.....	54
Figura 23 Prueba con extensión total de los sensores. ....	54
Figura 24 Prueba con flexión total de los sensores. ....	55
Figura 25 Resultados de la calibración del sistema .....	56
Figura 26 Conexión a Bluetooth .....	72
Figura 27 Recepción de datos por Bluetooth .....	72
Figura 28 Procesamiento de datos obtenidos por Bluetooth.....	73
Figura 29 Borrado de datos recibidos .....	73
Figura 30 Cambio de interfaz y borrado de contenedores .....	73
Figura 31 Desconexión del Bluetooth .....	74
Figura 32 Interfaz de la adquisición.....	75
Figura 33 Interfaz de inicio de la aplicación .....	75
Figura 34 Control de inicio de sesión por usuario .....	76
Figura 35 Botón para registro y salida de la aplicación .....	76
Figura 36 Verificación de errores en conexión con la nube.....	76
Figura 37 Control de acceso al usuario.....	77
Figura 38 Control de errores de conexión con la nube y salir del registro .....	77
Figura 39 Control de ingreso de datos en el registro .....	78
Figura 40 Control de usuarios repetidos al momento del registro .....	78
Figura 41 Control de registro exitoso .....	78
Figura 42 Interfaz de base de datos Redis.....	79
Figura 43 Datos de Redis para configuración .....	79
Figura 44 Métricas de Redis .....	80
Figura 45 Métricas de Redis en funcionamiento .....	80

Figura 46 Configuración de Redmin .....	81
Figura 47 Visualización de datos almacenados en Redis median Redmin .....	81
Figura 48 Interfaz de inicio en móvil .....	82
Figura 49 Inicio de sesión exitoso.....	83
Figura 50 Usuario desconocido .....	84
Figura 51 Registro exitoso .....	85
Figura 52 Datos erróneos .....	86

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparativa de signos vitales. ....	28
Tabla 2 Rango de signos vitales.....	28
Tabla 3 Características del sensor de flexibilidad. ....	32
Tabla 4 Características de los microcontroladores. ....	33
Tabla 5 Comparación de baterías de respaldo de energía. ....	34
Tabla 6 Comparación de base de datos en la nube.....	35
Tabla 7 Comparación IDE Programación. ....	36
Tabla 8 Consumo de potencia del circuito. ....	51
Tabla 9 Presupuesto del Proyecto.....	52
Tabla 10 Resultados de pruebas. ....	59
Tabla 11 Análisis de resultados. ....	61
Tabla 12 Diagnostico en base a los resultados. ....	62

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto de investigación trata del desarrollo de un prototipo electrónico de carácter no invasivo para la medición de la flexibilidad de los dedos de las manos, mediante la investigación de los signos vitales que intervienen en el movimiento de los dedos y estableciendo los puntos estratégicos de referencia para el movimiento de las manos, de esta manera generando valores de flexibilidad para que el médico especialista pueda generar un diagnóstico rápido del nivel de artritis.

Actualmente los procedimientos para la detección de artritis en manos se realizan mediante radiografías o exámenes invasivos que incomodan a los pacientes por el dolor que padecen. El principal objetivo fue la realización de un prototipo que se basa en un guante háptico, el cual permite medir la flexibilidad de los movimientos requeridos para una evaluación médica, este sistema utiliza tecnología flex y módulos de procesamiento y transmisión, los mismos que son programados en función de los movimientos de cada uno de los dedos de la mano, el sistema es preconfigurado mediante la declaración de los parámetros saludables de la mano en estado natural sin la atrofia muscular y articular, los cuales sirven para la comparación y detección del nivel de artritis que posee el paciente.

El desarrollo del sistema se basó en el uso de hardware y software libre, programado en Arduino IDE, los valores fueron adquiridos en función de la flexibilidad del sensor, estos valores fueron normalizados y visualizados para que el médico genere un diagnóstico rápido y preciso. Finalmente, el sistema háptico está conformado por el guante de sensores, el cual consta de sensores de flexibilidad para la adquisición de datos según los movimientos que se realicen con la mano, teniendo una efectividad del 97% en los valores medidos y un 98% en el diagnóstico de pacientes.

**Palabras Claves:** Artritis Reumatoide, atrofia muscular, dispositivo háptico, sensores flexibles.

## ABSTRACT

This research project deals with the development of a non-invasive electronic prototype for measuring the flexibility of the fingers of the hands, through the investigation of the vital signs that intervene in the movement of the fingers and establishing the strategic points of reference for the movement of the hands, thus generating flexibility values so that the specialist doctor can generate a quick diagnosis of the level of arthritis.

Currently, the procedures for detecting arthritis in the hands are carried out using X-rays or invasive tests that make patients uncomfortable due to the pain they suffer. The main objective was the realization of a prototype that is based on a haptic glove, which allows to measure the flexibility of the movements required for a medical evaluation, this system uses flex technology and processing and transmission modules, the same ones that are programmed in Depending on the movements of each of the fingers of the hand, the system is preconfigured by declaring the healthy parameters of the hand in its natural state without muscle and joint atrophy, which are used for the comparison and detection of the level of arthritis that the patient has.

The development of the system was based on the use of free hardware and software, programmed in Arduino IDE, the values were acquired based on the flexibility of the sensor, these values were normalized and displayed so that the doctor generates a quick and accurate diagnosis. Finally, the haptic system is made up of the sensor glove, which consists of flexibility sensors for data acquisition according to the movements made with the hand, having an effectiveness of 97% in the measurement values and 98% in the diagnosis of patients.

**Keywords:** Rheumatoid Arthritis, muscle atrophy, haptic device, flex sensors.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### **Tema de Investigación**

Sistema Háptico de Telemedicina para la detección de niveles de Artritis en manos aplicando métodos no invasivos.

### **1.1 Antecedentes Investigativos**

La investigación e indagación de los antecedentes investigativos se ha realizado acerca de Artritis Reumatoide, la cual es considerada una enfermedad degenerativa sin cura hasta el momento de la presentación de la presente investigación.

El avance continuo de la sociedad requiere de un perfeccionamiento en los métodos de medición que se aplican en la medicina, métodos menos invasivos y más amigables con los pacientes, para ello los sistemas automatizados son el camino más factible para la sociedad. En el Ecuador se rigen a los métodos tradicionales de medición y detección de Artritis Reumatoide teniendo en cuenta que se ha venido investigando métodos que se proyecten a un mundo tecnológico. A nivel mundial se ha investigado y desarrollado proyectos, los cuales han sido base para nuevas investigaciones para el desarrollo de software y hardware libre aplicados a la medicina.

En India en el año 2020, Swati Bhisikar, Sujata Kale y Alok Yermalkar en su artículo científico titulado “Motion Sensing Gloves for Arthritis Patients” demostraron que los métodos que se utilizan como la goniometría o escalas de medición manual son poco precisas, pues depende de la experticia de los médicos, donde bajo la experiencia de utilizar métodos ortodoxos para la medición, desarrollaron un guante con sensores giroscópicos, los cuales capturan los movimientos inerciales de la mano, con lo cual ayudan al monitoreo de pacientes ya diagnosticados. Para el desarrollo de prototipo se ha utilizado un Arduino uno, módulo Bluetooth sensores IMU, software de Arduino Ide. Este sistema ayuda al médico a monitorizar los movimientos de la mano del paciente mediante la retroalimentación. Los resultados obtenidos al analizar los datos obtenidos por el guante ayudan a los médicos a controlar la evolución de la enfermedad, ya que, al ser una enfermedad degenerativa en el tiempo, la capacidad de movimiento del paciente disminuye, por lo que un control constante ayudará a brindarles una mejor calidad de vida a los pacientes. [1].



En España en el año 2020, R. Moya T. Magal y D. Ponce, en su artículo de investigación publicado bajo el tema “Tecnologías digitales innovadoras para el diseño de exoesqueletos para la mano aplicados en la rehabilitación de pacientes con artritis crónica” desarrollaron una estructura de recubrimiento con orificios para la conexión de los actuadores con la mano del paciente, los actuadores son servomotores que corrigen la postura de los dedos ejerciendo una fuerza contraria para el movimiento, cada dedo está envuelto por la estructura que posee guías, las cuales facilitan la transmisión del movimiento. Bajo este sistema se tiene como resultados que la mano y sus dedos alcanzan un máximo de 58° de amplitud en el rango de movimiento.[2].

En Colombia el año 2019, D. Huamanchagua, K. Heredia, L. Huanay, A. Pérez en su artículo publicado en la revista del Congreso Internacional de Investigaciones Para Ingeniería Biomédica y Bioingeniería bajo el tema "Diseño de un guante terapéutico (exoesqueleto de mano) con control independiente de cada dedo para rehabilitación motora de extensión y flexión para personas con artritis y ACV", en esta investigación desarrollaron un exoesqueleto con el fin de apoyar en el área de fisioterapia, este dispositivo permite que el paciente flexione los falanges hasta un ángulo determinado por el médico que lo asista, este dispositivo como es una herramienta de apoyo su uso debe estar bajo la supervisión de un experto en el tema de rehabilitación. Para el desarrollo de este prototipo se utilizó servomotores que van conectados con hilo de nylon hasta la parte de la yema de los dedos, estos servomotores fueron controlados por un microcontrolador donde se configuraban los parámetros para que una persona realice una buena rehabilitación. [3].

En Ecuador en el año 2019, Salazar Escobar Ivan Antonio y Vega Delgado Diego Armando en su trabajo de titulación para la obtención del título de ingeniero en Mecatrónica realizan el “Diseño e implementación de un sistema de percepción háptica para la rehabilitación virtual de personas con problemas de motricidad fina causados por accidentes cerebrovasculares”, desarrollaron un guante plástico impreso donde acoplan sensores, procesadores y actuadores, con los cuales demostraron que mediante un sistema electrónico, el cual utiliza un sistema de virtualización Unity 3D, Arduino pro micro, módulos bluetooth HC-05 baterías de litio cargador TP4056 y actuadores vibradores, se puede ayudar en los procesos de rehabilitación, de tal manera que se puede realizar la retroalimentación con los resultados obtenidos en las

diferentes mediciones de las actividades que proporciona el sistema virtual. Como resultado se obtuvo un sistema donde el paciente se ayuda del guante para realizar actividades de rehabilitación y, los datos obtenidos sirven de retroalimentación para los médicos, para verificar la evolución de los pacientes. Se debe tener en cuenta que al utilizar un programa de virtualización los pacientes de edades avanzadas deben estar acompañados de un técnico, el cual le ayude a realizar las selecciones de las aplicaciones. [4].

En España en el año 2018, Tirado Amparo, Marin Raúl y Matí Jose en el trabajo de titulación cuyo tema es “Biosensores para la rehabilitación”, donde desarrollaron un dispositivo que permite mejorar el seguimiento y control de pacientes con enfermedades inflamatorias como artritis reumatoide, artritis psoriásica y espondilitis anquilosante. El seguimiento a los pacientes ayuda a los especialistas a estudiar la evolución de los pacientes entre sesiones de consulta. Para el desarrollo del dispositivo se analizó las características biológicas y características físicas para determinar los sensores a ser utilizados. Los sensores utilizados son electrodos ECG y Módulo de oxímetro, los cuales son acoplados con LabVIEW para luego ser transmitidos a una estación receptora. Como resultado se obtuvo el desarrollo del dispositivo Leap-Motion, el cual sirve para la valoración de las interacciones del dispositivo con los pacientes, este dispositivo es una herramienta que le permite al médico especialista obtener las mediciones precisas de la capacidad de la movilidad del paciente.[5]

En Irlanda en el año 2018, James Connolly, Joan Condell, Brendan o’Flynn, Javier Torres Sánchez y Philip Gardiner en su artículo científico titulado "IMU Sensor-Based Electronic Goniometric Glove for Clinical Finger Movement Analysis" demostraron que se puede medir las actividades que se realizan con las extremidades, para lo cual implementaron un sistema electrónico en el cual utilizaron un sistema VICON compuesto por sensores IMU 9ejes, sensores MPU-9150, procesador AVR32 UC3C, módulo de comunicación RS9110-N-11\_22 de comunicación Wireless, donde como resultados se obtiene que es factible realizar una medición de los movimientos articulares con una precisión del 91% en relación al movimiento real, al utilizar el guante del sistema VICON, teniendo en cuenta que al ser un guante

genérico de única medida se debe realizar una calibración distinta para cada paciente, la cual reduce la utilidad de un dispositivo genérico. [6].

En Colombia en el año 2017, F. Gonzáles, W. Vargas en su proyecto de grado desarrollado bajo el tema “Dispositivo electrónico para la medición de la rigidez de la mano en pacientes con la enfermedad de Parkinson” desarrollaron un dispositivo que permite determinar la rigidez de las falanges de un paciente con Parkinson. La tecnología utilizada en este dispositivo se basa en hardware libre como placa de microcontrolador Arduino uno y sensores pasivos, mientras que para el software utiliza LabVIEW. Como resultado este dispositivo propone una opción de medición de flexometría y fuerza en las falanges de las personas que poseen Parkinson, medidas que con la ayuda de una valoración médica se puede obtener una variable de rigidez para una medida objetiva.[7].

En Perú en el año 2017, B. Araujo, A. Chirinos, en su proyecto de grado desarrollado bajo el tema “Prototipo de sistema de complementación para la rehabilitación motriz de la mano derecha de las personas con artritis reumatoide” desarrollaron un dispositivo en el cual se controla el ángulo de variación, ángulo de inclinación y ángulo de giro. Estas señales son procesadas mediante un microcontrolador, el cual envía los datos procesados para ser visualizados en el programa Visual Basic. Los datos son revisados por el médico especialista, el cual revisa los datos obtenidos de las actividades previamente programadas. La tecnología utilizada en este dispositivo es de sensores pasivos controlados mediante un microcontrolador PIC18F4455, sensores MPU6050 y una comunicación I2C. Como resultados se obtiene un dispositivo que posee movimientos con rangos de amplitud que van desde los 0° a 30° y de 60° a 90°, al ser un prototipo de complementación se observa que tiene un margen de error de 15,45° en la precisión de algunos de sus movimientos.[8].

En Colombia en el año 2017, J. Barrera, K. Bohorquez y J. Ochoa, en su proyecto de grado desarrollado bajo el tema “Diseño de un dispositivo que coadyuve a personas con discapacidad motriz artritis reumatoide en las manos en el proceso de maquillarse” desarrollaron un dispositivo que facilite maquillarse a las personas que lo necesiten y sufra artritis reumatoide. Este dispositivo consta de un guante de neopreno, el cual sirve de soporte para los diferentes accesorios que se utilizan para maquillarse, la base de este dispositivo es el guante, dicho guante fue

probado con diferentes modelos y texturas para que sea amigable con el paciente. Entre los diferentes prototipos evaluados fueron: guante de neopreno, férulas de muñecas en 3D, guantes magnéticos de compresión, guante de tela elástica entre otros. Como resultados se obtuvo un dispositivo que ayuda al paciente a maquillarse sin mayor esfuerzo, como observaciones se tiene que este dispositivo no se puede producir en masa ya que las medidas antropométricas de las personas varían dependiendo de la edad y el sexo.[9].

En India en el año 2016, Mrs Swati A. Bhisikar y Dr. Sujata N. Kale en su trabajo de investigación bajo el tema "Automatic Joint Detection and Measurement of Joint Space Width in Arthritis" realizaron el estudio de las diferentes medidas que poseen las articulaciones de la mano, en donde se utiliza el algoritmo de umbralización de Otsu en el procesamiento digital de imágenes. Para dicho estudio tomaron varias muestras de placas de rayos X, donde alcanzaron un 93,89% de exactitud, siendo esta última el mejor resultado en las mediciones realizadas. Como resultado se obtuvo que la medición de anchura del espacio articular utilizando procesamiento digital tiene un éxito del 91,66% promedio, por lo que este proceso simplifica el tiempo para la obtención de resultados mediante radiografías. [10].

## **1.2 Contextualización del problema**

Los centros de rehabilitación y traumatología del Ecuador carecen de sistemas automatizados para la detección de artritis reumatoide en manos, por lo cual los pacientes que son posiblemente detectables deben realizarse exámenes invasivos y de detección manual.

La Artritis Reumatoide es una enfermedad degenerativa la cual conllevan a complicaciones graves. Los problemas causados por la Artritis Reumatoide pueden ser detectados por medio de la medición de presión arterial, temperatura corporal, flexibilidad de las articulaciones o posición de los músculos. Al no ser detectada a tiempo afecta directamente al ritmo de vida del paciente, puesto que las extremidades que son afectadas pueden llegar al 100% de atrofia, lo cual conlleva a que el paciente sea considerado discapacitado. En la actualidad para la medición o identificación de Artritis Reumatoide se utiliza el método estándar de rayos X, el cual es invasivo por los rayos de alta frecuencia que se utiliza para la misma, siendo este el método más común para la identificación, pero no muy efectivo ya que se necesita realizar un proceso desde la toma de la radiografía hasta la revisión con el médico especialista lo

que puede demorar unos días hasta obtener un diagnóstico. Para la detección también se utiliza las mediciones manuales de las articulaciones utilizando un goniómetro para medir ángulos estáticos, pero estas mediciones están sujetas a errores del observador o médico tratante.

Los sistemas automatizados para la detección de Artritis en manos son escasos y costosos, la mayoría de médicos prefieren la detección manual o la utilización de métodos tradicionales, los cuales involucran radiografías, tomografías, resonancias magnéticas y otras intervenciones.

En Ecuador, según los datos obtenidos en el año 2020 por parte de la OMS, las muertes causadas por Artritis Reumatoide llegan a 124 personas anualmente siendo este el 0,17% de todas las muertes, la tasa de mortalidad por edad es del 0.72 por cada 100.000 habitantes, ocupando el lugar número 21 en el mundo de muertes causadas por Artritis Reumatoides.

La finalidad del presente proyecto es proveer de un sistema háptico que permita la detección de niveles de artritis en manos ,a través del estudio de los signos vitales que intervienen directamente en la enfermedad. Este sistema debe ser de fácil manejo y adaptable a las condiciones físicas de los pacientes. Para este sistema las mediciones se deben realizar mediante sensores.

De esta manera el profesional de la salud hará uso del método que vea necesario para diagnosticar de manera temprana al paciente. Los métodos no invasivos son cada vez más utilizados, de esta forma los beneficiarios directos serán los pacientes ya que les permitiría una detección temprana de la enfermedad y se puede realizar los controles necesarios para prolongar el desarrollo de la atrofia muscular.

### **1.3 Fundamentación Teórica**

#### **1.3.1 Artritis**

La Artritis es una enfermedad crónica que se desarrolla principalmente en articulaciones, la cual produce una deformación de las mismas dependiendo del grado en el cual se encuentre la enfermedad, lo que produce una discapacidad y la calidad de vida relacionada con la salud disminuye, en el país no se han realizado estudios de

gran impacto para evaluar los factores relacionados a la afectación de esta enfermedad por lo que no se posee un proceso de detección temprana de la misma. [11].

La Artritis Reumatoide AR es una enfermedad autoinmune y multisistémica, en Latinoamérica se observa una prevalencia aproximada del 0.5%, siendo más usual en mujeres, a nivel Ecuador no se posee un dato preciso para determinar el porcentaje de población que posee esta enfermedad. [12].

Algunos autores definen que para la detección temprana se debe establecer un límite máximo dentro de los 3 meses apenas se detecten los síntomas mientras que otros alargan este periodo y establecen un límite de 3 años en los cuales se realiza la evaluación y el diagnóstico, pero realizando a la vez un tratamiento invasivo para medir niveles. [13].

Las mediciones se realizan mediante el DAS28 el cual es un proceso donde se valora los cambios especialmente en la flexibilidad de las articulaciones, donde se tiene escenarios teóricos que corresponden a la actividad y sensibilidad del comportamiento mediante 4 niveles o rangos de comportamiento.[14].

### **1.3.2 Manifestaciones clínicas**

Al tener en cuenta las manifestaciones que presenta esta enfermedad en sus etapas iniciales se puede exponer que las causas aún son desconocidas, se tiene una relación de un bajo porcentaje que influye la predisposición genética, pero esto no es un porcentaje considerable, la fisiopatología inicial es una reacción inflamatoria por causas desconocidas.[15].

Los pacientes mal diagnosticados y de igual manera pacientes mal controlados presentan 10 años menos de vida lo cual está acompañado de un deterioro progresivo hasta llegar a la discapacidad total de la extremidad afectada, los pacientes con Artritis Reumatoide presentan un cuadro insidioso iniciando con síntomas que se consideran generales para cualquier inflamación muscular hasta que en etapas avanzadas se presenta evidencia de sinovitis, la sinovitis es la inflamación de la membrana sinovial la cual es un tejido que cubre una articulación.[16].

### **1.3.3 Diagnóstico**

El diagnóstico se basa principalmente en estudios radiológicos y análisis de laboratorio, los cuales son exámenes invasivos y que los pacientes por tal motivo retardan su

diagnóstico debido a la sintomatología inespecífica, los estudios radiológicos a inicios de los síntomas no aportan datos relevantes ya que las alteraciones radiológicamente visibles se presentan en fases más avanzadas, el diagnóstico inicial fiable es el control de la posición de articulaciones para controlar movimientos rigidez y fuerza, dichas acciones son realizadas y controladas por el médico tratante, este sistema de diagnóstico es un proceso manual el cual puede estar expuesto a errores humanos. [16].

#### **1.3.4 Sistema Háptico**

Sistema háptico se relaciona directamente con los sentidos y su forma en la cual se pueden desarrollar, sistema háptico se designa al sistema donde se involucra el tacto al oído a la vista donde todo es relativo al tacto. [17].

Háptico proviene de la palabra griega hápto que significa tocar o relativo al tacto, esta palabra es utilizada para describir todo lo que basa con el sentido del tacto, la información del sentido háptico proviene de todo lo que se pueda tocar manipular de manera voluntaria realizada con las manos dedos u otra parte del cuerpo que involucre al sentido del tacto. [18].

Para la comunicación de los sistemas hápticos con el procesamiento de la información a lo largo del tiempo se ha utilizado desde sistemas sin transmisión solo visualización directa hasta la actualidad mediante el internet de las cosas que ayuda a mantener un control remoto de los sistemas.

#### **1.3.5 Internet de las Cosas (IoT)**

El internet de las cosas o IoT tiene sus inicios a partir del año 1999, donde se presentaron inventos que tenían la característica de conectarse a internet para tener acciones en las estaciones terminales del mundo físico, actualmente este sistema de comunicación permite el intercambio de datos entre dispositivos donde se tiene acciones o respuesta mediante sensores y actuadores.

Las acciones realizadas mantienen una conexión a internet o redes móviles los cuales realizan una acción determinada al procesar los datos recibidos.[19]

En la actualidad los sistemas IoT no poseen una arquitectura definida, al pasar de los años se han desarrollado arquitecturas que se acoplan a los proyectos y no se sigue una

estructura específica, de tal manera no se posee una estructura o arquitectura general, pero se puede definir tres capas las cuales son la base para todo proyecto:

- La capa de percepción o recolección la cual es la encargada de recoger información a través de los diferentes dispositivos que posee el sistema.
- La capa de red es la encargada de procesar los datos, intercambiar datos con la red y mantener en interacción los dispositivos, esta capa es considerada la central de IoT.
- La capa de aplicación es la que brinda el servicio aplicativo al cliente o usuario final donde se controla o visualiza los dispositivos conectados. [20]

Las Fases que se utiliza al aplicar IoT en funcionalidad de los dispositivos conectados son:

- Fase de conexión está conformada por diferentes sensores o dispositivos los cuales son los encargados de recibir y transmitir información de su entorno.
- La fase de análisis procesamiento y visualización, en esta fase se procesa los datos recolectados para la visualización de resultados en la plataforma de gestión y control.
- Fase de automatización, se basa principalmente en dar utilidad a los objetos o dispositivos conectados lo cual permita la automatización hacia la evolución o desarrollo tecnológico.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Implementar un sistema háptico de telemedicina para la detección de niveles de artritis en manos aplicando métodos no invasivos.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Determinar los signos vitales que intervienen en la movilidad de las manos para que se realice un movimiento preciso.



- Establecer puntos estratégicos de referencia en la mano, para la realización de mediciones de flexibilidad cuando se realizan los movimientos voluntarios.
- Diseñar un sistema utilizando sensores de flexibilidad y presión para identificar los niveles de artritis reumatoide.

## **CAPÍTULO II**

### **METODOLOGÍA**

#### **2.1 Materiales**

Para el desarrollo del diseño e implementación del prototipo del presente proyecto de investigación, se utilizaron materiales de apoyo como: artículos científicos, libros, tesis, revistas, internet y otros documentos relacionados con el tema de investigación.

Para la selección de hardware se optó por un análisis de componentes, además se utilizó software libre para la programación.

#### **2.2 Métodos**

##### **2.2.1 Modalidad de Investigación**

La modalidad empleada en el Sistema háptico para la detección de artritis en manos aplicando métodos no invasivos se basó en la indagación, desarrollo e implementación, para lo cual se determinó las siguientes modalidades:

##### **Investigación Documental**

Se ejecutó mediante la adquisición de información bibliográfica: tesis, libros, artículos científicos, revistas científicas, referentes a enfermedades musculares, atrofia muscular, artritis y sistemas háptico, lo que nos permitió solventar el desarrollo y respaldo teórico del proyecto.

##### **Investigación Aplicada**

Para el adecuado desarrollo del proyecto, se utilizaron los conocimientos adquiridos en los diferentes módulos de la malla curricular, en especial aquellos que tratan sobre transmisión de datos y circuitos electrónicos, puesto que es necesario conocer el comportamiento de los sensores cuando es aplicada al cuerpo humano.

##### **Investigación de Campo**

Se recopiló información de datos reales acerca de las afectaciones que produce la Artritis Reumatoide en las personas que lo padecen, cuáles son los parámetros de movilidad a los cuales afecta esta enfermedad y se investigó cuáles eran los métodos para diagnosticar Artritis Reumatoide que se les brindaba a los pacientes.

## **Recolección de Información**

La compilación de la información se realizó mediante la investigación bibliográfica en publicaciones referentes a Artritis Reumatoide y métodos de detección, en repositorios universitarios de otros proyectos de investigación relacionados con enfermedades de atrofia muscular, su diagnóstico, tratamiento y recuperación mediante dispositivos tecnológicos. Además, la ayuda brindada por el tutor permitió el avance y desarrollo de esta investigación.

### **2.2.2 Procesamiento y Análisis de Datos**

El procesamiento y análisis de datos para la implementación del prototipo se desarrolló de la siguiente manera:

- a) Diseño del Sistema háptico
- b) Implementación del sistema háptico, el cual está compuesto de los siguientes pasos:
  - Puntos de medición. Los puntos de medición que fueron necesarios para desarrollar un guante háptico, el cual se basó en los puntos estratégicos de las articulaciones.
  - Prototipo. El prototipo fue desarrollado para realizar las mediciones de las articulaciones, obteniendo un grado de extensión y de flexión de las manos.
- c) Evaluación del sistema háptico, eficiencia, ventajas y tiempo de respuesta al generar mediciones de la extensión y flexión de las manos.
- d) Pruebas de error.

### **2.2.3 Desarrollo del Proyecto**

Se presentan las actividades que se realizaron para cumplir con cada objetivo del proyecto de manera sistemática:

- Adquisición de información acerca de los factores que influyen en la eficacia de las mediciones de los movimientos de la mano.
- Análisis de puntos estratégicos de la mano que intervienen en el movimiento normal sin artritis reumatoide.
- Selección de puntos referenciales clave.

- Selección de sensores necesarios para la realización del sistema háptico de telemedicina.
- Verificación de los puntos de referencia en relación a los sensores que se va a utilizar.
- Selección de hardware apropiado para el proyecto.
- Armado del sistema háptico de telemedicina.
- Configuración y programación de elementos del sistema.
- Procesamiento de datos.
- Pruebas y simulaciones
- Implementación del sistema háptico en el prototipo del guante de medición.
- Pruebas de funcionamiento y validación con pruebas de precisión.
- Validación del funcionamiento del sistema.
- Elaboración del informe final.

## **CAPÍTULO III**

### **RESULTADO Y DISCUSIÓN**

#### **3.1 Análisis y discusión de los resultados**

En base a la información recopilada, se desarrolla un dispositivo háptico no invasivo para determinar los niveles de artritis en manos, lo que permite un diagnóstico temprano de la enfermedad de manera eficaz y económica; con este sistema el diagnóstico es prematuro y no invasivo, por tal motivo el tratamiento se lo puede prescribir de manera temprano y prolongar la atrofia de las manos.

Para la detección de artritis en manos actualmente no se encuentran dispositivos en el mercado que sean de detección específica, por esta razón se toma de referencia los estudios relacionados a rehabilitación de manos y sistemas hápticos.

#### **3.2 Factibilidad Técnica**

El presente dispositivo se considera técnicamente factible, ya que los elementos electrónicos que forman parte del sistema se encuentran en el mercado ecuatoriano, además el funcionamiento de cada uno de los elementos fue estudiado detenidamente para su aplicación en el dispositivo.

#### **3.3 Factibilidad Económica**

Como el desarrollo, implementación y pruebas de funcionamiento del prototipo no tiene costos demasiados elevados, la totalidad del proyecto fue financiado por el investigador, por lo que económicamente el proyecto es factible.

#### **3.4 Factibilidad Bibliográfica**

La bibliografía que formó parte del desarrollo de este proyecto es de libre acceso, siendo fuente de consulta revistas indexadas, tesis, libros entre otros que fueron parte fundamental para el desarrollo de la investigación y se pueden acceder a los mismos sin restricción alguna.

#### **3.5 Desarrollo de la Propuesta**

El proyecto de investigación está basado en la medición de la flexibilidad de las articulaciones de los dedos de la mano, utilizando un dispositivo desarrollado en base de software y hardware libre, reduciendo los gastos de elaboración, ejecución y pruebas en entornos controlados.

El sistema háptico está formado por 4 etapas: Adquisición, Control, Monitoreo y Almacenamiento.

La etapa de adquisición de datos, está encargado de recibir los datos de voltaje mediante un sensor de membrana que trabaja de manera lineal, datos que son enviados al microprocesador para ser procesados.

La etapa de control se encarga de establecer los valores de comparación, los datos de comparación se obtienen de la medición de extensión y flexión de los dedos de una persona sana, sin atrofia muscular ni articular. Los valores adquiridos son procesados como valores iniciales y finales luego de la medición, siendo enviados a la visualización en la aplicación

La etapa de monitoreo, en la aplicación del móvil se visualiza el grado de flexión o extensión de los dedos de la mano del paciente, el cual es un dato de nivel de flexionamiento de los dedos, estos datos se visualizan de manera individual, para que el médico tratante especifique el diagnóstico general.

En la etapa de almacenamiento, los datos adquiridos se almacenan de manera total para ser gestionados por el médico especialista.

### **3.6 Análisis de parámetros técnicos y médicos**

#### **3.6.1 Parámetros médicos**

##### **3.6.1.1 Signos vitales**

Los signos vitales son considerados una herramienta primordial para identificar el estado de un paciente, el estado de los signos vitales expresa de manera inmediata lo que sucede en un organismo o los cambios que se producen en este.

Los principales signos vitales son:

- Frecuencia cardiaca, medida en latidos/minuto.
- Frecuencia respiratoria.
- Tensión arterial o presión arterial.
- Temperatura.

Los signos anteriormente mencionados son los principales que se evalúan cuando un paciente es ingresado a una casa asistencial.[29]

La frecuencia cardiaca o pulso arterial puede ser medido en nueve puntos anatómicos los cuales son:

Pulso temporal es medido sobre el hueso temporal, en la región externa de la frente.

Pulso carotídeo es medido en la parte lateral del cuello entre la tráquea y el músculo esternocleidomastoideo.

Pulso braquial, se mide en la cara interna del músculo bíceps.

Pulso radial se mide sobre la muñeca en su cara interna.

Pulso femoral se mide en la arteria femoral.

Pulso poplíteo se mide ejerciendo presión detrás de la rodilla.

Pulso tibial posterior se mide en la arteria tibial.

Pulso pedio se mide en la arteria tibial sobre el dorso del pie.

La frecuencia respiratoria es el proceso donde se toma oxígeno y se expulsa anhídrido carbónico del cuerpo, este proceso se lo realiza por la nariz y boca.[30]

Tensión arterial o presión arterial es la medida de la presión que ejerce la sangre sobre las paredes arteriales, está se la puede medir de dos formas las cuales son:

Presión sistólica la cual se presenta debido a la contracción de los ventrículos.

Presión diastólica la cual se presenta en la relajación de los ventrículos.

La presión arterial al estar presente durante la circulación de la sangre, se puede afirmar que está presente en todo el cuerpo donde cruce una vena o una arteria. Para nuestro estudio es un signo vital a considerar.

Temperatura es un signo vital que debe estar en equilibrio entre el calor producido y el calor perdido, el centro regulador se encuentra en el hipotálamo.

La respiración pueden ser medida de las siguientes formas:

Oral, en el cual se utiliza un termómetro de mercurio y se lo realiza sublingual.

Rectal, se la realiza en el recto del paciente, por lo general a menores de 6 años.

Axilar, la medición se realiza en la axila del paciente y se realiza a cualquier paciente.

Los diferentes lugares de medición poseen un valor de diferencia, el cual es considerado por el médico encargado.[31]

**Tabla 1** Comparativa de signos vitales.

SIGNO VITAL	LUGAR DE MEDICIÓN	MEDICION EN MANO	INTERVENCION EN MOVIMIENTOS
Frecuencia Cardíaca	-Sobre el hueso temporal -Parte lateral del cuello -Músculo bícep -Sobre la muñeca -Arteria femoral -Rodilla -Arteria tibial -Dorso del pie	No	No
Frecuencia Respiratoria	-Nariz -Boca	No	No
Tension Arterial	-Venas -Arterias	No	Si
Temperatura	-Oral -Rectal -Axilar	No	No

**Elaborado por:** El investigador

Luego del análisis de la forma que se obtienen los valores y el lugar anatómico donde se los mide, podemos darnos cuenta que uno de los signos vitales que está presente en los movimientos de la mano es la presión arterial. La presión arterial o tensión arterial al estar presente en todo el cuerpo, se la considera como parte de los movimientos que se realiza por las manos.

En el análisis de rango se puede determinar que:

**Tabla 2** Rango de signos vitales.

SIGNO VITAL	RANGO NORMAL	BAJO EL RANGO MINIMO	SOBRE EL RANGO MAXIMO
Frecuencia Cardíaca	60 a 100 palpitaciones/minuto	<60 palpitaciones/minuto Bradycardia	>100 palpitaciones/minuto Taquicardia
Frecuencia Respiratoria	12 a 20 respiraciones por minuto	<12 respiraciones bradipnea.	-Taquipnea respiraciones rápidas -Hiperventilación respiraciones profundas y rápidas
Tension Arterial	90/60 mm Hg hasta 120/80 milímetros de mercurio (mm Hg)	<90/60 Hipotensión	>120/80 Hipertensión
Temperatura	36.5 °C a 37.2 °C	<36° Hipotermia	37.5° a 38° Febre 38° a 40° Febrícula >40° Hiperpirexia

**Elaborado por:** El investigador, fuente “Guía de signos vitales e índice de masa corporal” [31]



Luego del análisis de los rangos normales que presentan los signos vitales en sus mediciones, se puede considerar que el rango de presión arterial normal es de 90/60 milímetros de mercurio hasta 120/80 milímetros de mercurio, si estos valores se alteran durante el movimiento de la mano se debe tener en cuenta puesto que una hipertensión puede ser inicio de un infarto.

### **3.6.1.2 Movilidad de la mano**

La mano es un órgano extremadamente complejo ya que está compuesta por varias estructuras, no puede funcionar por si sola ya que los movimientos nacen desde el encéfalo, la mano trabaja en conjunto con el sistema nervioso central y periférico[32].

La mano al ser una estructura está compuesta por: esqueleto, articulaciones, músculos, inervaciones e irrigaciones.

El esqueleto de la mano está conformado por: los huesos de los dedos llamados falanges, por los huesos de las palmas llamados metacarpianos, el carpo, el hueso escafoides, semilunar, piramidal, pisiforme trapecio y trapecoide.

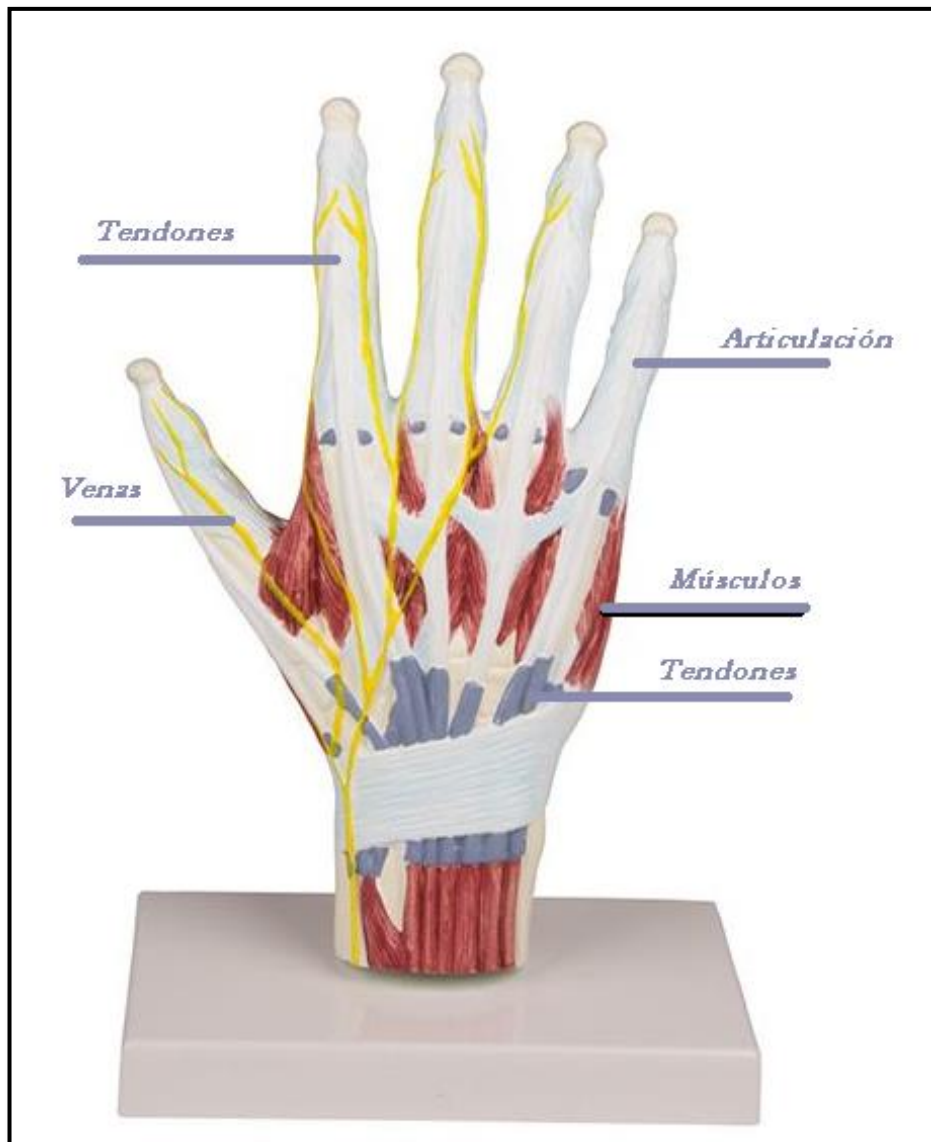
Las articulaciones de las manos presentan superficies cubiertas de cartílago que permite la contigüidad de los huesos, las articulaciones son el eje que nos permite realizar la flexión y extensión de los dedos.

Músculos es un grupo pequeño de diversas longitudes los cuales son muy importantes para el movimiento, en ellos se juntan los tendones quienes colaboran para que los movimientos de la mano sean realizados.

La mano se encuentra inervada por tres nervios periféricos e irrigada por la arteria radial y cubica, la mano pose un mecanismo que garantiza la circulación de la sangre por los arcos arteriales superficiales y profundos, [32]

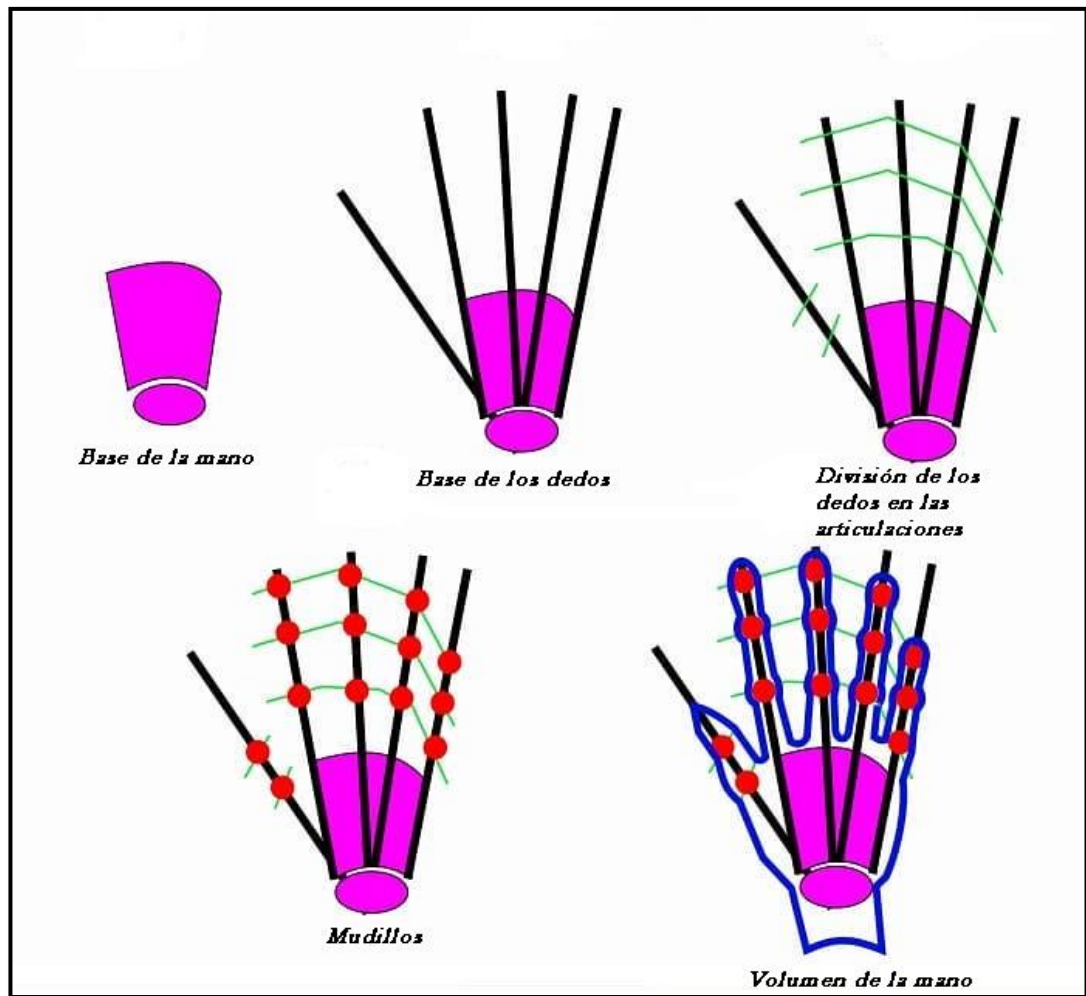
La mano en enfermedades reumáticas se ve afectada principalmente por la destrucción del cartílago articular, atrofia de articulaciones, inflamación de músculos lo que retrae los tendones, causando la deformación y perdida de flexionamiento de la mano.[33]

Para el movimiento de la mano se establece que los principales actores son: articulaciones, tendones y músculos como lo podemos observar en la figura 1.



**Figura 1** Anatomía de la mano  
**Elaborado por:** Dr. José Pascuales[33]

Bajo los enfoques revisados se puede establecer que los puntos de movilidad de la mano se basan principalmente en las articulaciones, las articulaciones son los puntos de flexión o extensión para cada uno de los movimientos de la mano como podemos observar en la figura 2 .



**Figura 2** Esquema de puntos estratégicos

**Elaborado por:** El Investigador

En el esquema se aprecia que, para determinar los puntos estratégicos de la mano se la dividió en planos, donde se va incrementando parte por parte de acuerdo a su funcionalidad, determinando así los nudillos que son parte fundamental en el movimiento.

### 3.6.2 Sensor de Flexibilidad

Dispositivo de medición lineal, el cual está constituido de una membrana lineal flexible la cual permite la medición por deformación, por lo cual se ha tomado como referencia los sensores detallados en la tabla 3

**Tabla 3** Características del sensor de flexibilidad.

<b>PARÁMETROS</b>	<b>SpectraSymbol flex</b>	<b>Sensor flex/ fuerza</b>	<b>flex bending sensor piezoelectric film</b>
			
<b>Modelo</b>	Spectra Symbol flex	FA402	FSR FA301
<b>Dimensión</b>	Variable 5,58cm a 10,16 cm	Variable 5,58cm a 10,16 cm	5,58cm
<b>Dimensión de detección</b>	16,0mm	14,68mm	9,53mm
<b>Rango de medición de fuerza</b>	10g - 10kg	100g – 10kg	100g – 10kg
<b>Resistencia</b>	2MΩ	2MΩ	2MΩ
<b>Tiempo de respuesta</b>	< 1ms	< 1ms	< 1ms
<b>Temperatura de trabajo</b>	-35°C – 80°C	-30°C – 60°C	-30°C – 60°C
<b>Disponibilidad en el país</b>	si	si	no
<b>Costo</b>	\$13,75	\$19	\$17,5



**Elaborado por:** El investigador

Entre los sensores de flexibilidad listados en la Tabla 1, se observa similitudes entre la mayoría de sus parámetros, sin embargo, se opta por usar SpectraSymbol Flex, debido a su valor económico y la disponibilidad en el país, además cumple con las especificaciones necesarias para el sistema háptico.

### 3.6.3 Microcontroladores

Para la selección del microcontrolador se tomará en cuenta la cantidad de puertos analógicos, la tecnología que utiliza, la preconfiguración para la conexión de Bluetooth, el costo y la disponibilidad en el mercado, Para lo cual se ha tomado como referencia los microcontroladores detallados en la tabla 4.

**Tabla 4** Características de los microntroladores.

PARÁMETROS	NODEMCU	Raspberry pi 3B	Arduino Uno
			
<b>Procesador</b>	Xtensa Single-core 32-bit L106	Broadcom BCM2837, 64bits SoC	ATmega328
<b>RAM</b>	4 MB	1GB	2 KB
<b>Voltaje operación</b>	3,3V	3,3V	3,3V
<b>Wifi</b>	802,11 b/g/n	802,11 n	NO
<b>Bluetooth</b>	SI	SI	NO
<b>USB</b>	MicroUSB	MicroUSB	MicroUSB
<b>GPIO</b>	17	40	0
<b>Pines Analógicos</b>	1	0	6
<b>Pines Digitales</b>	6	40 gpio	14
<b>Gestión batería</b>	3,7V	3,7V	3,7V
<b>Frecuencia</b>	160MHz	1,2GHz	16MHz
<b>Disponibilidad</b>	Si	Si	Si
<b>Costo</b>	\$12	\$60	\$15

**Elaborado por:** El investigador



Realizado el análisis entre los controladores listados en la tabla 2, se observa la gran diferencia en el número de puertos analógicos que posee cada placa, siendo esta una característica principal para la selección de la tarjeta de microcontrolador, se opta por

utilizar Arduino Uno, debido a las características necesarias para el desarrollo del sistema háptico.

### 3.6.4 Baterías de Respaldo Energético

Para la alimentación energética del sistema, se selecciona la batería DTP603450 la cual posee en número de celdas necesaria y la potencia que se necesita para un trabajo autónomo sin la necesidad que la placa ni componentes se encuentre conectados a una alimentación eléctrica. La comparación se muestra en la tabla 5.

**Tabla 5** Comparación de baterías de respaldo de energía.




PARÁMETROS	Batería 18650	Bacteria lipo NanoTech	Batería DTP603450
			
<b>Voltaje nominal</b>	3,7V DC	7.4V	3.7v
<b>Voltaje Completa</b>	4,5V DC	8,32V	4,1V
<b>Voltaje de descarga</b>	2,75V DC	6,8V	2,75V
<b>Corriente</b>	2200 mAh	500mAh	2000mah
<b>Potencia</b>	8,14Wh	3,7Wh	3.7Wh
<b>País compra</b>	Ecuador	Ecuador	Ecuador
<b>Costo</b>	\$4,50	\$15,00	\$3,50

**Elaborado por:** El investigador

### 3.6.5 Plataforma de Base de Datos

En la plataforma de base de datos con acceso a la nube, se toma de referencia la compatibilidad con entornos de desarrollo de código abierto. Estas plataformas son detalladas en la tabla 6.

**Tabla 6** Comparación de base de datos en la nube.

PARÁMETROS	Firestore	Redis Cloud Console	Blynk
	 Firestore	 redislabs HOME OF REDIS	 Blynk
Monitoreo tiempo real	Si	Si	No
Plataformas compatibles	Web Android iPhone/iPad	Web	Web Android iPhone/iPad
Versiones	Gratis - Pago	Gratis - Pago	Gratis - Pago
API Arduino	Si	No	Si
Aplicación Nativa Android	No	No	Si
Notificaciones push	Si	Si	No
Gestión de conectividad	No	Si	Si
Compatible con AppInventor	No	Si	No




**Elaborado por:** El investigador

Para el sistema háptico, se selecciona la plataforma Redis Cloud Console ya que es compatible con la interfaz de app inventor, la cual se basa en software libre para el desarrollo de aplicaciones móviles. La capacidad de almacenamiento que nos proporciona esta plataforma de manera gratuita es de 30MB, lo que nos permite manejar de manera óptima los datos obtenidos por nuestro sistema.

### 3.6.6 Software Programación

Para el desarrollo de la programación se utilizó el IDE de Arduino debido a que dispone de las librerías necesarias para el procesamiento de los datos obtenidos. Se realizó la comparación de los IDE de programación antes de seleccionar el óptimo para el sistema, lo cual se muestra en la tabla 7.

**Tabla 7** Comparación IDE Programación.

<b>PARÁMETROS</b>	<b>Arduino</b>	<b>ARM mbed</b>	<b>Keil-microVision</b>
			
<b>Lenguaje de Programación</b>	C++	C++	C/C++
<b>Licencia</b>	Open Source	Open Source	De pago
<b>Compatibilidad con diversas tarjetas de microcontroladores</b>	Si	No	Si
<b>Destaca error de sintaxis</b>	SI	Si	No

**Elaborado por:** El investigador

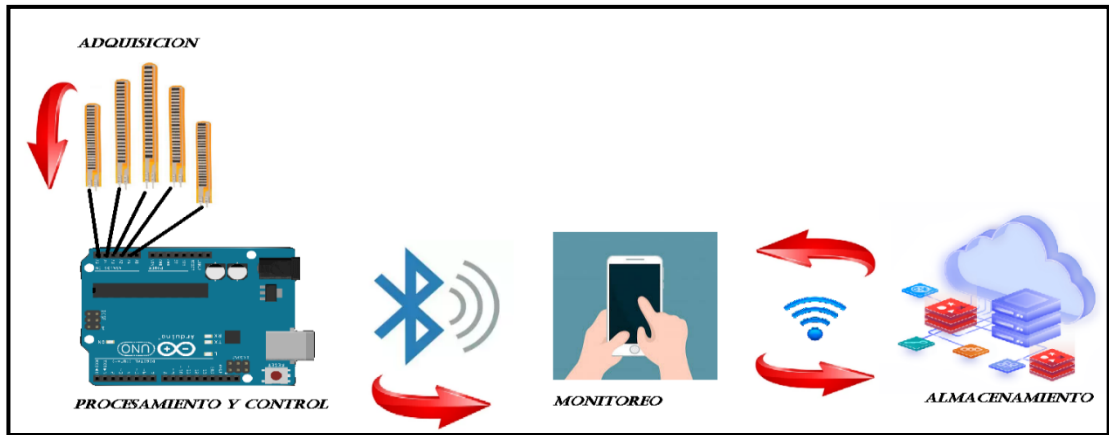
### 3.7 Sistema háptico para la detección de niveles de artritis

La finalidad del sistema háptico, es detectar de manera temprana con un método no invasivo los niveles de artritis en manos, mediante la medición de la flexibilidad de la mano aplicando movimientos sencillos y voluntarios. Los datos obtenidos son expuestos por el sistema en un tiempo de respuesta menor a 15segundos, mediante un proceso de comparación con los parámetros de una mano sin atrofia.

Los datos que se obtienen como resultados son almacenados en la base de datos, los cuales permiten al médico especialista mantener un registro histórico de los pacientes, lo que le permite tener un control detallado de cada paciente.

En la figura 3 se muestra el diagrama esquemático del sistema háptico, la diferenciación de cada una de las etapas y su funcionamiento.

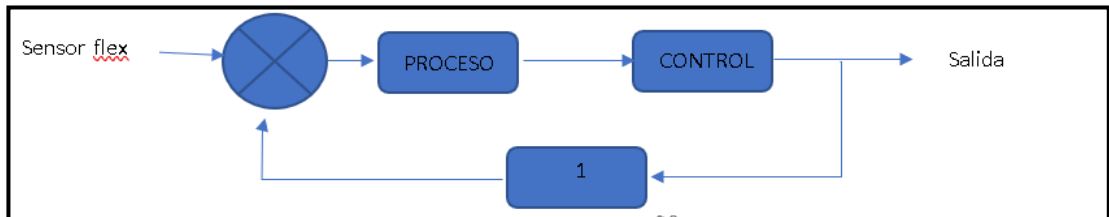




**Figura 3** Diagrama esquemático del sistema háptico

**Elaborado por:** El investigador

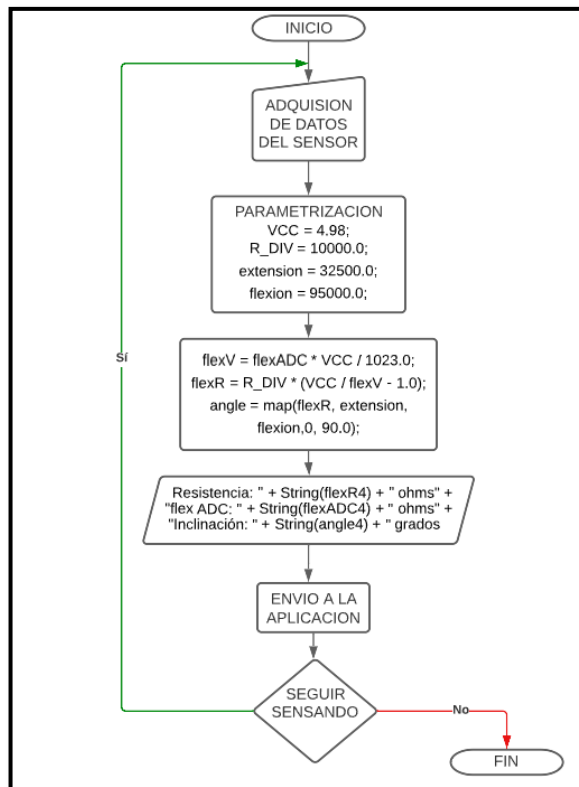
El sistema háptico está formado por cuatro etapas, las cuales están representadas en el siguiente diagrama de control de lazo cerrado, donde se realiza una verificación de datos antes de la visualización, como lo podemos apreciar en la figura 4.



**Figura 4** Diagrama de Bloques de los procesos del sistema.

**Elaborado por:** El investigador

En la figura 5 podemos apreciar el proceso donde se realiza al análisis y obtención de datos tenemos:



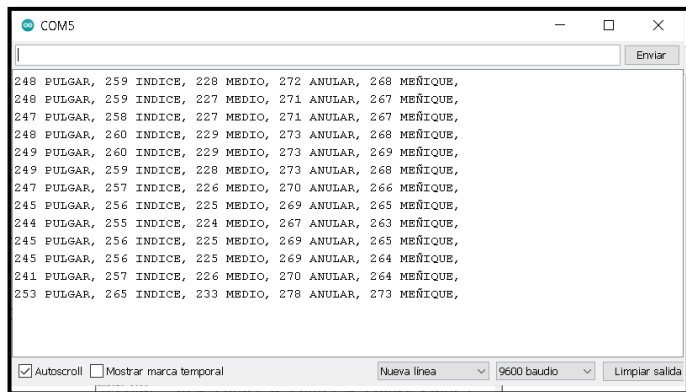
**Figura 5** Diagrama del proceso que se realiza en el microcontrolador.

**Elaborado por:** El investigador

En este esquema podemos apreciar la parametrización de los datos de inicio o declaración de valores iniciales, los cuales nos permite realizar los cálculos que posteriormente se visualizan en los resultados.

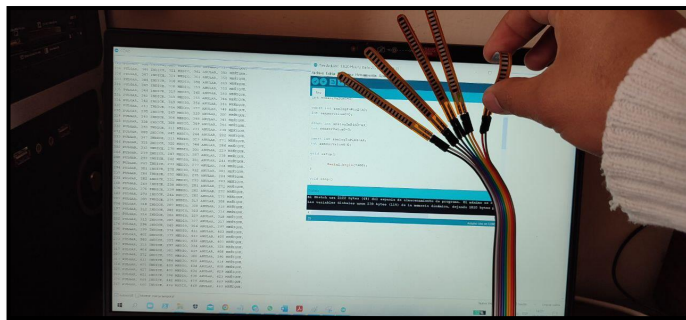
### 3.7.1 Adquisición de datos

En la adquisición de datos se aplica un divisor de voltaje con el sensor de flexibilidad, estos valores son parametrizados para ser visualizados en el monitor serie del ide de Arduino como se muestra en las figuras 6 y 7.



**Figura 6** Resultado del proceso de adquisición de datos mediante sensores flex.

**Elaborado por:** El investigador



**Figura 7** Proceso de flexión del sensor flex.

**Elaborado por:** El investigador

### 3.7.2 Desarrollo del sistema de control para el sistema háptico

El sistema de control se encarga del funcionamiento del sistema háptico, para lo cual se tiene dos controles, el primero se realiza en el microcontrolador el cual al recibir los datos censados son procesados para posteriormente ser transmitidos y la segunda parte en el proceso de visualización que se genera en la aplicación móvil, todo desarrollado en software libre.

En la primera parte del sistema de control, para el funcionamiento del sistema, el microcontrolador adquiere los datos los cuales son parametrizados, la parametrización se realiza obteniendo los valores máximos y mínimos que genera el sensor de flexibilidad, la parametrización genera un valor el cual fue comparado y medido para

el cálculo de voltaje mediante un divisor. El cálculo del divisor de voltaje se genera en base a la ecuación (1).

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1+R_2} * V_{in} \quad (1)$$

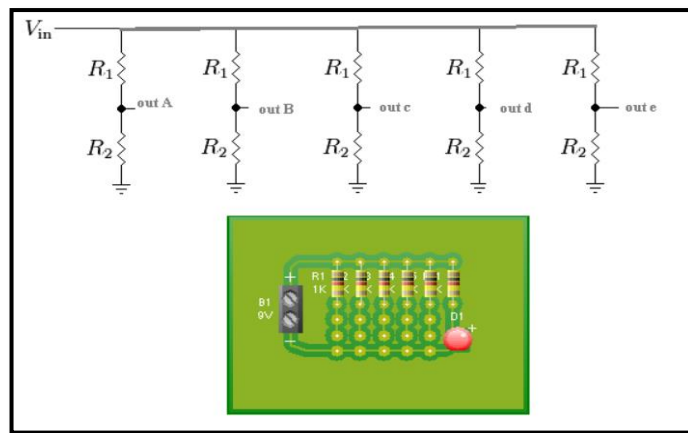
Donde R2 es el valor obtenido por el sensor flexible

R1 se trabaja con una resistencia de 10KΩ

Vin es el voltaje de entrada con el cual se alimentan los elementos del circuito, en nuestro caso son 5 voltios.

Vout es el voltaje de salida del divisor de voltaje.

En la figura 8 podemos observar que se tiene marcada las salidas como out a, out b, out c, out d, out e. Estas salidas son las que se conectan a los puertos analógicos de la placa Arduino Uno.

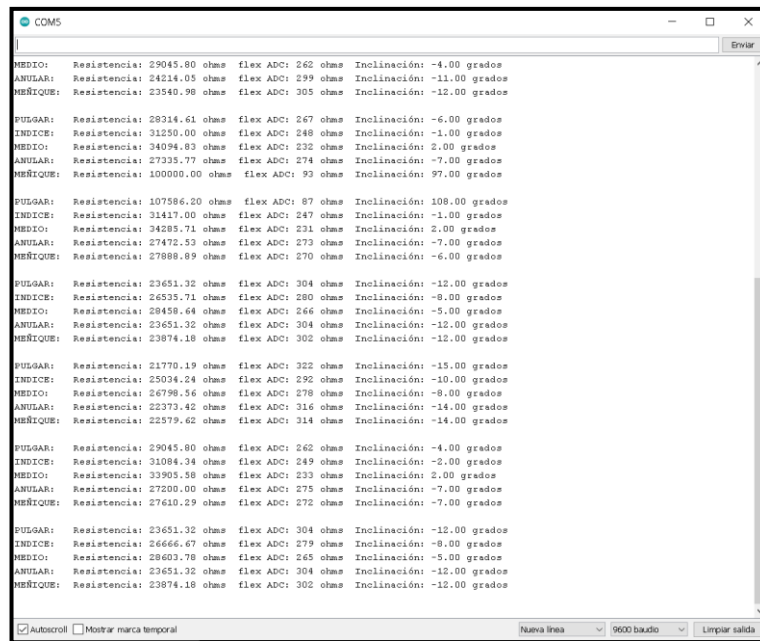


**Figura 8** Circuito del divisor de voltaje y placa de conexión.

**Elaborado por:** El investigador

Una vez que los datos fueron adquiridos por el microcontrolador, se realiza la parametrización y control de los datos, los cuales son procesador para obtener valores de comparación, estos valores se los obtiene mediante la parametrización mostrada en la ecuación (2) y así obtenemos el valor de flexión y extensión como se muestra en la figura 9.

$$flexv = V_{out} * \frac{V_{in}}{1023,0} \quad (2)$$



**Figura 9** Parametrización de valores obtenidos del sensor.

**Elaborado por:** El investigador

El valor de flexv es el voltaje de flexión, el cual fue parametrizado mediante los valores de voltaje de salida del divisor de voltaje  $V_{out}$  multiplicado por el voltaje de entrada  $V_{in}$  dividida para los 1024 valores que posee una señal analógica. Para la parametrización los valores que puede tomar la señal analógica van de 0 a 1023, por lo que el valor máximo que tomamos fue de 1023.

Los valores máximos y mínimos medidos en los sensores de flexibilidad fueron:

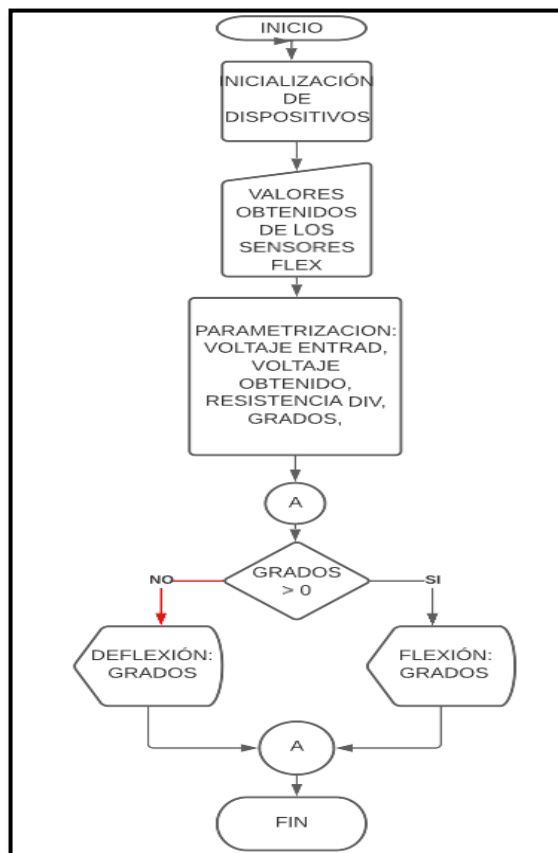
Valor mínimo de extensión total del sensor de flexibilidad fue de 32500 ohmios y el valor máximo de flexión fue de 95000 ohmios, estos valores fueron utilizados para mapear los ángulos que flexionan o extienden los dedos como se muestra en la ecuación (3).

$$\text{ángulo} = \text{map}(\text{resistencia de flexión, extensión, flexión, 0, 180}) \quad (3)$$

La resistencia de flexión es el valor obtenido del sensor flexible cuando se realiza el proceso de flexión o extensión. Extensión hace referencia al valor mínimo de resistencia del sensor en posición recta o de extensión total. El valor para flexión fue obtenido del valor máximo del sensor totalmente flexionado. Se tomó de referencia para el mapeo los 0 grados y 180 grados que vienen hacer la lámina del sensor totalmente flexionado.

Los valores que se obtiene son enviados a la aplicación del móvil donde se muestran los valores obtenidos y de esta manera el médico podrá dar un diagnóstico y determinará el nivel de artritis que el paciente padece. La información recibida por la aplicación móvil es procesada y almacenada en la base de datos de Redis Cloud Console.

El proceso de desarrollo de la programación se realizó en lengua C++ en el software libre de Arduino IDE, este código está presente en el anexo 1, este proceso de configuración se lo aprecia en la figura 10.



**Figura 10** Diagrama de configuración de parámetros de ingreso

**Elaborado por:** El investigador

### 3.7.3 Configuración de parámetros de ingreso

Al iniciar el dispositivo háptico, se prenderá el led indicador del dispositivo, el led de conexión del sistema de transmisión Bluetooth el cual se conectará con el dispositivo móvil a utilizar, en el cual previamente se habrá cargada la aplicación.

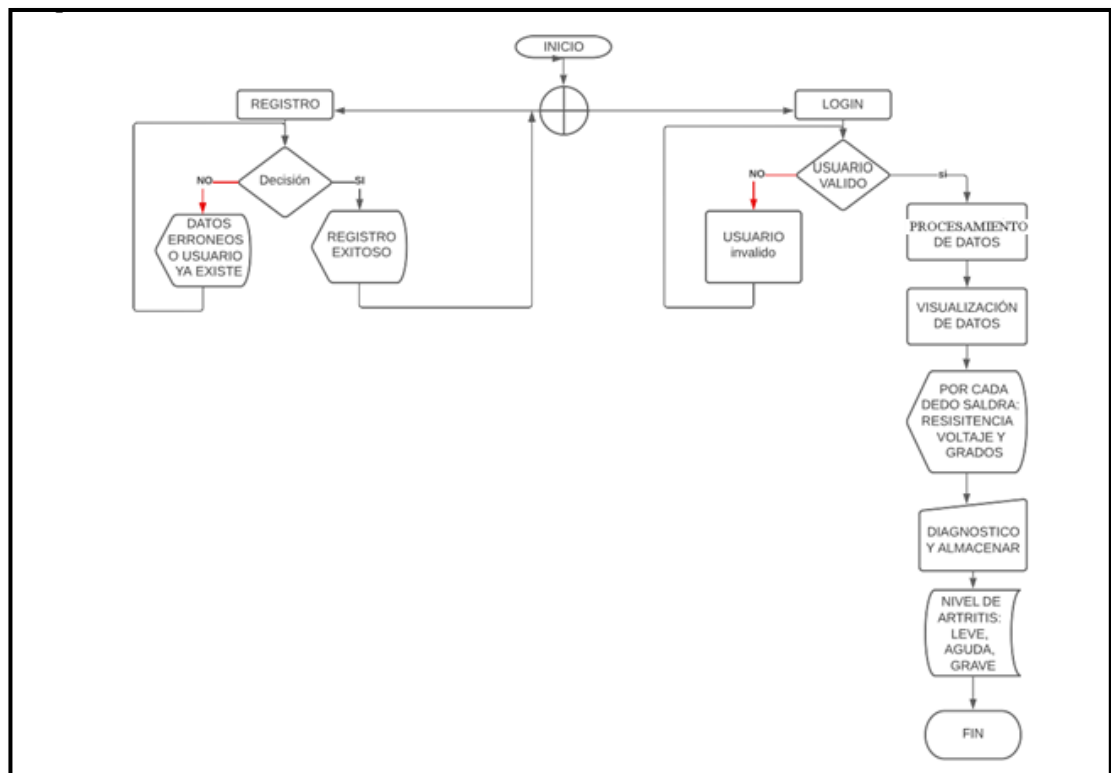
Al vincularse el dispositivo con la aplicación móvil, este se enlazará de manera automática desde la aplicación móvil a la base de datos, los datos se almacenan de

manera automática luego de ser procesados, los datos son almacenados en la plataforma Redis Cloud Console.

### 3.7.4 Desarrollo de la interfaz móvil

La aplicación móvil fue desarrollada en AppInventor, esta aplicación consta de 4 interfaces, las cuales son: registro para nuevos pacientes, pantalla de inicio, visualización de datos obtenidos, diagnóstico.

Las interfaces son representadas en un diagrama de flujo, este diagrama se representa como una cadena de acciones como se muestra en la figura 11. Todas las acciones parten desde la pantalla principal, teniendo como opciones: iniciar o registrarse, las demás etapas son secuenciales.



**Figura 11** Diagrama de las etapas de la aplicación.

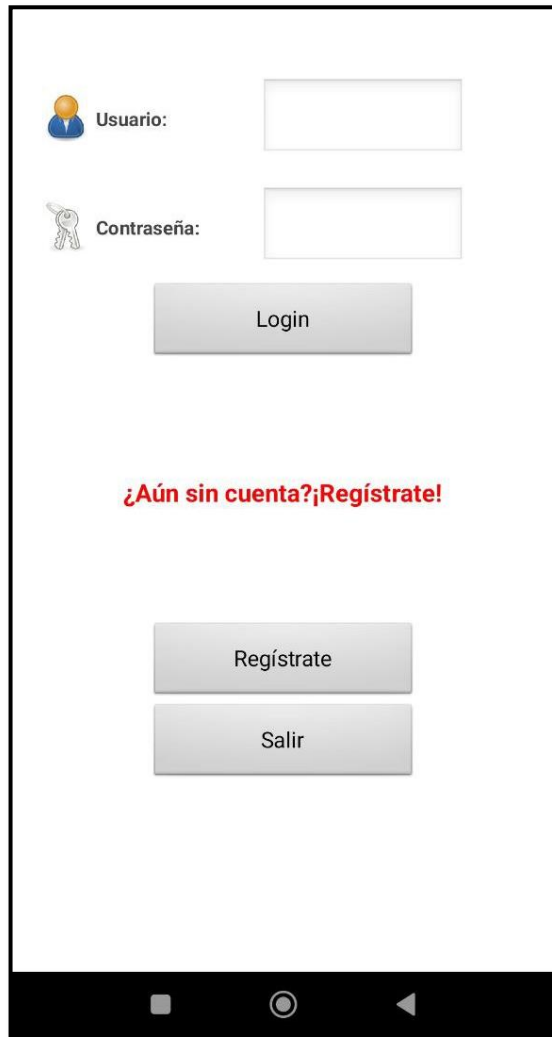
**Elaborado por:** El investigador

### 3.7.5 Inicio de la aplicación

El inicio está formado de una interfaz en la cual se presenta el área de acceso, el botón para registrarse y el botón de salir de la aplicación.

Para el acceso se carga el usuario y la contraseña los cuales son verificados si existen en la base de datos, esta verificación se hace directo con el nombre del usuario. En caso de estar registrado y los datos proporcionados por el usuario son correctos, la

aplicación se dirige hacia la segunda interfaz que es donde se visualizan los datos obtenidos, estas interfaces están representadas en las figuras 12 y 13.



**Figura 12** Interfaz de inicio.

**Elaborado por:** El investigador



Nombre completo:

Email:

Nombre usuario:

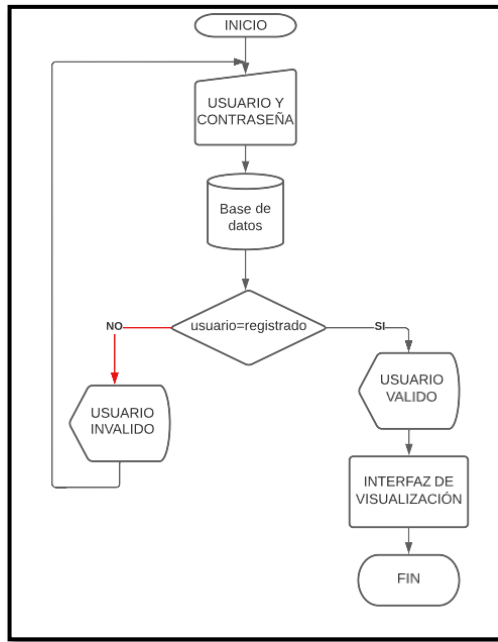
Contraseña:

Registrar Salir

**Figura 13** Interfaz de registro de nuevo usuario.

**Elaborado por:** El investigador

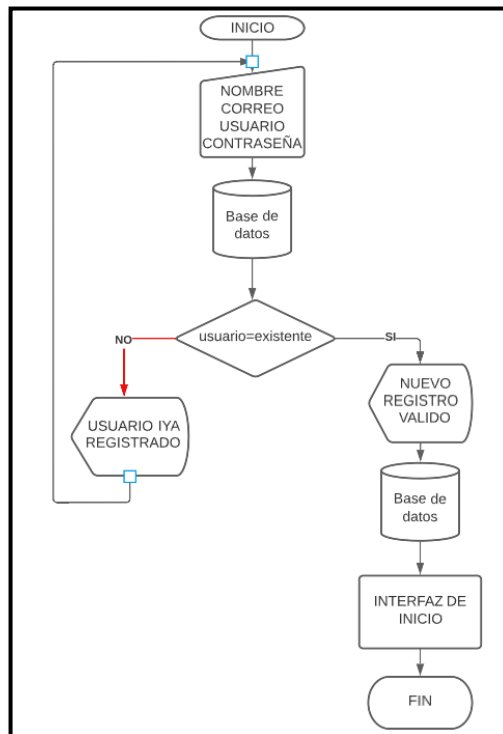
El proceso para verificación de usuario existente se presenta a continuación en el diagrama de flujo de acceso de usuario, esto se lo puede apreciar en la figura 14 y se presenta su diagrama de programación en el anexo 2.



**Figura 14** Diagrama de validación de usuario.

**Elaborado por:** El investigador

El proceso para registro de nuevo usuario se presenta a continuación en el diagrama de flujo de acceso de usuario, se lo puede apreciar en la figura 15 y se presenta su diagrama de programación en el anexo 2



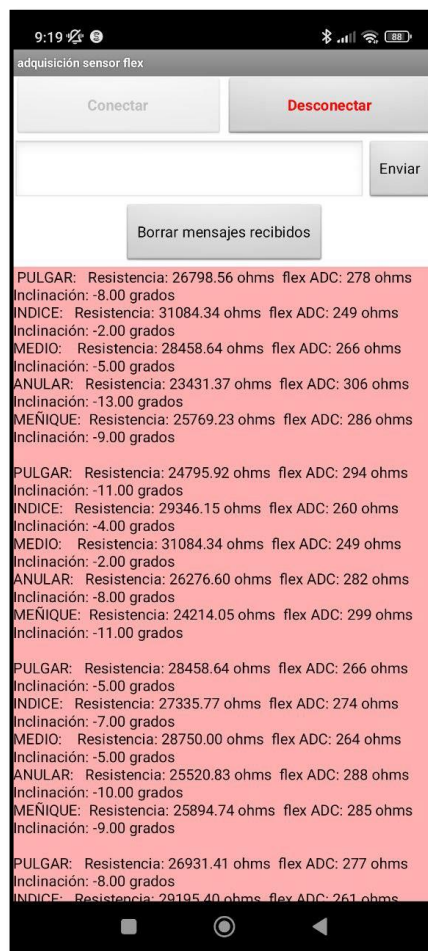
**Figura 15** Diagrama de validación de usuario.

**Elaborado por:** El investigador

### 3.7.6 Visualización

En la interfaz de visualización, los datos obtenidos en la etapa de adquisición son enviados a la aplicación para ser visualizados y llevar un registro de los datos obtenidos. De los datos visualizados solo los valores de flexión y extensión son almacenados en la base de datos para que el médico los revise y genere un diagnóstico.

Los datos obtenidos se refrescan en un tiempo de 3segundos, dichos datos se mantienen en pantalla para generar un registro del proceso de medición. La adquisición de datos podemos visualizar en la figura 16 y su diagrama de programación se mostrará en el anexo 2.



**Figura 16** Interfaz de Test.

**Elaborado por:** El investigador

### 3.7.7 Instrucciones de uso

El sistema háptico consta de un guante de sensores, el cual permite la adquisición de los datos; estos datos son procesados y enviados a la aplicación, en la aplicación los

datos son visualizados y enviados a la base de datos para almacenar los valores de flexión y extensión para que el médico genere un diagnóstico.

En la aplicación se debe tener un usuario el cual se puede registrar en ese momento.

Al momento que el usuario registrado accede a la aplicación se visualiza el sistema de conexión Bluetooth, al confirmar conectividad entre la tarjeta de adquisición y la aplicación se empieza a visualizar los datos obtenidos por los sensores.

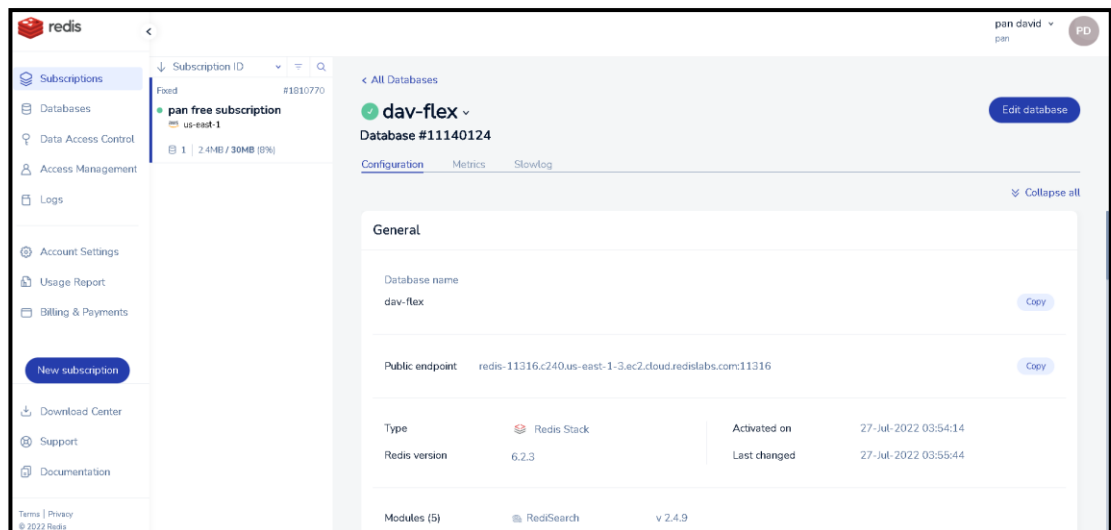
Los datos obtenidos por los sensores son enviados de manera periódica para mantener actualizados los datos en la aplicación; al tener varias muestras el médico especialista podrá generar un diagnóstico más acertado.

### 3.7.8 Usuario

En la aplicación por seguridad existe un botón de cerrar sesión, el cual permite al usuario cerrar el acceso a sus datos, esto le brinda seguridad y confiabilidad del manejo de su información.

### 3.7.9 Interfaz de visualización de base de datos.

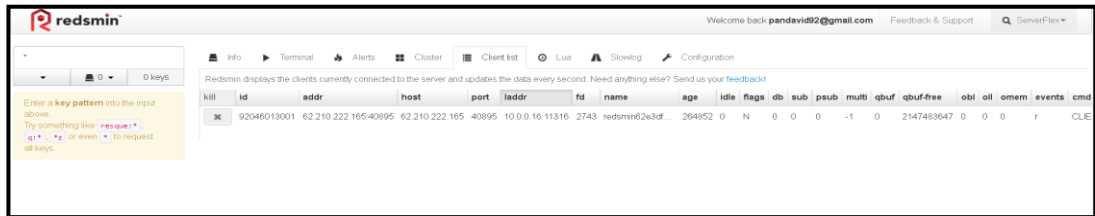
La base de datos ocupada en el sistema es Redis la cual permite un almacenamiento gratuito, es fácil de utilizar y es compatible con el desarrollo de aplicaciones en AppInventor, por lo que facilito el desarrollo del proyecto, la interfaz de esta base de datos se muestra en la figura 17.



**Figura 17** Interfaz de Redis Cloud Console.

**Elaborado por:** El investigador

Para la visualización de la información almacenada en la base de datos, se utiliza Redmin, que es un visualizador de base de datos de la misma compañía de Redis que es compatible con AppInventor. Como se puede observar en la figura 18, la interfaz es sencilla de utilizar.

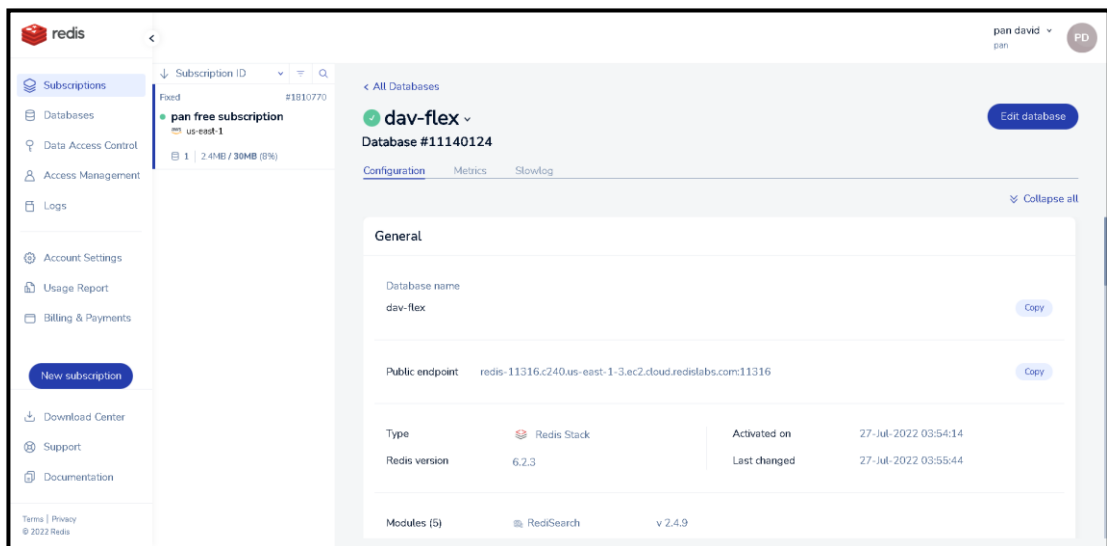


**Figura 18** Interfaz de Redmin.

**Elaborado por:** El investigador

### 3.7.10 Base de Datos

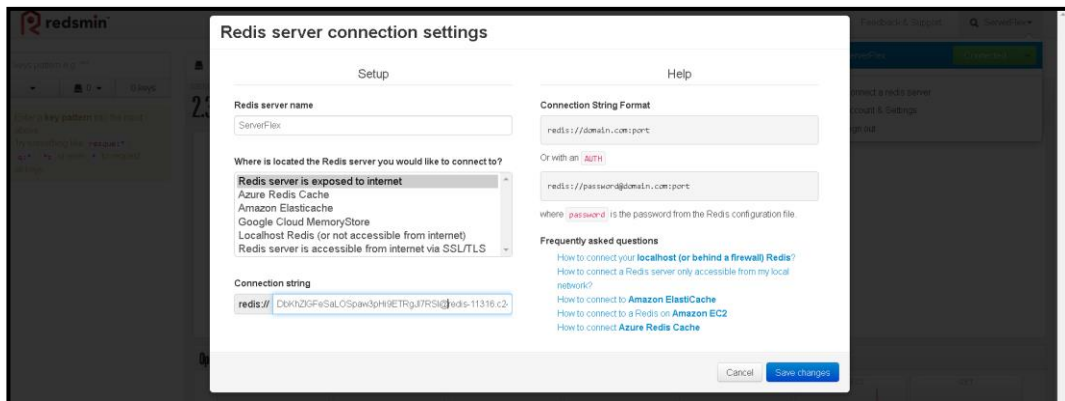
El sistema háptico está desarrollado en dos etapas, la de almacenamiento mediante la plataforma de Redis Cloud Console y la de visualización en Redmin, ambas plataformas son de la misma empresa Red, la cual permite un monitoreo, almacenamiento y seguridad de nuestros datos. En la figura 19 se puede apreciar los datos de configuración de nuestra base de datos, estos datos fueron utilizados para configurar la base de datos en nuestra aplicación móvil.



**Figura 19** Datos de configuración de la base de datos en Redis.

**Elaborado por:** El investigador

En la figura 20 podemos observar que los datos de la configuración brindada en Redis son indispensables para configurar la visualización de datos en Redmin.



**Figura 20** Configuración de los datos de Redis para visualizar en Redmin.

**Elaborado por:** El investigador

### 3.7.11 Diseño de control y conexiones

Al ser un guante el que posee el sistema háptico, los sensores del sistema no están soldados a una placa fija, los sensores poseen un sistema de cables dupont para una mejor ubicación en el guante, estos cables son conectados a la placa del microcontrolador para el análisis de datos como se observa en la figura 21.



**Figura 21** Guante conectado a los sensores mediante cables dupont

**Elaborado por:** El investigador

### 3.7.12 Cálculos de respaldo energético

El sistema háptico posee dos baterías DTP603450 de litio de 3,7V y 2000mAh, lo que le permite generar una autonomía de aproximadamente 13 horas, al realizar todas las pruebas posibles. Este tiempo de autonomía se toma en base al consumo de cada uno de los elementos que componen el sistema, lo cual es detallado en la tabla 8.

**Tabla 8** Consumo de potencia del circuito.

Consumo circuito		
	Corriente	Potencia
Sensores Flex	0,15 mA	0,2 W
Bluetooth hc06	40 mA	0,3 W
Led	3,0 mA	0,00058 W
Arduino uno	60 mA	0,46 W
Divisores de Voltaje	0,8 mA	0,15 W
Total	195,95 mA	1,11058 W

**Elaborado por:** El investigador

$W_b =$  Potencia de batería

$W_b =$  Voltaje . Intensidad (4)

$W_b = 2(3,7)V \cdot 2000mAh$

$W_b = 7,4V \cdot 2000mAh$

$W_b = 14,8 Wh$

$W_c =$  Potencia del circuito

$W_c = 1,11058 W$

$H = \frac{W_b}{W_c}$  Autonomia de bateria [24]

$H = \frac{14,8 Wh}{1,11058 W}$

$H = 13,32 h$

$W_b =$  Potencia de la batería.

$Wc = \text{Potencia circuito.}$

### 3.8 Presupuesto

Para el presupuesto del desarrollo del sistema háptico fueron considerados los componentes electrónicos, gastos que se produjeron en su desarrollo, siendo detallados en la tabla 9.

**Tabla 9** Presupuesto del Proyecto

Ítem	Detalle	Cantidad	Valor U.	Total
1	Sensor Flex	5	\$13,75	\$68,75
2	Placa Arduino uno	1	\$15,00	\$15,00
3	Bluetooth hc06	1	\$5,00	\$5,00
4	Guante	1	\$7,50	\$7,50
5	Cables dupont	1	\$4.50	\$4.50
6	Batería	2	\$5,00	\$10,00
7	Case	1	\$10,00	\$10,00
8	Alimentación	1	\$100	\$100,00
9	Transporte	1	\$75,00	\$75,00
10	Otros materiales	1	\$30,00	\$30,00
11	Copias	200	\$0.05	\$10,00
12	Internet	2 meses	\$40,00	\$80,00
<b>Subtotal</b>				<b>\$415,75</b>

**Elaborado por:** El investigador

Los valores presentados son generados por todos los costos directos e indirectos que se efectuaron en el desarrollo del dispositivo, estos valores obtenidos dan como costo del proyecto un total de \$415,75.



### 3.9 Costos de diseño

Para el costo estimados del sistema háptico de detección de niveles de artritis, partimos del tiempo empleado para el diseño, tomando como referencia el valor del sueldo básico de Ecuador que es de \$425,00, y valiéndonos de la tabla de referencia de sueldos referenciales de profesionales de Ecuador, podemos mencionar que el sueldo de un ingeniero Electrónico es un promedio de \$525,00.

Con los valores investigados procedemos con la siguiente ecuación, en base a las horas de trabajo, tomando como referencia 8 horas laborables al día, durante los 24 días por mes.

$$Salario_{hora} = \frac{Salario_{mensual}}{Días_{laborables} * Horas_{laborables}} [25]$$

$$Salario_{hora} = \frac{\$525}{24 * 8}$$

$$Salario_{hora} = \frac{\$525}{192}$$

$$Salario_{hora} = \$2.73$$

Para el desarrollo del sistema se toma un tiempo de 450h continuas, obteniendo el siguiente resultado:

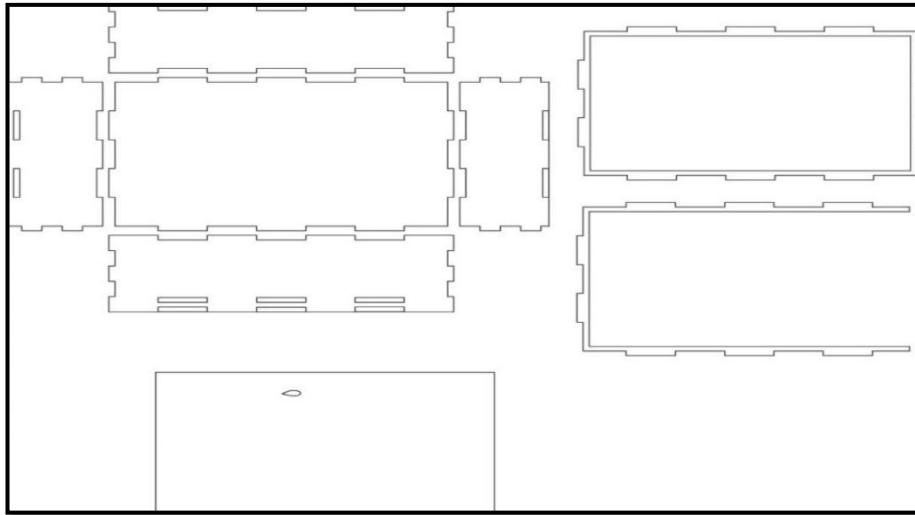
$$Diseño = 450 * 2.73$$

$$Diseño = \$ 1228,5$$

Generando un costo final del sistema de \$1644,25 donde está considerado el presupuesto del proyecto más el costo del diseño.

### 3.10 Esquema del case del Sistema háptico

El case de la placa microcontroladora del sistema háptico se basa en una carcasa construida en acrílico cuyas medidas son descritas en la figura 22. El acrílico al ser resistente y liviano facilita la utilización y protección de los componentes.



**Figura 22** Diseño carcaza del dispositivo háptico de 9 x 7 x 3 cm.

**Elaborado por:** El investigador

### 3.11 Pruebas de Funcionamiento

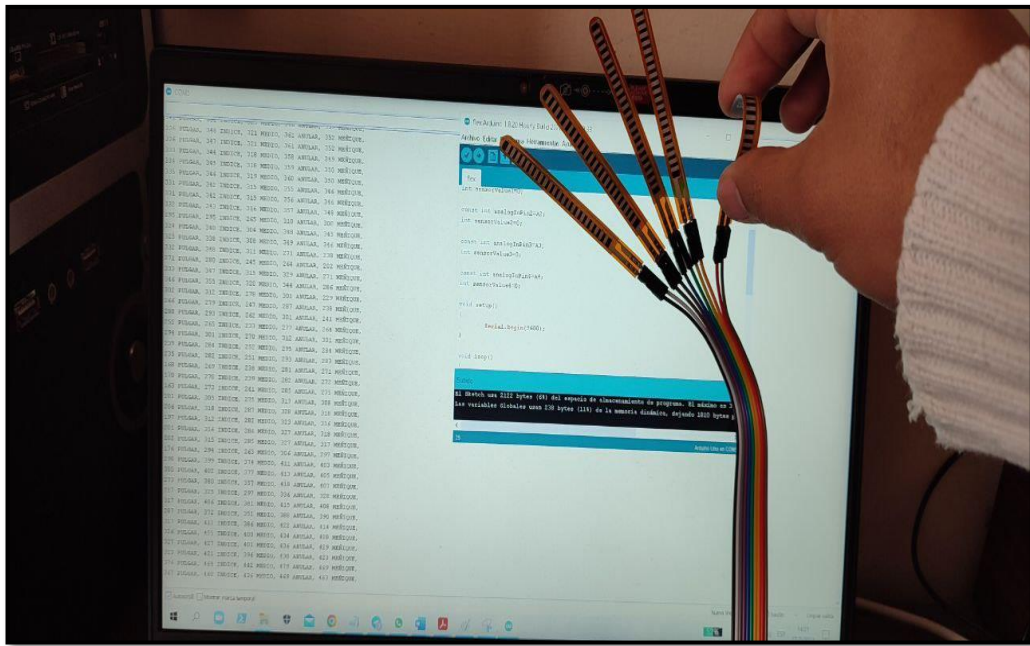
Para la calibración del sistema se utilizó un total de 300 muestras, para lo cual se tomó como referencia 0 grados cuando la mano está en total extensión, como se aprecia en la figura 23.



**Figura 23** Prueba con extensión total de los sensores.

**Elaborado por:** El investigador

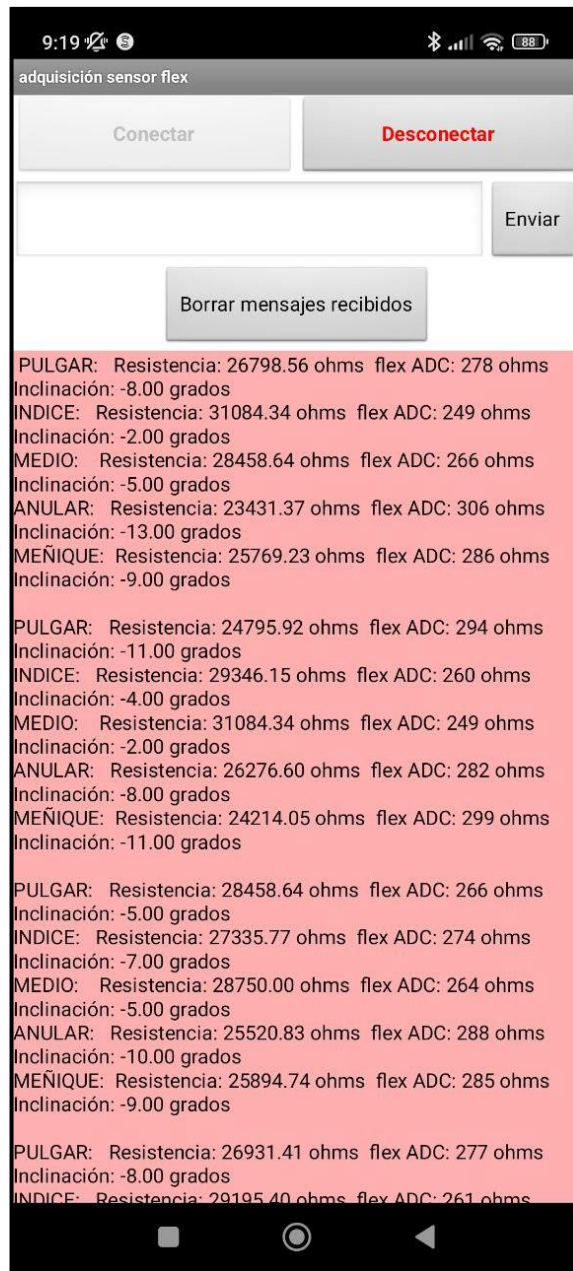
Para la calibración en referencia a la totalidad de flexión se tiene como resistencia del sensor flexible un valor hasta 125000 ohmios lo que corresponde a 180 grados cuando el dedo de la mano está totalmente flexionado, como se aprecia en la figura 24.



**Figura 24** Prueba con flexión total de los sensores.

**Elaborado por:** El investigador

Las muestras se calibraron en base a dos parámetros, flexión y extensión, los valores negativos se producen cuando las personas poseen la habilidad de extender los dedos más de lo normal, por lo que generan una flexión hacia la parte posterior de los mismos, estos valores pueden ser apreciados en la figura 25.



**Figura 25** Resultados de la calibración del sistema

**Elaborado por:** El investigador

En el sistema háptico desarrollado en esta investigación podemos explicar que:

Como primer paso se tiene el diseño e implementación del prototipo, el cual está compuesto de un sistema controlado por una placa de microcontrolador Arduino Uno, la cual cumple la función de adquisición y control de datos. La adquisición de los datos se realizó mediante sensores flexibles, estos sensores flexibles trabajan de manera

lineal, según su flexión o extensión; los valores de resistencia varían ascendente o descendentemente.

Los datos obtenidos fueron procesados y parametrizados de tal manera que el médico tratante comprenda los datos recibidos, la parametrización se realizó mediante el mapeo de los datos, teniendo en cuenta el valor de resistencia más bajo en extensión para ser considerado 0° y el valor máximo de resistencia en flexión para ser considerado como 180°, ángulos que representan el movimiento de los dedos de la mano.

Luego que los valores fueron parametrizados y verificado mediante las pruebas de funcionamiento, estos datos son enviados a la aplicación móvil, la cual estaba previamente cargada en el dispositivo.

Como segundo paso se tiene la aplicación móvil, la cual fue desarrollada en AppInventor, ya que nos facilitaba las opciones para vincularse con la base de datos de Redmis. En la aplicación tenemos los controles de usuario, nuevo registro de usuario, visualización de datos y almacenamiento en la nube.

Como primer control se tiene la opción de acceder mediante un usuario registrado o realizar el nuevo registro; si se posee un usuario los datos que nos pide la aplicación es del nombre de usuario y la contraseña para poder acceder a las demás funciones de la aplicación, si uno de estos datos es erróneo o no existe en la base de datos, aparecerán los respectivos mensajes sea el de usuario no registrado o de datos incorrectos.

Para la creación de un nuevo usuario se presenta una interfaz donde se debe ingresar información relevante para crear una ficha del nuevo paciente; en esta interfaz se solicita la siguiente información: nombre completo, email, nombre de usuario y contraseña. Si el nombre de usuario ya existe en la base de datos se presentará un mensaje de información para que se cambie por otro nombre de usuario, luego de que los datos serán correctos estos se almacenasen en la base de datos y se volverá a la interfaz de acceso.

Una vez que el usuario ingrese sus datos correctos se pasará a la interfaz de visualización de datos donde se visualizará todos los datos que son obtenidos por los sensores y parametrizados para un mejor entendimiento sea del paciente y del médico

tratante, en esta interfaz se visualiza información de cada uno de los dedos. La información relevante para el médico especialista es la inclinación o grados de flexión de cada uno de los dedos, esta información va a depender de la posición de extensión o flexión que este realizando el paciente, los valores o ángulos negativos son resultado de una extensión de los dedos mayor a la que se toma como referencia, la referencia para  $0^\circ$  es la palma con dedos extendidos sin tener ninguna extensión hacia la parte posterior.

Luego de obtener varias muestras los datos son enviados a la base de datos, donde se mantiene un registro, el cual le puede ayudar al médico tratante a verificar un progreso o degeneración de los dedos afectados, esta información le servirá al médico para generar un diagnóstico de la enfermedad.

Como tercer paso se tiene la información almacenada en la base de datos, esta información será visualizada mediante la plataforma Redmis propia de la empresa Red, la cual aloja en sus servidores a la base de datos de Redis. El acceso a la base de datos como al visualizador se lo realiza mediante un correo electrónico, el cual debe ser registrado en la creación de la base de datos, esta base de datos no posee ningún costo.

Como producto final tenemos un sistema de detección de niveles de artritis, mediante la medición de grados de flexionamiento de las manos, el cual sirve para que el médico especialista genere un diagnóstico de la afección muscular y articular producida por la Artritis Reumatoide, el médico tratante también puede realizar el seguimiento del paciente mediante los datos almacenados en la base de datos, estos datos pueden ayudar para verificar si el paciente está en el proceso degenerativo o desinflamatorio.

### **3.12 Resultados**

En Ecuador la prevalencia de artritis reumatoide en la población es del 0,9% y estos datos van en aumento ya que los sistemas de control no son accesibles para toda la población.

Según los datos del sistema público de Salud, en el país solo 2 de cada 10 casos de Artritis Reumatoide son atendidos prematuramente, el resto de pacientes llegan al sistema de salud pública cuando el cuadro se encuentra en un nivel crítico.

El diagnóstico generado en base a la información obtenida por el sistema háptico para la detección de niveles de artritis fue puesto a prueba en pacientes con inflamación de

músculos en manos y pacientes con Artritis Reumatoide nivel leve y grave, en base a una muestra de 20 personas la efectividad del sistema fue del 100%, los resultados y análisis de estas muestras se presenta en la tabla 10.

Como análisis de los resultados de los 20 pacientes analizados podemos deducir que en su gran mayoría las personas que poseen esta afectación son mayores de 60 años, por diversas situaciones sus articulaciones se ven afectadas, los resultados podemos visualizar en la tabla 10.

**Tabla 10** Resultados de pruebas.

	VALORES DE REFERENCIA	MOVIMIENTO	PULGAR	INDICE	MEDIO	ANULAR	MEÑIQUE
		EXTENSIÓN	0	0	0	0	0
		MEDIA FLEXIÓN	80 -110	90 -120	90 -120	90 -120	90 -120
		FLEXIÓN	150	180	180	180	180
		VALORES MEDIDOS					
PACIENTE	SEXO	MOVIMIENTO	PULGAR	INDICE	MEDIO	ANULAR	MEÑIQUE
A	FEMENINO	EXTENSIÓN	25	35	40	43	30
		MEDIA FLEXIÓN	75	85	90	87	105
		FLEXIÓN	80	103	108	105	115
B	MASCULINO	EXTENSIÓN	40	53	54	53	42
		MEDIA FLEXIÓN	71	79	82	84	81
		FLEXIÓN	86	98	101	100	99
C	MASCULINO	EXTENSIÓN	2	5	3	1	0
		MEDIA FLEXIÓN	83	96	89	93	92
		FLEXIÓN	139	168	174	176	177
D	FEMENINO	EXTENSIÓN	41	56	60	58	55
		MEDIA FLEXIÓN	58	60	62	61	63
		FLEXIÓN	61	66	63	64	62
E	FEMENINO	EXTENSIÓN	2	1	2	3	1
		MEDIA FLEXIÓN	93	95	94	94	95
		FLEXIÓN	147	186	188	186	184
F	FEMENINO	EXTENSIÓN	10	7	5	4	4
		MEDIA FLEXIÓN	80	76	69	73	71
		FLEXIÓN	101	93	91	85	89

G	MASCULINO	EXTENSIÓN	39	52	51	54	44
		MEDIA FLEXIÓN	74	83	81	82	83
		FLEXIÓN	81	99	103	109	101
H	MASCULINO	EXTENSIÓN	2	1	2	1	0
		MEDIA FLEXIÓN	93	96	95	97	95
		FLEXIÓN	145	178	177	179	175
I	MASCULINO	EXTENSIÓN	28	28	42	46	32
		MEDIA FLEXIÓN	71	79	85	83	79
		FLEXIÓN	86	94	96	92	95
J	MASCULINO	EXTENSIÓN	41	56	60	58	55
		MEDIA FLEXIÓN	58	60	62	61	63
		FLEXIÓN	61	66	63	64	62
K	MASCULINO	EXTENSIÓN	2	1	3	2	2
		MEDIA FLEXIÓN	35	31	29	32	31
		FLEXIÓN	45	48	51	47	51
L	FEMENINO	EXTENSIÓN	20	26	27	24	29
		MEDIA FLEXIÓN	76	84	86	89	85
		FLEXIÓN	93	96	99	100	102
M	FEMENINO	EXTENSIÓN	4	5	3	7	8
		MEDIA FLEXIÓN	16	18	21	19	22
		FLEXIÓN	24	26	25	25	26
Ñ	FEMENINO	EXTENSIÓN	4	5	3	6	4
		MEDIA FLEXIÓN	64	69	71	75	74
		FLEXIÓN	81	87	83	84	85
O	MASCULINO	EXTENSIÓN	0	2	1	0	1
		MEDIA FLEXIÓN	98	101	103	101	102
		FLEXIÓN	149	175	177	177	176
P	MASCULINO	EXTENSIÓN	2	5	8	3	1
		MEDIA FLEXIÓN	86	95	93	99	93
		FLEXIÓN	141	176	182	187	186
Q	FEMENINO	EXTENSIÓN	0	1	1	2	3
		MEDIA FLEXIÓN	95	91	91	94	97
		FLEXIÓN	146	178	179	178	178
R	FEMENINO	EXTENSIÓN	39	54	57	56	55
		MEDIA FLEXIÓN	69	75	73	74	74
		FLEXIÓN	91	97	99	97	98
S	FEMENINO	EXTENSIÓN	31	33	35	34	32
		MEDIA FLEXIÓN	73	81	86	84	85
		FLEXIÓN	91	95	97	95	94
T	FEMENINO	EXTENSIÓN	2	4	3	2	4
		MEDIA FLEXIÓN	94	89	93	92	91
		FLEXIÓN	148	176	181	182	187

**Elaborado por:** El investigador

En el presente podemos observar que los valores obtenidos dan muestra que un 70% de los pacientes padecen de un grado de Artritis Reumatoide. Estos pacientes ya fueron diagnosticados previamente mediante métodos tradicionales y mediante la medición con el dispositivo háptico se corrobora y verifico que los datos son correctos y el sistema háptico es un sistema confiable. La variación entre las mediciones obtenidas



con el sistema háptico y métodos tradicionales fue el 3% como lo puede certificar el médico especialista, adjunto en el anexo 3.

El análisis para determinar el número de pacientes que padecen un cuadro médico de Artritis Reumatoide, se basa en: “Obtención del rango de movilidad de los dedos índice, medio, anular y meñique”, “La mano. Aspectos anatómicos I. Generalidades, osteología y artrología” y “Biomecánica y patrones funcionales de la mano”. [26][27][28]

En estos estudios se analiza el rango angular de la movilidad de los dedos, donde se explica un rango de movilidad de las personas sin ninguna afectación a la mano o dedos y haciendo una comparación para personas que padecen alguna enfermedad muscular o articular con su rango de movimiento. Como resultado obtienen que el rango de movilidad de los dedos de la mano en una persona sin ninguna afectación de 87,33° hasta 97,33°, dando como tolerancia 2° en relación al límite inferior el cual será desde 85,33°, el análisis de resultados podemos observar en la tabla 11.

**Tabla 11** Análisis de resultados.

<b>PACIENTE</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
<b>PROMEDIO</b>	75,07	74,87	85,07	59,33	91,40
<b>PACIENTE</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>	<b>I</b>	<b>J</b>
<b>PROMEDIO</b>	57,20	75,73	89,07	69,07	59,33
<b>PACIENTE</b>	<b>K</b>	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>Ñ</b>	<b>O</b>
<b>PROMEDIO</b>	27,33	69,07	16,60	53,00	90,87
<b>PACIENTE</b>	<b>P</b>	<b>Q</b>	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>T</b>
<b>PROMEDIO</b>	90,47	88,93	73,87	69,73	89,87
<b>PACIENTES EN RANGO NORMAL</b>				6	30%
<b>PACIENTES EN RANGO CON AFECTACIÓN</b>				14	70%

**Elaborado por:** El investigador

Los pacientes analizados ya padecen de un cuadro agudo y grave de la afección de Artritis Reumatoide, dichos pacientes se encuentran en proceso de recuperación de la movilidad de sus manos, y al ser una enfermedad degenerativa este proceso solo les ayuda aliviar el dolor que genera esta enfermedad, el diagnóstico de los pacientes se los agrupado en rangos lo que se puede observar en la tabla 12.

**Tabla 12** Diagnostico en base a los resultados.

<b>DIAGNOSTICO</b>	<b>RANGO</b>
NORMAL	87° A 97°
LEVE	75° A 85°
AGUDO	50° A 74°
GRAVE	MENOR A 49°
<b>DIAGNOSTICO</b>	<b>PACIENTES</b>
<b>LEVE</b>	<b>4</b>
<b>AGUDO</b>	<b>8</b>
<b>GRAVE</b>	<b>2</b>
<b>NORMAL</b>	<b>6</b>

**Elaborado por:** El investigador fuente “Guía de Práctica Clínica para el Manejo de Pacientes con Artritis Reumatoide”[13]

En base a los resultados obtenidos se puede brindar un diagnóstico previo a los pacientes según se promedió de flexibilidad, de esta forma se obtuvo que: 6 pacientes no presentan ningún cuadro de atrofia muscular, 4 pacientes poseen un cuadro leve de inflamación, 8 pacientes presentan un cuadro agudo en la movilidad de sus manos y 2 pacientes presentan un cuadro grave en la atrofia de sus manos.

## CAPITULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- En base al análisis de los datos recopilados en la investigación , se puede concluir que en Ecuador la población que padece Artritis Reumatoide, superan los 60 años de edad, en su gran mayoría carecen de recursos económicos al ser una población en edades vulnerables, en el desarrollo de nuestro proyecto evidenciamos que en la muestra de 20 personas que fueron evaluadas, 12 de ellas superaban los 60 años de edad, de las cuales el 75% padecía un grado de Artritis en sus manos, de esta manera podemos concluir que las personas con edades avanzadas son propensas a desarrollar esta enfermedad.
- Los sistemas tradicionales para la medición de los niveles de artritis no optimizan el tiempo de las personas involucradas, sean estos pacientes o médicos tratantes. La implementación del sistema háptico ayudó a optimizar los recursos como es el tiempo y el número de exámenes que se realizaba para determinar el diagnóstico de un paciente; el sistema háptico desarrollado como proyecto de investigación ayuda al médico tratante al diagnóstico y seguimiento de la evolución de la enfermedad en cada uno de sus pacientes ya que este sistema háptico muestra una efectividad del 100%, datos obtenidos de un total de 20 personas diagnosticas en un periodo de 30 días, los valores fueron comparados con los resultados obtenidos por los pacientes mediante pruebas de radiografías realizadas al inicio de su diagnóstico.
- En el análisis de los parámetros que intervienen en la movilidad de las manos las cuales están afectados por Artritis Reumatoide podemos concluir que el principal signo es la inflamación muscular y la atrofia de las articulaciones, en base a estos parámetros podemos afirmar que la presión arterial se ve afectada por dichas inflamaciones y atrofias, siendo esté un indicativo para el control temprano de la enfermedad ya que mientras más tiempo transcurra el grado de afectación aumenta.
- Los principales puntos de referencia son las articulaciones o nudillos ya que de estos nacen los movimientos de los dedos, al ser estos afectados por la Artritis se concluye que estos son los puntos estratégicos donde se debe realizar las mediciones para detectar las anomalías o los niveles de afectación, mediante el

grado de flexibilidad, para medir este grado de flexibilidad se ubicó los sensores en posición que cubra todos los puntos estratégicos de cada dedo.

- La falta de sistemas hápticos especializados para analizar el rango de flexibilidad de las manos ha permitido desarrollar sistemas basados en software y hardware libre, utilizando componentes electrónicos de bajo costo y de fácil acceso sin perder la funcionalidad del sistema por lo que es considerado un sistema innovador y económico, basado en tecnología Bluetooth y tecnología Wifi disponible en la mayoría de dispositivos móviles, permitiendo el envío de información al dispositivo móvil y a la base de datos alojada en la plataforma Redis Cloud Console, proporcionando confidencialidad y seguridad de los datos obtenidos, siendo esta de fácil uso para el paciente y el médico especialista, puesto que la mayor parte de la población que padecen Artritis Reumatoide superan los 60 años de edad.

## 4.2 Recomendaciones

- Para efectos de mejora es importante considerar las tolerancias en el diseño de cada uno de los elementos para evitar los problemas de cálculo al momento de ensamblar el dispositivo.
- Se puede ampliar el sistema de detección e implementar la etapa de rehabilitación de los pacientes con Artritis Reumatoide en manos, para dicha etapa de implementación se deberá tomar en cuenta la gravedad de la enfermedad.
- Se puede cambiar la cantidad de información solicitada en el registro de usuario para mantener un registro global del paciente y de los padecimientos que posee a consecuencia de la Artritis Reumatoide en manos.
- Se sugiere crear un sistema de respaldo de almacenamiento de datos, ya que en algunas partes del país el acceso a internet es limitado y este proyecto se desarrolló en el área urbana donde el acceso a internet es continuo y se trabaja con una base de datos en la nube.
- Para ser un dispositivo comercial de bajo costo y de fácil acceso se recomienda cambiar la estructura del sistema en algo más compacto siendo apto para la producción y distribución en masa.
- Se recomienda crear un proceso adicional en la aplicación móvil donde se guarde automáticamente una captura de pantalla del diagnóstico al momento de que el sistema no cuente con comunicación wifi para el almacenamiento del diagnóstico en la base de datos.

## Bibliografía

- [1] Swati Bhisikar, Sujata Kale y Alok Yermalkar, "Motion Sensing Gloves for Arthritis Patients", Revista internacional de investigación innovadora en tecnología IJIRT, 2020.
- [2] R. Moya T. Magal y D. Ponce, "Tecnologías digitales innovadoras para el diseño de exoesqueletos para la mano aplicados en la rehabilitación de pacientes con artritis crónica", INNODOCT2020, Valencia-España, 2020.
- [3] D. Huamanchahua, K. Heredia, L. Huanay, A. Pérez, "Diseño de un guante terapéutico (exoesqueleto de mano) con control independiente de cada dedo para rehabilitación motora de extensión y flexión para personas con artritis y ACV", CONGRESO INTERNACIONAL INVESTIGACIONES PARA INGENIERIA BIOMEDICA Y BIOINGENIERIA CI-IB&BI, Colombia 2019..
- [4] Tirado Amparo, Marin Raúl, Martí Jose "Biosensores para la rehabilitacion", 2018.
- [5] Salazar Escobar Ivan Antonio y Vega Delgado Diego Armando "Diseño e implementación de un sistema de percepción háptica para la rehabilitación virtual de personas con problemas de motricidad fina causados por accidentes cerebrovasculares", 2019.
- [6] James Connolly y otros, "INU Sensor-Based Electronic Goniometric Glove for Clinical Finger Movement Analysis", 2018.
- [7] F. González, W. Vargas, "Dispositivo electrónico para la medición de la rigidez de la mano en pacientes con la enfermedad de Parkinson", Universidad de la Costa, CUC, Barranquilla-Colombia, 2017.
- [8] B. Araujo, A. Chirinos, "Prototipo de sistema de complementación para la rehabilitación motriz de la mano derecha de las personas con artritis reumatoide", UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS, Lima-Perú, 2017.
- [9] J. Barrera, K. Bohorquez y J. Ochoa, "Diseño de un dispositivo que coadyuve a personas con discapacidad motriz artritis reumatoide en las manos en el proceso de maquillarse", Universidad ECCi, Bogota-Colombia, 2017.
- [10] Mrs Swati A. Bhisikar y Dr. Sujata N. Kale "Automatic Joint Detection and Measurement of Joint Space Width in Arthritis", 2016.
- [11] Yessenia Cruz-Castillo, Nadia Montero, Rosa Salazar-Ponce y Rómulo Villacis-Tamayo "Calidad de vida en pacientes ecuatorianos con artritis reumatoide: un estudio transversal," Article in Press, Sociedad Española de Reumatología – Colegio

- Mexicano de Reumatología, G Model, REUMA-1125, 2017. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/13487/1/Calidad%20de%20vida%20en%20pacientes%20ecuatorianos%20con%20artritis%20reumatoide.pdf>
- [12] Banfi MA. Artritis Reumatoide. Revista de Reumatología. Barranquilla, Colombia 213. Acceso 25-07-2013. Disponible en: <http://www.encolombia.com/medicina/revistasmedicas/reumatologia/vol-722000/reuma722000-epidemiolo>
- [13] Grupo GUIPCAR, “Guía de Práctica Clínica para el Manejo de Pacientes con Artritis Reumatoide”, Sociedad Española de Reumatología, 2018. Disponible en <https://www.ser.es/wp-content/uploads/2018/09/Guía-de-Práctica-Clínica-para-el-Manejo-de-Pacientes-con-Artritis-Reumatoide.pdf>
- [14] Miguel Ángel Belmonte Serrano “Is the DAS28 Score the Most Adequate Method to Estimate Activity in Rheumatoid Arthritis? Clinimetric Considerations and Simulations Scenarios”, Sección de Reumatología. Hospital General de Castellón. Castellón de la Plana. Castellón. España, 2008.
- [15] Morales López Ariana “Reumatología, Artritis reumatoide”, Revista medica de Costa Rica y Centroamérica LXX. Costa Rica 2013
- [16] “Guía de Práctica Clínica para el Manejo de Pacientes con Artritis Reumatoide”, Guipcar’17 Sociedad Española de Reumatologia. España 2018
- [17] J. L. Monteagudo, L. Serrano, C. Hernández Salvador, “La telemedicina: ¿Ciencia o ficción? ”, An. Sist. Navar. 2005. Disponible en <http://scielo.isciii.es/pdf/asisna/v28n3/colaboracion.pdf>
- [18] Vera Zasúlich Perez Ariza, Mauricio Santís Chaves “Interfaces Hapticas: Sistemas Cinestésicos vs Sistemas Táctiles”, Universidad EIA, Envigado Colombia, 2016. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n26/n26a02.pdf>.
- [19] Core.ac.uk. 2021. [online] Available at: <<https://core.ac.uk/download/pdf/81581111.pdf>> [Accessed 2 August 2021].
- [20] Redes Móviles. 2021. [online] Available at:<<https://redesmoviles.com/iot/arquitecturas-iot/>> [Accessed 2 August 2021].
- [21] INCIBE-CERT. 2019. IoT: protocolos de comunicación, ataques y recomendaciones. [online] Available at: <<https://www.incibe-cert.es/blog/iot-protocolos-comunicacion-ataques-y-recomendaciones>> [Accessed 30 November 2021].

- [22] Luis Llamas. 2019. Protocolos de comunicación para IoT. [online] Available at: <<https://www.luisllamas.es/protocolos-de-comunicacion-para-iot/>> [Accessed 30 November 2021].
- [23] Barbara IoT. 2021. Protocolos de comunicación en IoT que deberías conocer. [online] Available at: <<https://barbaraiot.com/blog/protocolos-iot-que-deberias-conocer/>> [Accessed 30 November 2021].
- [24] Autonomía de baterías Available at: <<https://coelectrix.com/calcular-la-autonomia-de-una-bateria/>>.
- [25] Salario digno, cálculos importantes at: <<https://sites.google.com/site/legislacionlottt/calculos-importantes>>.
- [26] A. Barrera, E. Merchán, R. Rodríguez, D. Hernández, G. Hernández, “Obtención del rango de movilidad de los dedos índice, medio, anular y meñique”, Memorias del XXIII Congreso Internacional Anual de la SOMIM, Cuernavaca, Morelia, México, 2017.
- [27] D. Rodríguez, C. Ruiz, M. Nieto, S. Leuro, M. Gómez, “La mano. Aspectos anatómicos I. Generalidades, osteología y artrología”, Morfolia -Vol 12 -No 1 –2020.
- [28] L. Arias, “Biomecánica y patrones funcionales de la mano”, Morfolia – Vol4 N°1 – 2012
- [29] Cobo, D y Daza, P. (2013). Signos vitales en pediatría.
- [30] S. Penagos, L. Salazar, F. Vera. Control de signos vitales, CApitulo XV, Fundación Cardioinfantil, Bogota, 2012
- [31] L. M. Suárez Gaviria, «Guía de signos vitales e índice de masa corporal», Documentos Trab. Areandina, n.º 1, dic. 2018.
- [32] R. Ramos, B. Romero, A. Castellano, J. Gentil, Síndrome de Movilidad articular limitada en niña diabética. 2011.
- [33] J. Pacuales, Rehabilitación de la mano, Universidad de Ciencias Medicas de Guantánamo, 2008.



## ANEXO 1: Programación en IDE Arduino

```
const int FLEX_PIN = A0;

const int FLEX_PIN1 = A1;

const int FLEX_PIN2 = A2;

const int FLEX_PIN3 = A3;

const int FLEX_PIN4 = A4;

const float VCC = 4.98;

const float R_DIV = 10000.0;

const float extension = 32500.0;

const float flexion = 95000.0;

void setup()

{

    Serial.begin(9600);

    pinMode(FLEX_PIN, INPUT);

    pinMode(FLEX_PIN1, INPUT);

    pinMode(FLEX_PIN2, INPUT);

    pinMode(FLEX_PIN3, INPUT);

    pinMode(FLEX_PIN4, INPUT);

}

void loop()

{

    //PULGAR

    int flexADC = analogRead(FLEX_PIN);
```

```

float flexV = flexADC * VCC / 1023.0;

float flexR = R_DIV * (VCC / flexV - 1.0);

float angle = map(flexR, extension, flexion,0, 90.0);

// INDICE

int flexADC1 = analogRead(FLEX_PIN1);

float flexV1 = flexADC1 * VCC / 1023.0;

float flexR1 = R_DIV * (VCC / flexV1 - 1.0);

float angle1 = map(flexR1, extension, flexion,0, 90.0);

//MEDIO

int flexADC2 = analogRead(FLEX_PIN2);

float flexV2 = flexADC2 * VCC / 1023.0;

float flexR2 = R_DIV * (VCC / flexV2 - 1.0);

float angle2 = map(flexR2, Sextension, flexion,0, 90.0);

// ANULAR

int flexADC3 = analogRead(FLEX_PIN3);

float flexV3 = flexADC3 * VCC / 1023.0;

float flexR3 = R_DIV * (VCC / flexV3 - 1.0);

float angle3 = map(flexR3, extension, flexion,0, 90.0);

// MEÑIQUE

int flexADC4 = analogRead(FLEX_PIN4);

float flexV4 = flexADC4 * VCC / 1023.0;

float flexR4 = R_DIV * (VCC / flexV4 - 1.0);

float angle4 = map(flexR4, extension, flexion,0, 90.0);

```

```
/*PULGAR*/Serial.println("PULGAR: Resistencia: " + String(flexR) + " ohms " + "flex ADC: " + String(flexADC) + " ohms " + "Inclinación: " + String(angle) + " grados");
```

```
/*INDICE*/Serial.println("INDICE: Resistencia: " + String(flexR1) + " ohms " + "flex ADC: " + String(flexADC1) + " ohms " + "Inclinación: " + String(angle1) + " grados");
```

```
/*MEDIO*/Serial.println("MEDIO: Resistencia: " + String(flexR2) + " ohms " + "flex ADC: " + String(flexADC2) + " ohms " + "Inclinación: " + String(angle2) + " grados");
```

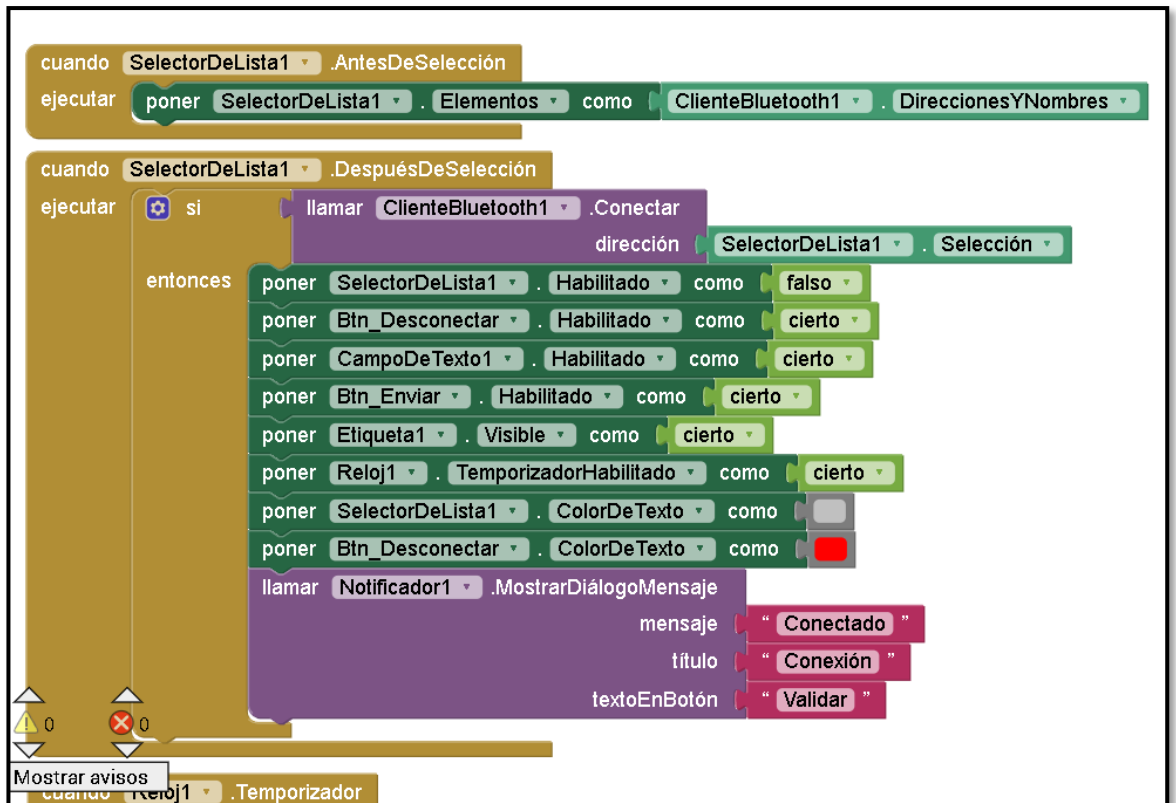
```
/*ANULAR*/Serial.println("ANULAR: Resistencia: " + String(flexR3) + " ohms " + "flex ADC: " + String(flexADC3) + " ohms " + "Inclinación: " + String(angle3) + " grados");
```

```
/*MEÑIQUE*/Serial.println("MEÑIQUE: Resistencia: " + String(flexR4) + " ohms " + "flex ADC: " + String(flexADC4) + " ohms " + "Inclinación: " + String(angle4) + " grados");
```

```
Serial.println("");
```

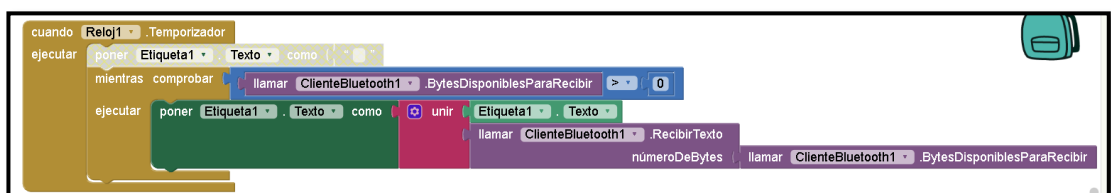
```
delay(3000);
```

## ANEXO 2: Diagramas de bloque del desarrollo de la aplicación móvil



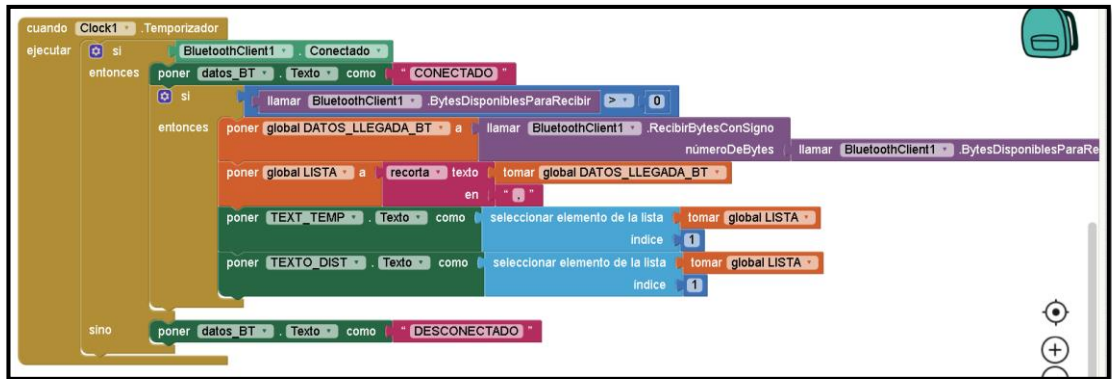
**Figura 26** Conexión a Bluetooth

**Elaborado por:** El investigador

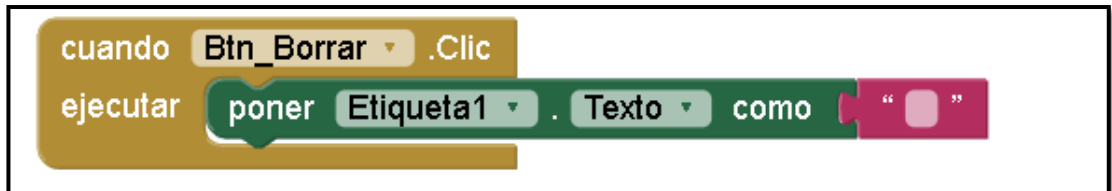


**Figura 27** Recepción de datos por Bluetooth

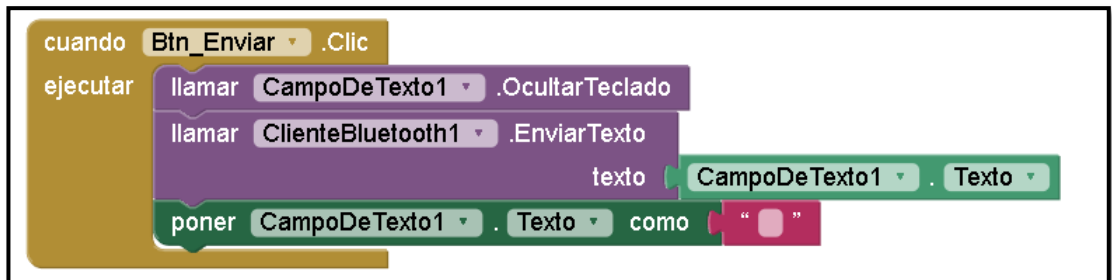
**Elaborado por:** El investigador



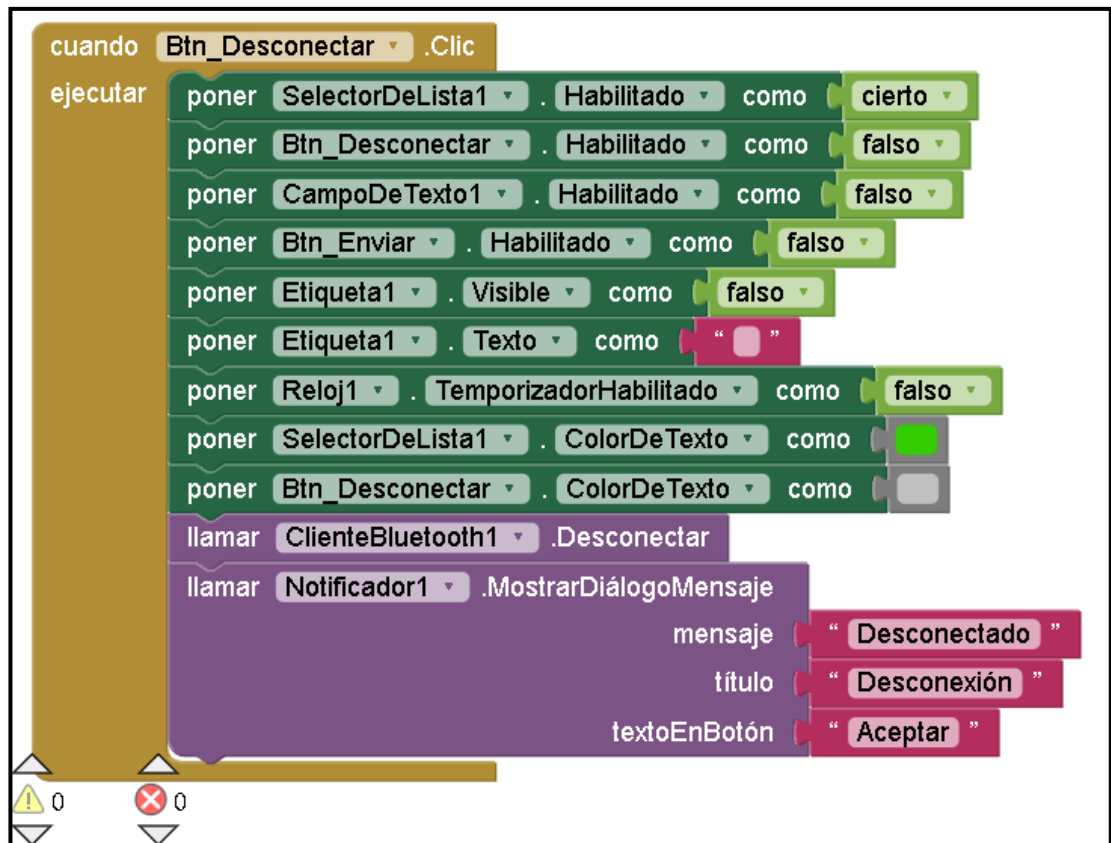
**Figura 28** Procesamiento de datos obtenidos por Bluetooth  
**Elaborado por:** El investigador



**Figura 29** Borrado de datos recibidos  
**Elaborado por:** El investigador

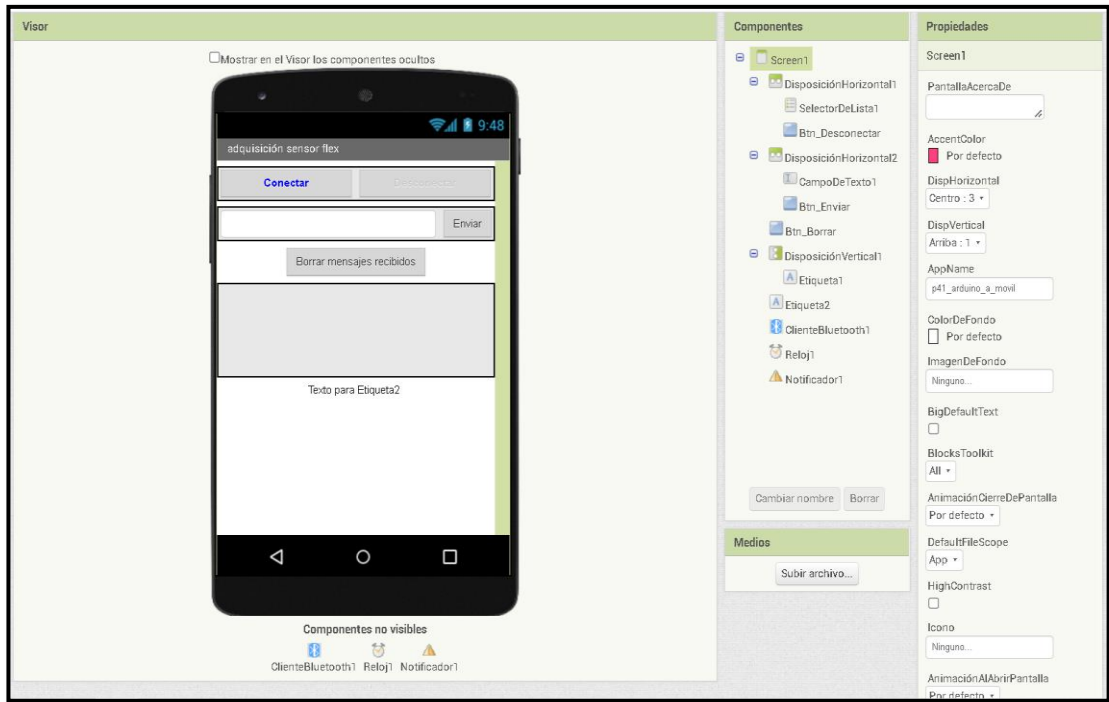


**Figura 30** Cambio de interfaz y borrado de contenedores  
**Elaborado por:** El investigador



**Figura 31** Desconexión del Bluetooth

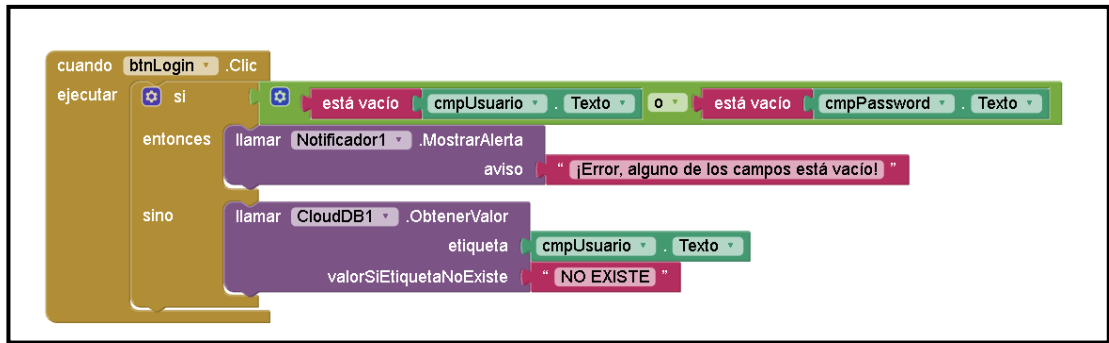
**Elaborado por:** El investigador



**Figura 32** Interfaz de la adquisición  
**Elaborado por:** El investigador



**Figura 33** Interfaz de inicio de la aplicación  
**Elaborado por:** El investigador



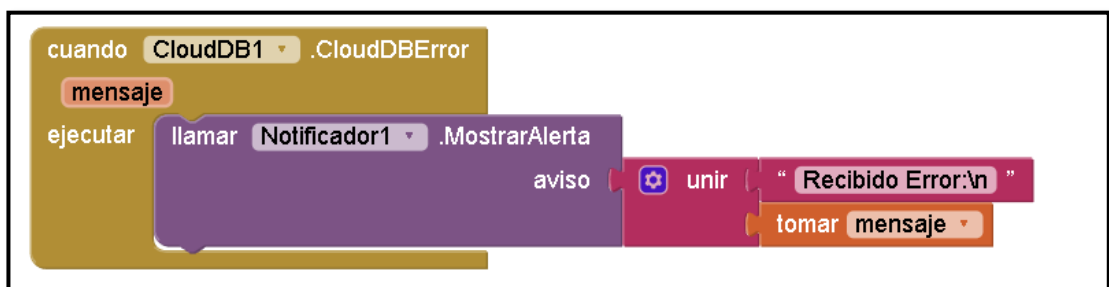
**Figura 34** Control de inicio de sesión por usuario

**Elaborado por:** El investigador



**Figura 35** Botón para registro y salida de la aplicación

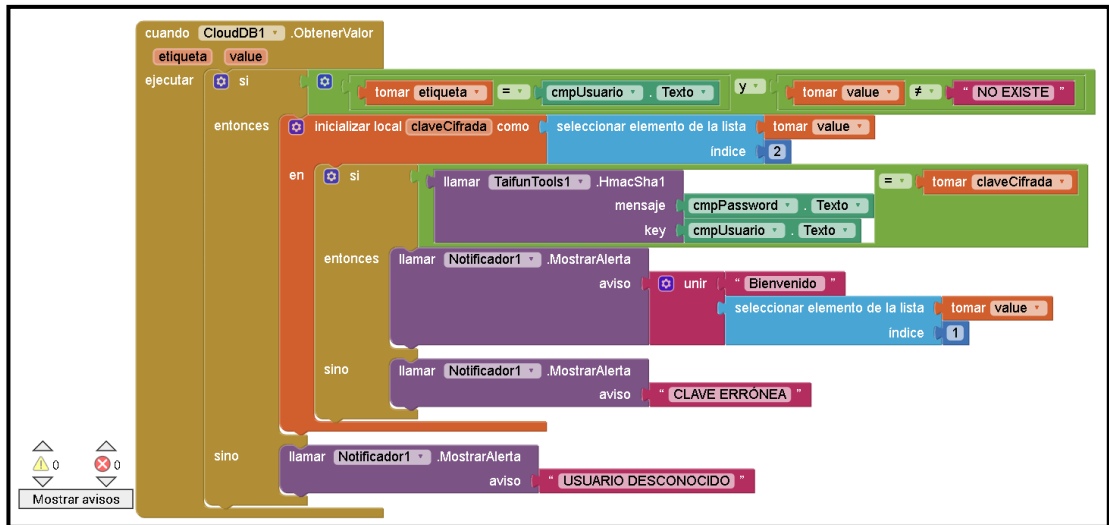
**Elaborado por:** El investigador



**Figura 36** Verificación de errores en conexión con la nube

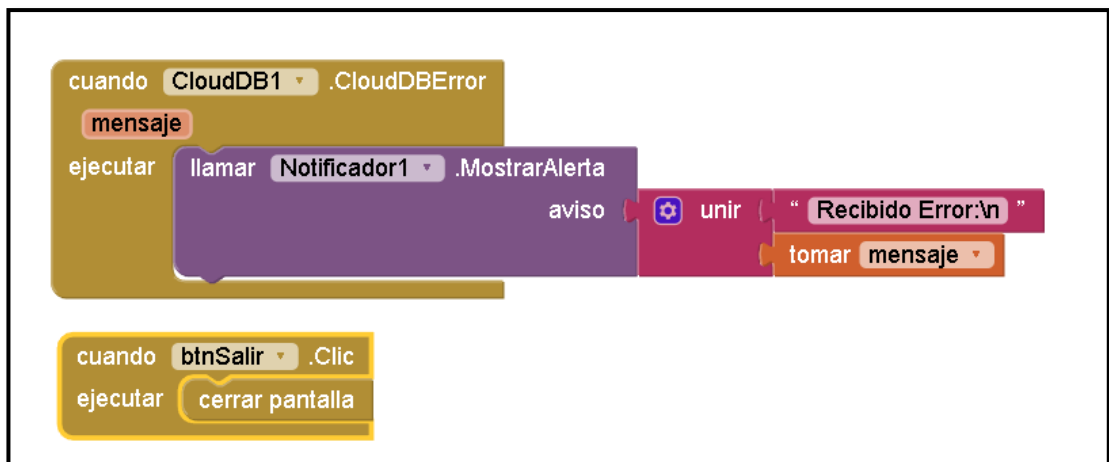
**Elaborado por:** El investigador





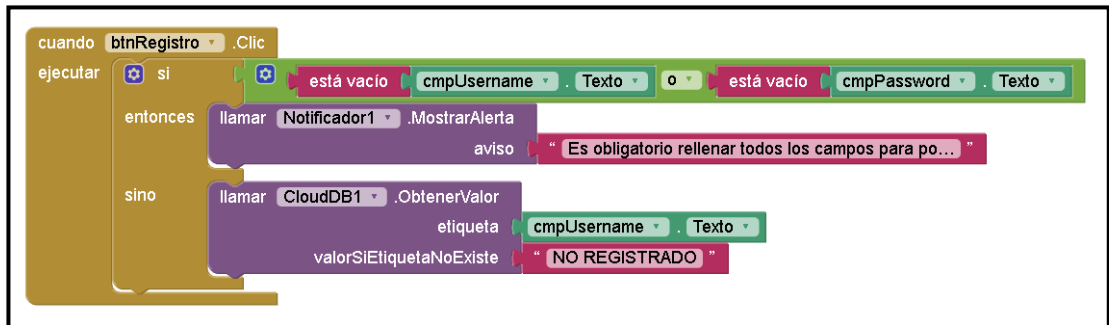
**Figura 37** Control de acceso al usuario

Elaborado por: El investigador



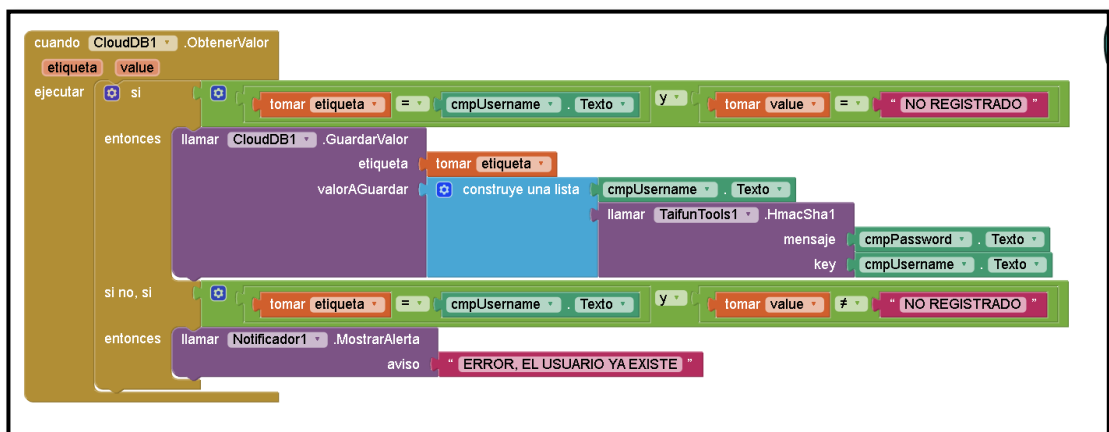
**Figura 38** Control de errores de conexión con la nube y salir del registro

Elaborado por: El investigador



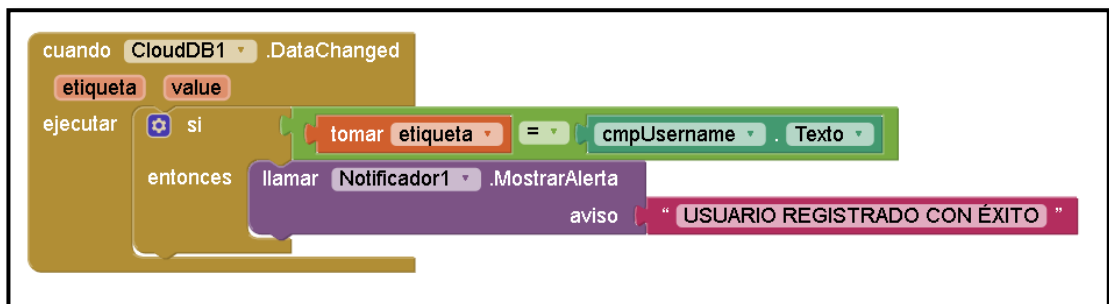
**Figura 39** Control de ingreso de datos en el registro

**Elaborado por:** El investigador



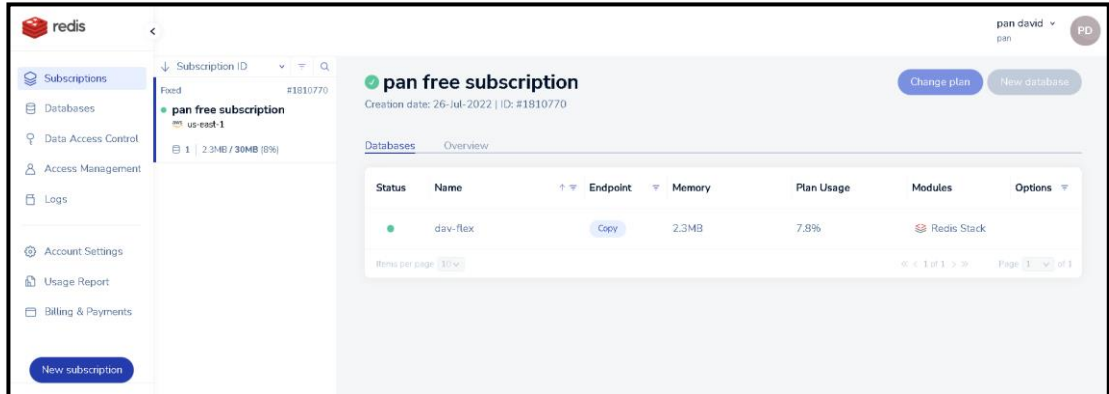
**Figura 40** Control de usuarios repetidos al momento del registro

**Elaborado por:** El investigador

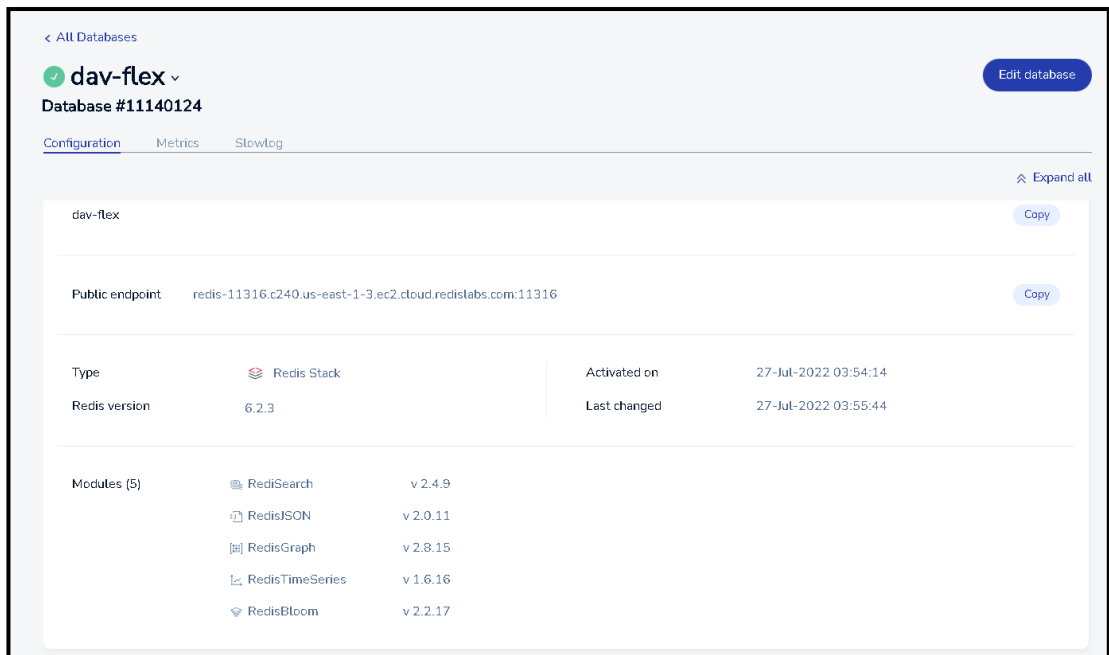


**Figura 41** Control de registro exitoso

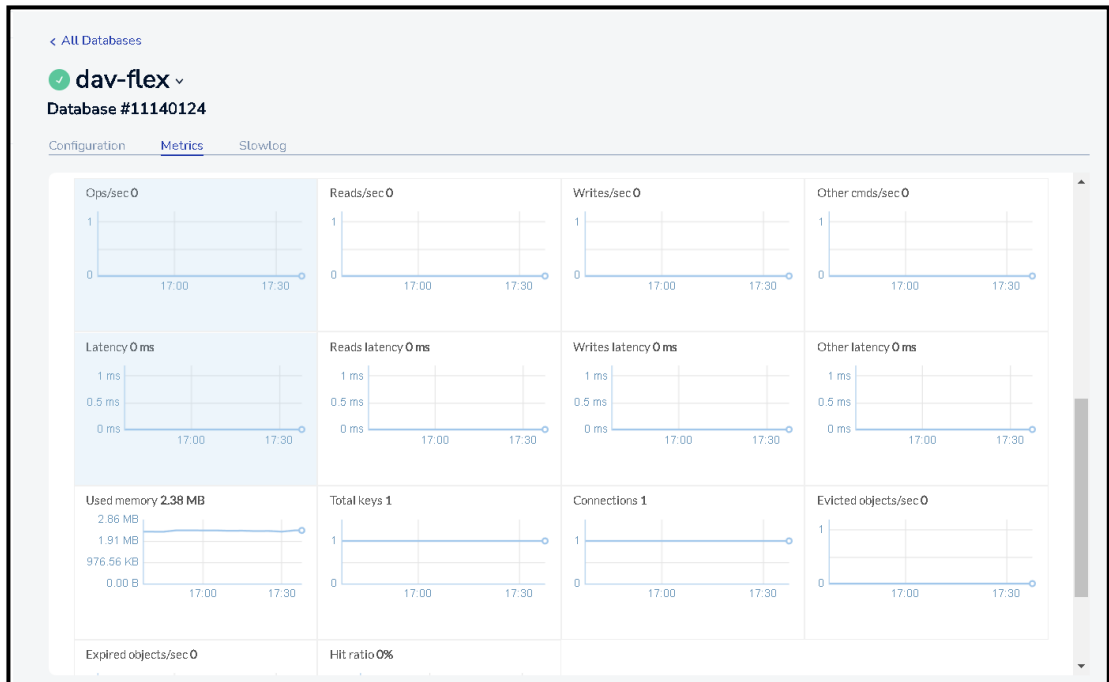
**Elaborado por:** El investigador



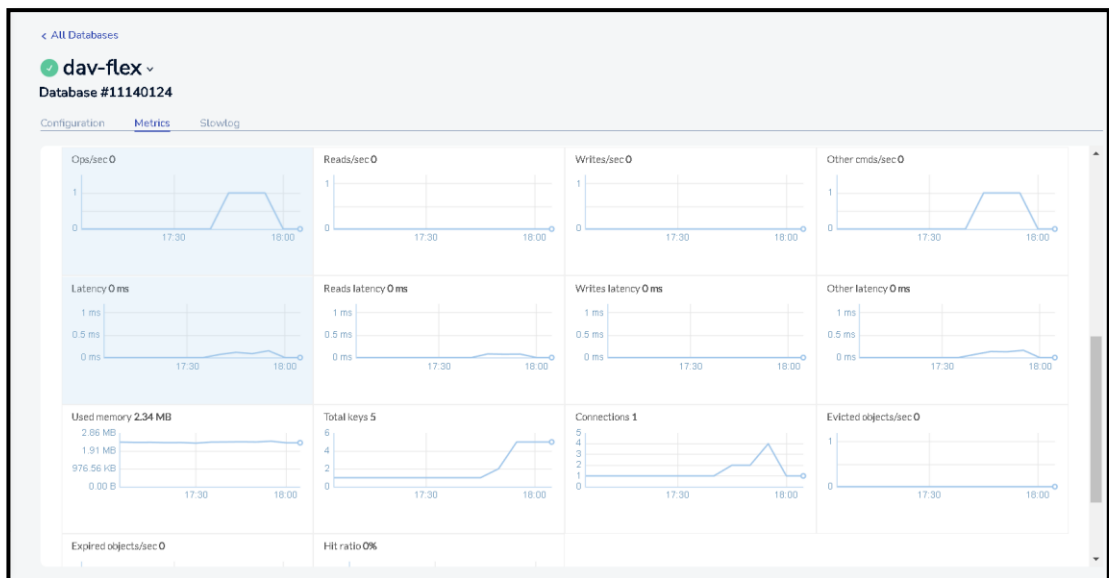
**Figura 42** Interfaz de base de datos Redis  
**Elaborado por:** El investigador



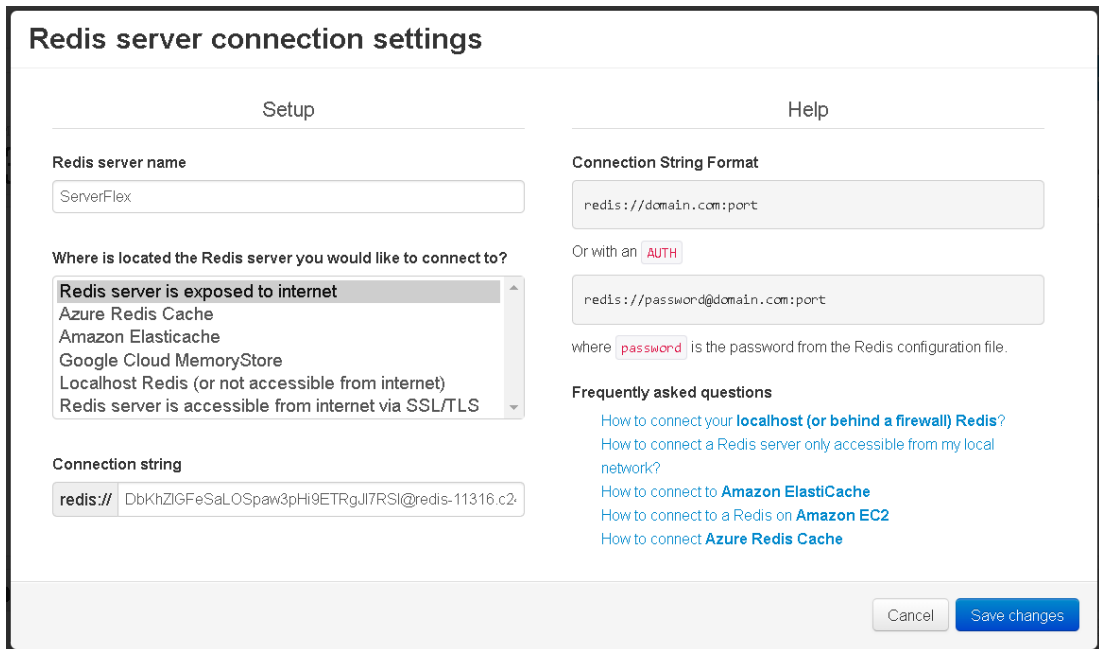
**Figura 43** Datos de Redis para configuración  
**Elaborado por:** El investigador



**Figura 44** Métricas de Redis  
**Elaborado por:** El investigador

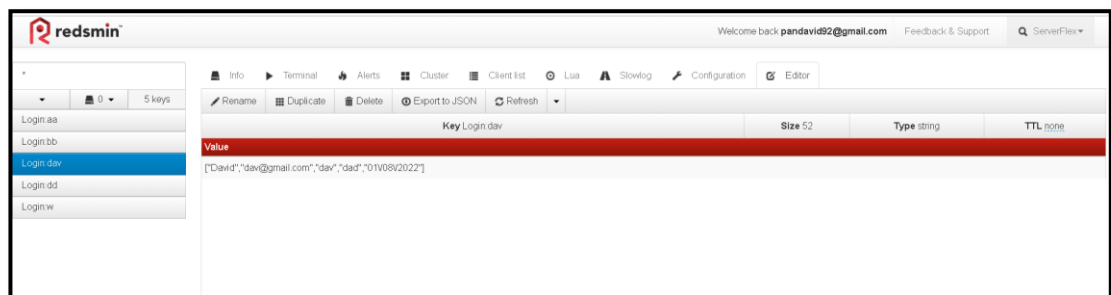


**Figura 45** Métricas de Redis en funcionamiento  
**Elaborado por:** El investigador



**Figura 46** Configuración de Redmin

**Elaborado por:** El investigador



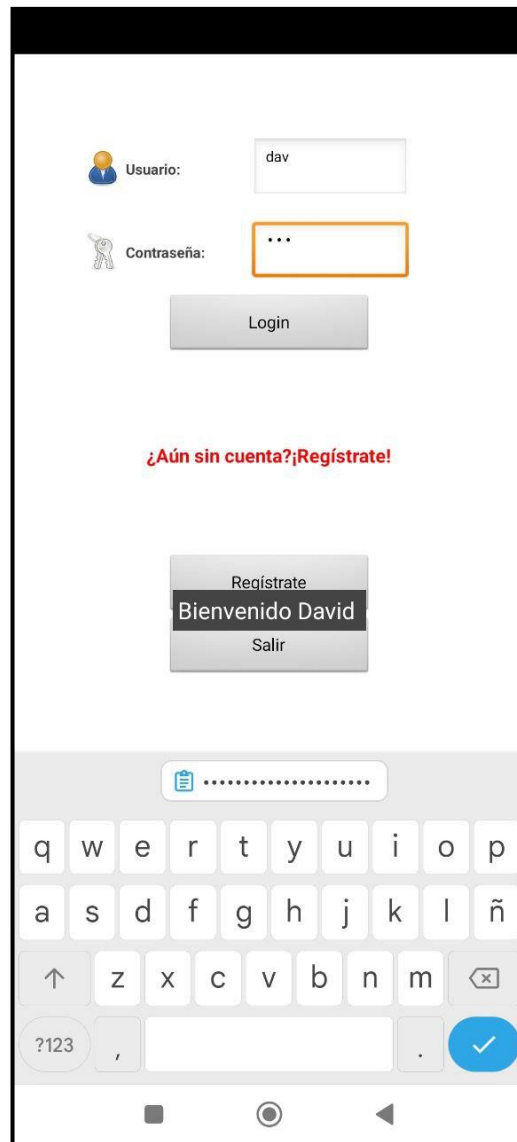
**Figura 47** Visualización de datos almacenados en Redis median Redmin

**Elaborado por:** El investigador



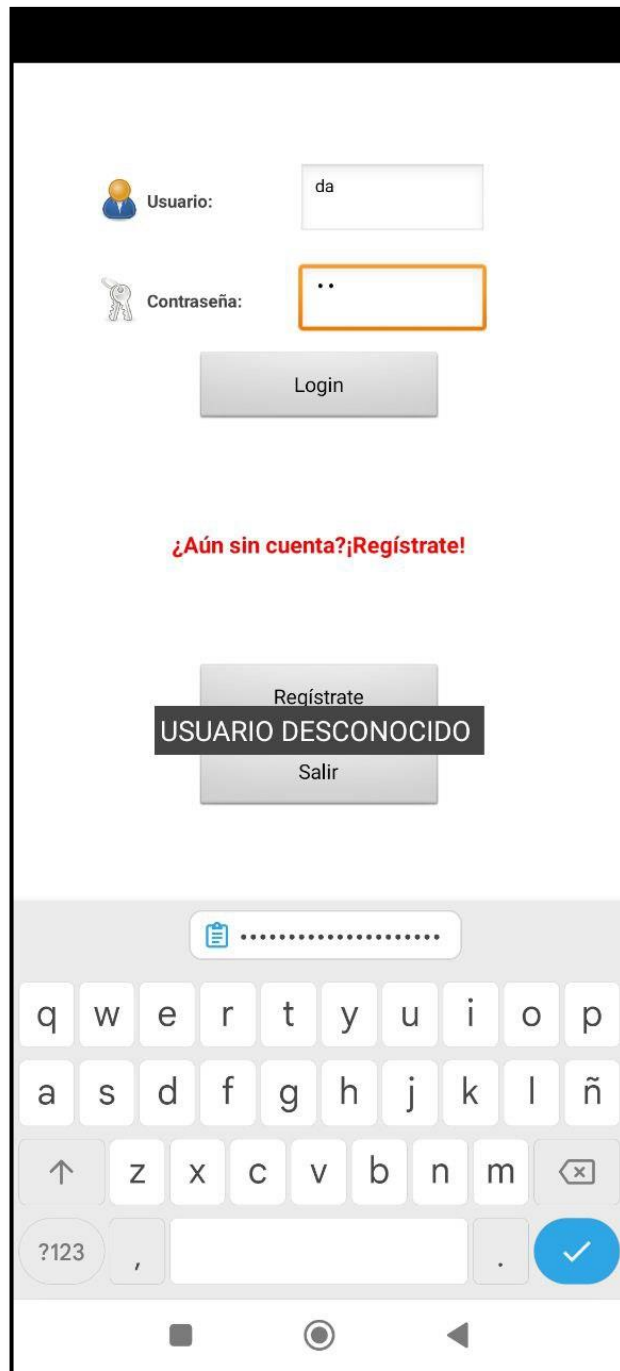
**Figura 48** Interfaz de inicio en móvil

**Elaborado por:** El investigador



**Figura 49** Inicio de sesión exitoso

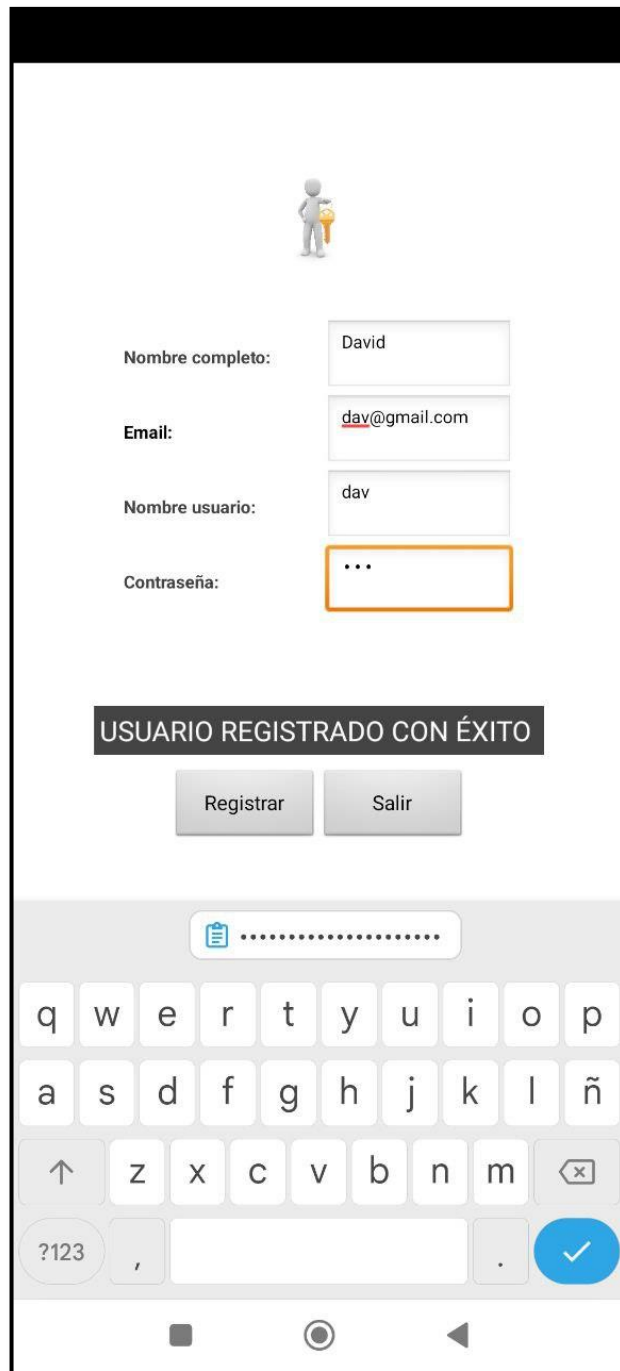
**Elaborado por:** El investigador



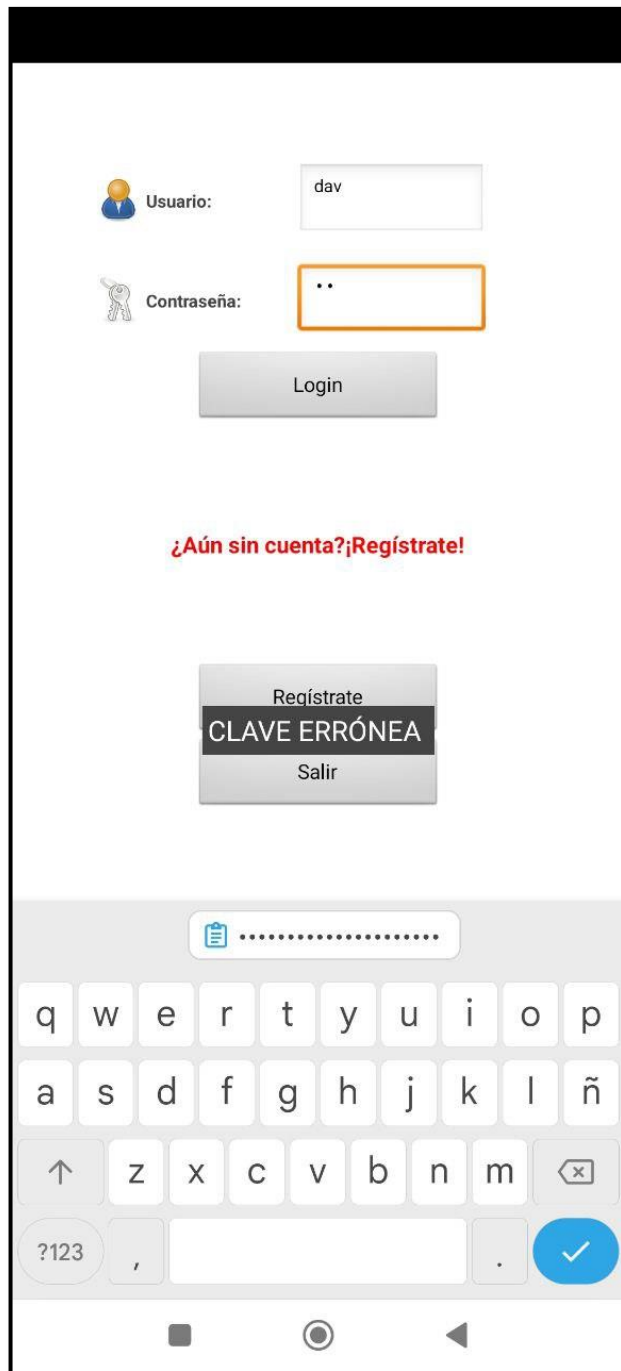
**Figura 50** Usuario desconocido

**Elaborado por:** El investigador





**Figura 51** Registro exitoso  
**Elaborado por:** El investigador



**Figura 52** Datos erróneos

**Elaborado por:** El investigador

**ANEXO 3: Certificado del médico especialista con el cual se realizaron las pruebas de funcionamiento.**



**Unidad Médica Y Fisioterapia Integral GABOS**  
**LIC. FT. GABRIEL MORENO PROAÑO**  
Licenciado en Terapia Física- Rehabilitador Físico Traumatológico y Deportivo  
Consultorio: Calle Sabanilla tras la Unidad Educativa Sagrada Familia Ingahurco  
Medicina deportiva- Medicina general, Psicología clínica, laboratorio clínico  
Nutrición clínica y deportiva- Rehabilitación y fisioterapia  
Spa, masaje y relajación

[gabriel91moreno@hotmail.com](mailto:gabriel91moreno@hotmail.com) Cel: 0992970670

**CERTIFICADO**

Ambato, 12 de septiembre del 2022

Yo *Moreno Proaño Ramiro Gabriel*, en calidad de Fisioterapeuta y licenciado legalmente titulado, y como propietario de la Unidad Médica y Fisioterapia Integral "GABOS", con C.I. 1804302444

**CERTIFICO:**

Que el SISTEMA HÁPTICO desarrollado por el Sr. Zúñiga Heredia Francisco David como parte de su proyecto de titulación cumple con los parámetros necesarios para la medición de los grados de flexión de la mano, teniendo como resultado.

De los 20 pacientes que realizaron las pruebas se tiene que 14 pacientes poseen un grado de inflamación muscular con problemas de flexión y 5 pacientes no poseen ninguna afectación muscular y 1 paciente presenta 1 grado de flexión que llega al mínimo el cual se lo considera sano pero se le mantendrá en observación para evaluar la evolución.

Los resultados fueron comparados con el historial de cada paciente que poseo en mi consultorio, presentando un margen de error en las mediciones menor al 3 por ciento, por lo que el dispositivo es apto para el funcionamiento en el área médica

El interesado/a puede hacer uso de este certificado para su justificación laboral, educativa o en el campo que más le favorezca.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Atentamente:



Lic. Gabriel Moreno Proaño  
Fisioterapeuta

Lic. Gabriel Moreno  
**Fisioterapeuta**