



Recibido: 17/09/2021

Aceptado: 15/10/2021

Aplicación de módulos y aplicativos multimediales inteligentes para la rehabilitación fisioterapéutica de adultos mayores con problemas de artrosis, artritis y tendinitis

Víctor J. Cajilema¹, Jordan S. Ipiales, Kevin P. Celorio¹, Pablo O. Mena, Milton P. Navas¹

¹vjcajilema@espe.edu.ec

RESUMEN El presente trabajo explica la creación y ejecución de aplicativos multimediales con el objetivo de contribuir en la rehabilitación fisioterapéutica en adultos mayores con molestias causadas por la artrosis, artritis y tendinitis. En la primera etapa se realiza un levantamiento de requerimientos por medio de encuestas para lo cual se identificó a una población de 32 adultos mayores, gracias a este proceso se pudieron identificar las molestias presentes en los adultos mayores de la población elegida de manera que se identifican problemas relacionados con artrosis y tendinitis. A continuación, se realizó el desarrollo de los aplicativos y módulos para ayudar en la rehabilitación fisioterapéutica, como resultado de la etapa de desarrollo se obtuvieron 2 módulos físicos y 3 aplicaciones móviles teniendo así los módulos de piano didáctico y la ruleta didáctica y las aplicaciones de juego máquina de baile, juego del piano y el juego desbloquéame. Por último, se realizó la aplicación de pruebas de los módulos y aplicaciones móviles en los adultos mayores, observando una mejoría en los malestares causados por artrosis y tendinitis.

Palabras claves: rehabilitación fisioterapéutica; adultos mayores; aplicaciones móviles; artritis; tendinitis.

Implementation of intelligent multimedia modules and applications for the physiotherapeutic rehabilitation of older adults with osteoarthritis, arthritis and tendinitis.

ABSTRACT This work explains the creation and implementation of multimedia applications with the objective of contributing to the physiotherapeutic rehabilitation of older adults with discomfort caused by osteoarthritis, arthritis and tendinitis. In the first stage, a survey of requirements was carried out by means of surveys for which a population of 32 older adults was identified, thanks to this process it was possible to identify the discomforts present in the older adults of the selected population in order to identify problems related to osteoarthritis and tendinitis. Next, the development of the applications and modules to help in the physiotherapeutic rehabilitation was carried out, as a result of the development stage, 2 physical modules and 3 mobile applications were obtained, thus having the modules of didactic piano and didactic roulette and the applications of dance machine game, piano game and the game unblock me. Finally, the modules and mobile applications were tested on older adults, showing an improvement in the discomfort caused by osteoarthritis and tendinitis.

KEYWORDS: physiotherapeutic rehabilitation; mobile applications; older adults; arthritis; tendinitis

1. Introducción

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define a los trastornos musculoesqueléticos (TME) como los problemas de salud del aparato locomotor, es decir, músculos, tendones, esqueleto óseo, cartílagos, ligamentos y nervios, abarcando desde molestias leves y pasajeras hasta lesiones irreversibles y discapacitadas [1]



Los trastornos musculoesqueléticos aumentan a medida que envejece la población con un impacto en todas las facetas de la vida, de la sociedad, y fundamentalmente en los sistemas de salud. Estas afecciones musculoesqueléticas son causa frecuente de dolor y discapacidad en los ancianos. En el presente trabajo se exponen brevemente las principales patologías musculoesqueléticas que afectan a los ancianos. Se realizó un estudio de campo donde se identificó problemas como atrofia, dolores musculares y afines causados por la artrosis y tendinitis en adultos mayores. Una vez identificado los problemas se procedió a realizar el diseño y la implementación de módulos y aplicativos multimediales inteligentes para la rehabilitación fisioterapéutica de adultos mayores. Se concluye además que el dolor asociado a las afecciones musculoesqueléticas es una causa frecuente de discapacidad en los ancianos, por lo que el diagnóstico diferencial de estas y su adecuado manejo terapéutico son de vital importancia por los cambios que se presentan en este grupo poblacional. [2]

De la misma manera, existen enfermedades reumáticas que constituyen un reconocido problema de salud a nivel mundial; por su morbilidad, por la discapacidad que provocan, por su repercusión en el plano económico debido a los altos costos ocasionados a las instituciones sanitarias, así como a las personas aquejadas. Las enfermedades reumáticas debieran estar incluidas dentro de las crónicas no trasmisibles si se tienen en cuenta en su definición aspectos como: factores de riesgo, curso crónico, repercusión en la calidad de vida, incidencia y prevalencia en la población general, mortalidad, etc., aspectos que en las enfermedades reumáticas coexisten. [3]

Así mismo existen diferencias clínicas mínimas en algunas escalas de medición en estas enfermedades musculoesqueléticas. La diferencia mínima clínicamente importante es una herramienta útil que permite a los clínicos en el área de enfermedades musculoesqueléticas utilizar e interpretar correctamente las escalas de medición y los efectos de las intervenciones medidas en los estudios clínicos. [4]

Para estas enfermedades los tratamientos tienen un costo elevado, por ejemplo, en España, donde se utilizaron datos agregados del Instituto Nacional de Seguridad Social (INSS) y extrapolaciones a las entidades que realizan el pago de la IT (INSS, mutuas y empresas). Las EME fueron la primera causa de IT en España en 2007, produciendo 908.781 episodios de IT (18 % del total), 39.342.857 días de baja (23 %) y 1.702 millones de euros de coste (23 %). La incidencia anual de procesos de IT por EME por cada 1.000 personas ocupadas fue de 45. El coste por proceso de IT fue de 1.873 oscilando entre un mínimo de 1.391 € (La Rioja) y un máximo de 2.429 € (País Vasco). [5]

Ahora, dentro de la región Latinoamericana, más allá de los ancianos muchos sufren de este tipo de enfermedades debido a las obligaciones laborales o muchos factores externos que influyen.

La salud de la mujer trabajadora en los países en desarrollo está estrechamente relacionada con el estrés y los trastornos mentales por la doble función en el contexto del hogar y del centro de trabajo; también se producen las intoxicaciones por el uso de plaguicidas y otras sustancias químicas tóxicas, por la ausencia de los medios de protección, ni la manipulación adecuada, alteraciones psíquicas por el estrés que genera el alargamiento de la jornada laboral con poca remuneración y por la necesidad de permanecer en el puesto de trabajo para no pasar a formar parte del gran ejército de desempleados; las enfermedades musculoesqueléticas originadas por el empleo de máquinas ergonómicamente no aptas, los accidentes provocados por las condiciones de trabajo y, por otro lado, una baja instrucción y entrenamiento del trabajador para nuevas exigencias tecnológicas. [6]

Las enfermedades musculoesqueléticas se presentan de varias formas, de las cuales, esta investigación se centra en las artritis, artrosis y tendinitis en la región ecuatoriana. Las cuales pueden darse por muchas causas, pero una de la más importante es la postura forzada, que son aquellas posiciones articulares fuera de rangos de confort, y que pueden generar sobrecarga biomecánica en las estructuras musculoesqueléticas involucradas. Las posturas forzadas asociadas al trabajo dinámico, combinadas con movimientos de alta frecuencia, aumentan la probabilidad de desarrollar trastornos musculoesqueléticos. [7]

La artritis reumatoide (AR) patología inmunológica inflamatoria crónica más frecuente en el Ecuador. Se ha notado que pacientes que cursan con actividad física recurrente son menos propensos a presentar esta patología. Un estudio realizado en pacientes atendidos en el periodo 2017 – 2020 se determinó que los militares pueden presentar en menor medida esta patología. [8]



De la misma manera, la artrosis estudiada dentro de la ciudad de Guayaquil en la población estudiada encontramos que el 54,3 % son de sexo femenino, el 58,6 % son edad adulta media hay prevalencia con un 61,4% que tienen prótesis de rodilla. Se encontró cuyos factores asociados fueron dolor articular con un 77,1 %, artritis/artrosis de rodilla con un 42,9 %, limitación en sus actividades normales con un 48,6 % y con un 44,3 % toman medicamentos para el problema de su rodilla. [9] Así mismo la tendinitis es un trauma estudiado en el sector de Tabacundo, donde la población estudiada del sector florícola se encontró 19 casos de tendinitis de mano y muñeca de 38 personas expuestas en 4 casos de 76 personas no expuestas. [10]

En la provincia de Cotopaxi el 95 % de los centros gerontológicos no cuentan con equipos apropiados para realizar las rehabilitaciones fisioterapéuticas a los adultos mayores. Por tal motivo se ha buscado dar soluciones tecnológicas a las diferentes problemáticas que enfrentan las personas con discapacidad, en especial con problemas de dolores musculares causadas por la artritis, artrosis y tendinitis.

La Universidad de las Fuerzas Armadas Espe extensión Latacunga, efectúa un proyecto de investigación el cual incide en la corrección de la falta de equipos para ayudar al área de fisioterapia de los centros gerontológicos mediante el diseño y desarrollo de equipos electrónicos y aplicativos móviles destinados a la rehabilitación fisioterapéutica de los adultos mayores de la brigada “El corazón más feliz ” perteneciente a la parroquia de Guaytacama provincia de Cotopaxi con el fin de alcanzar una reducción en los malestares causados por la artrosis y tendinitis.

Los dispositivos físicos y aplicativos móviles que fueron destinados a la rehabilitación fisioterapéutica de los adultos mayores de la brigada “El corazón más feliz ”, mediante pruebas y el uso constante de los mismos por los periodos de tiempos asignados para realizar las rehabilitaciones permitieron obtener como resultado una reducción promedio del 8 % de los problemas musculares causadas por la artrosis y tendinitis en los adultos mayores contribuyendo de esta manera a una rehabilitación fisioterapéutica a largo plazo en sus manos y muñecas.

2. Desarrollo de contenidos

2.1. Desórdenes musculoesqueléticos en la mano

Los desórdenes musculoesqueléticos de la mano son afecciones potencialmente discapacitantes que comprometen severamente la funcionalidad del individuo, en este grupo sobresalen las enfermedades reumáticas, que son aproximadamente 200, que afectan al sistema musculoesquelético.

Flexión – Extensión

La mano del ser humano conlleva diferentes formas de movimiento en las cuales se ven implicadas las articulaciones que lo conforman entre ellas las falanginas y metacarpos. En las cuales el metacarpo-falángica, interfalángica proximal, interfalángica distal que cumplen cierto ángulo de abertura y en los adultos mayores esto se ve reducido.

Metacarpofalángica: Están ubicadas entre las cabezas convexas de los metacarpianos y las fosillas articulares de la base de las falanges proximales, forma un arco de movimiento de 120° a 135° los cuales 90° son para la flexión y 30° a 45° para la extensión.

La artritis, representa un enorme desafío en el abordaje conservador fisioterapéutico debido a que su sintomatología incluye dolor y pérdida del rango de movimiento, entre otros, generando un déficit funcional en las articulaciones de los miembros superiores en especial en la mano, lo que compromete seriamente el desempeño de las actividades cotidianas de la vida, provocando una grave afección en el contexto laboral, social y psíquico del paciente.

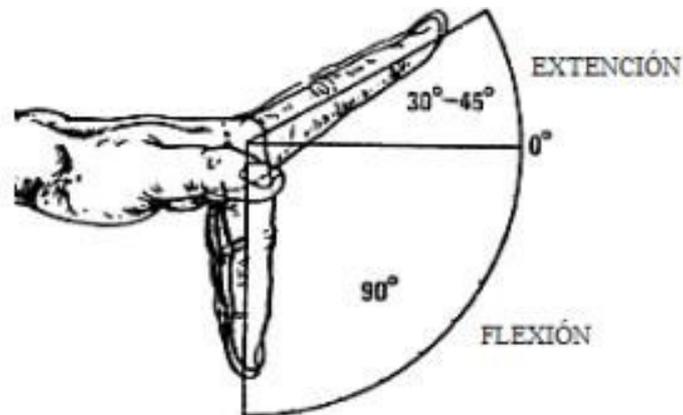


Figura 1: Flexión y extensión Metacarpofalángica.

Interfalángica Proximal: El radio se mueve alrededor del cúbito aumentando las dimensiones de la epífisis distal, forma un arco de movimiento de 100° solo para la flexión, no dispone de movimiento de extensión en esta articulación, como se muestra en la Fig. 2

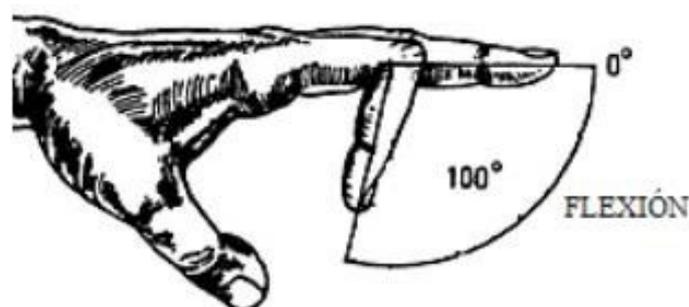


Figura 2: Flexión y Extensión Interfalángica Proximal.

Artrosis trapecio metacarpiana: la articulación trapecio-metacarpiana es como una silla de montar como se muestra en la figura 3, en la cual la curvatura de la base del primero metacarpiano y la superficie distal del trapecio son las que forman una articulación de geometría asimétrica, lo que permite el movimiento y poco contacto articular en algunas posiciones.

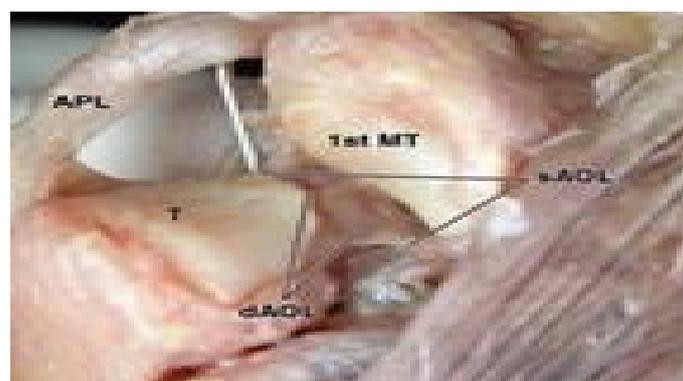


Figura 3: Anatomía de la superficie articular.



La cápsula que es la zona articular, es laxa, es decir, bastante arrugada, permitiendo una rotación en torno al eje longitudinal del primer metacarpiano y también los movimientos de flexión, extensión, abducción y aducción.

Las primeras manifestaciones de la artrosis en la mano son dolor articular después de actividades que demandan una gran cantidad de movimientos mecánicos de la mano; molestias, las cuales se intensifican a medida que el tiempo pasa, desarrollando de esta manera, un daño articular.

En la figura [4] hasta 7, se puede observar la radiografía mostrando una disminución progresiva del espacio articular, a continuación, una esclerosis del hueso sub-condral, más adelante una erosión, osteofitos y una sub-luxación progresiva. [11]



Figura 4: Estado 1.

Estado 1: los pacientes que se encuentren en estado 1, son aquellas que en la radiografía muestran una pequeña disminución del espacio articular, en donde no hay subluxación ni osteofitos. De manera clínica este tipo de pacientes sostiene un dolor moderado e intermitente en la articulación trapecio-metacarpiana. [11]



Figura 5: Estado 2.

Estado 2: estos pacientes muestran una radiografía con algún osteofito, normalmente menor a 2mm, el cual se encuentra en el borde cubital de la articulación distal del trapecio, mostrando un aumento de la densidad y una disminución del espacio articular. [12]



Figura 6: Estado 3.

Estado 3: aquí se muestran pacientes con un tipo de radiografía que revela un prominente osteofito en el borde cubital del trapecio distal, una gran disminución del espacio articular y un gran aumento de la densidad del hueso sub-condral.

El primer metacarpiano está sub-luxado a radial y dorsal en un tercio del ancho de su base. [13]



Figura 7: Estado 4.

Estado 4: este tipo de pacientes muestran una completa pérdida del espacio articular, un prominente osteofito en el borde cubital, donde se encuentra sub-luxación de la base del metacarpiano y abundantes quistes subcondrales.



2.2. Tratamiento conservador.

En el tratamiento inicial a estos pacientes se debe realizar siempre después de la anamnesis y un examen físico con detalles, una radiografía de pulgar bilateral y mano, y en casos concretos se puede completar con un TAC.

Se inicia con una muy detallada explicación de la patología, el estado de avance, expectativas y el grado de compromiso de la función de la mano actual. Se debe preguntar por la intensidad que experimental de dolor el paciente y en qué momento exacto ocurre, para lo cual se debe conocer las actividades físicas o laborales que realiza el paciente. [14]

Normalmente se inicia con fisioterapia y una ortesis, que puede ser de aquellas pre-realizadas en forma standard o se puede enviar a confeccionar terapia ocupacional. Esta Ortesis lo que hace es inmovilizar la articulación trapecio-metacarpiana en una leve abducción, generando de esta manera un alivio en el dolor. Es recomendable el uso de la artrosis de seis a ocho horas por día durante de tres a cuatro meses, dependiendo de cómo evolucione el nivel de dolor. [15]

3. Análisis de Requerimientos

Para la elicitación de requerimientos se inició con la aplicación de encuestas para identificar que molestias tienen los adultos mayores y a continuación definir que aplicativos y equipos se pueden desarrollar para ayudar en su rehabilitación fisioterapéutica y a continuación se procedió con la tabulación de los resultados de las encuestas para lo cual se realizó un análisis de las respuestas obtenidas en las cuales se puede identificar la situación actual y las principales enfermedades que afectan a los adultos mayores para realizar la implementación de un tablero de rehabilitación para el adulto mayor en la parroquia Guaytacama.

Las tabulaciones de las encuestas permiten identificar el estado actual del problema de manera que se obtienen el porcentaje de adultos mayores que presentan problemas relacionados con la atrofia, dolores musculares y afines, causada por la artritis, artrosis y tendinitis.

El total de encuestados es de 32 adultos mayores, en los cuales se identifican diferentes dolencias, de manera que el 0% presenta artritis, por otro lado, el 81% de los adultos mayores presentan problemas de artrosis en diferentes grados, mismos que se pueden apreciar en la tabla 1, y el 27% de adultos mayores presenta problemas relacionados con tendinitis detalle que se presenta en la tabla 2 el grado de artrosis está relacionado con la edad de los adultos mayores, sin embargo también se ve influenciado por las condiciones de vida y las tareas que realizan.

Tabla 1: Cuantificación de artrosis

Detalles de artrosis	Adultos mayores
Grado 1	14
Grado 2	8
Grado 3 o >	4
Ninguno	6
Total	32



Tabla 2: Cuantificación de tendinitis.

Detalles de tendinitis	Adultos mayores
Agudo	8
Crónico	0
Ninguno	22
Total	32

Las áreas del cuerpo afectadas por artrosis y tendinitis en los adultos mayores encuestados en Guaytacama son las manos y las muñecas distribuidas de manera que el 75 % presenta problemas en las manos y el 25 % de adultos mayores presenta molestia en las muñecas, información que se puede apreciar en la tabla 3.

Tabla 3: Cuantificación de la parte del cuerpo afectada.

Detalles	Adultos mayores
Mano	24
Muñeca	8
Hombro	0
Rodilla	0
Cadera	0
Ninguno	0
Total	32

En base a la información tabulada se ha podido apreciar que el 81 % de los adultos mayores encuestados tienen síntomas de artrosis como dolor, rigidez, sensibilidad, hinchazón y nódulos en las articulaciones y el 27 % tienen síntomas de tendinitis, como leve dolor, hipersensibilidad, hinchazón, entumecimiento u hormigueo, mismas que afectan en las zonas de las manos y muñecas de los adultos mayores, en consecuencia, los sistemas de rehabilitación se diseñarán para estas partes del cuerpo.

La especificación de requerimientos se ha realizado de acuerdo con las pautas dadas por la Especificación de requisitos de software IEEE ANSI / IEEE 830, Práctica recomendada de 1998.

Se consideran 2 usuarios para el sistema, considerando como un tipo de usuarios a los encargados del MIES y el otro tipo de usuarios serán los adultos mayores.

Tabla 4: Especificaciones de usuarios – Encargados del MIES.

Tipo de usuario	Encargado del MIES
Formación	Título de Segundo o tercer nivel
Actividades	Manejo y gestión del sistema

Tabla 5: Especificaciones de usuarios – Adultos mayores.

Tipo de usuario	Adulto mayor
Formación	Primaria o ninguna
Actividades	Consume recursos visuales del sistema



3.1. Requerimientos funcionales.

Para la especificación de requerimientos funcionales de las aplicaciones se aplicó diagramas de casos de uso.

Juego máquina de baile

En la Fig. 8, se observa el diagrama de casos de uso utilizado para la especificación de requisitos del juego máquina de baile, en la cual tenemos dos actores correspondientes a los encargados del MIES, quienes serán encargados de gestionar el uso de la aplicación de manera que podrán seleccionar terapias, seleccionar niveles, desbloquear niveles y salir del juego, por otro lado tenemos al el adulto mayor como actor quien podrá arrancar el juego y el de presionar tecla, y por último el sistema se encarga de la comunicación.

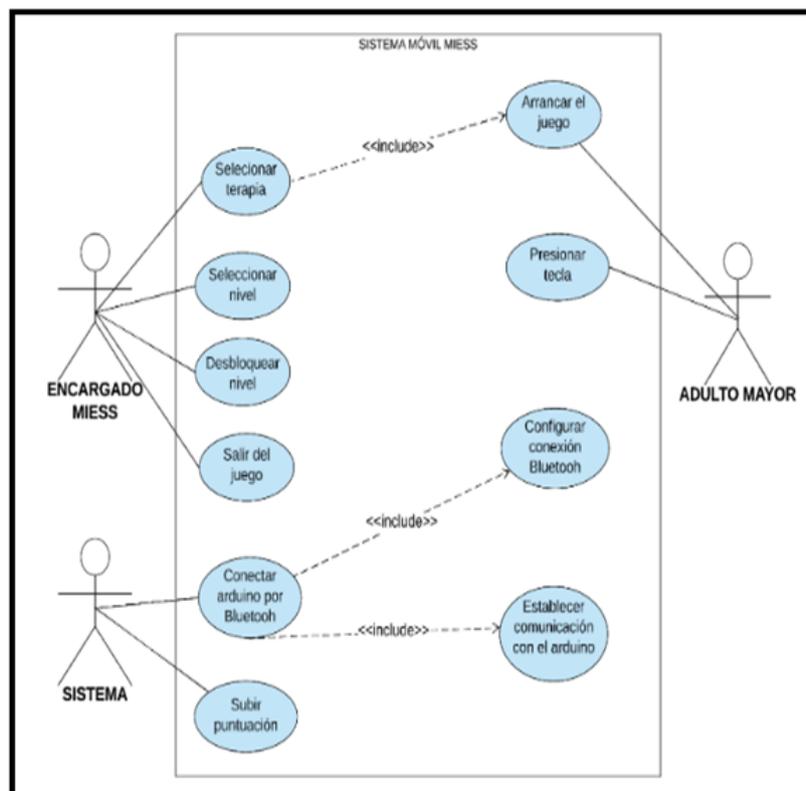


Figura 8: Diagrama de caso de uso de juego Máquina de baile.

Juego del piano

En la Fig. 9, se observa el diagrama de casos de uso del juego del piano donde se han identificado dos actores principales que son el encargado del MIES quien tendrá la capacidad de seleccionar terapia, seleccionar nivel, agrandar el tamaño de la tecla y desbloquear nivel, el adulto mayor podrá arrancar el juego y el de presionar tecla, y por último el sistema se encarga en subir la puntuación.

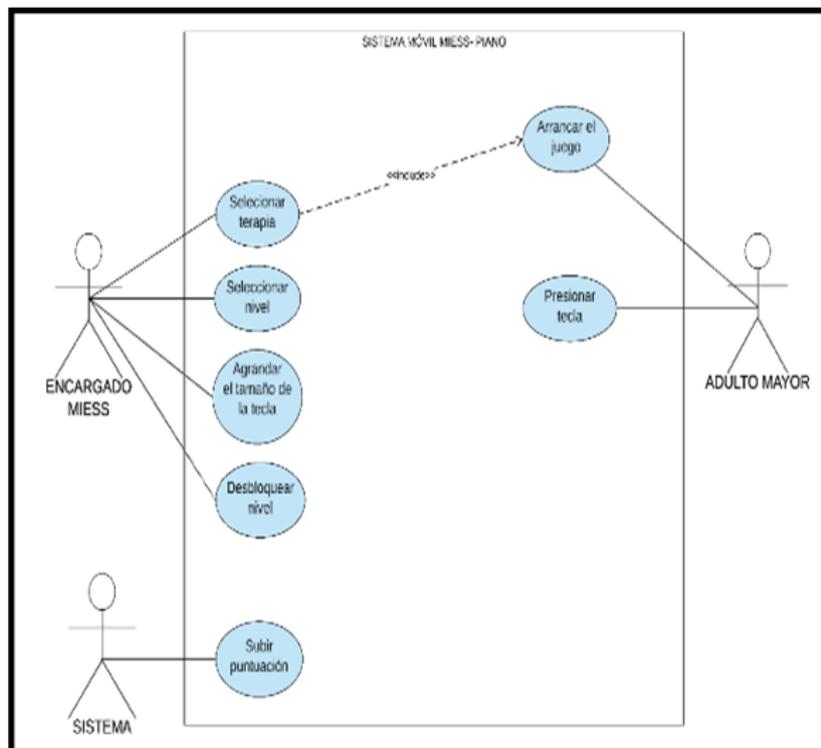


Figura 9: Diagrama de caso de uso del juego piano. Juego desbloquéame

En la Fig. 10, se observa el diagrama de casos de uso utilizado para la especificación de requerimientos del juego desbloquéame, donde tenemos dos actores principales: el encargado del MIES quien podrá seleccionar terapia, seleccionar nivel, desbloquear nivel, el adulto mayor para quien se prepararon las funcionalidades de arrancar el juego y el interactuar con el tile, y por último el sistema se encarga en generar autoayuda, subir puntuación y restaurar juego.

Requerimientos no funcionales de los sistemas piano, desbloquéame y máquina de baile.

1. Los sistemas deberán ser desarrollados para plataformas móviles Android y Iphone.
2. Los sistemas serán desarrollados en base a tecnología y lenguaje: Unity, C#, procedural Database, inteligencia artificial.
3. La base de datos que a utilizar será playerprefs (Base de datos en código)
4. Los sistemas deben poder ser utilizados en cualquier dispositivo móvil.
5. Toda funcionalidad del sistema y transacción de negocio debe responder gráficamente al usuario en menos de 5 segundos.
6. El sistema debe ser capaz de operar adecuadamente a un usuario a la vez.
7. Los sistemas deberán ser extremadamente intuitivos de manera que los usuarios podrán utilizarlas de manera fluida en menos de 1 hora de utilización, adicionalmente los sistemas deben ser divertidos de utilizar.
8. El sistema debe tener interfaces graficas fáciles de usar con objetos gráficos grandes de manera que los adultos mayores puedan utilizarlos sin problema.

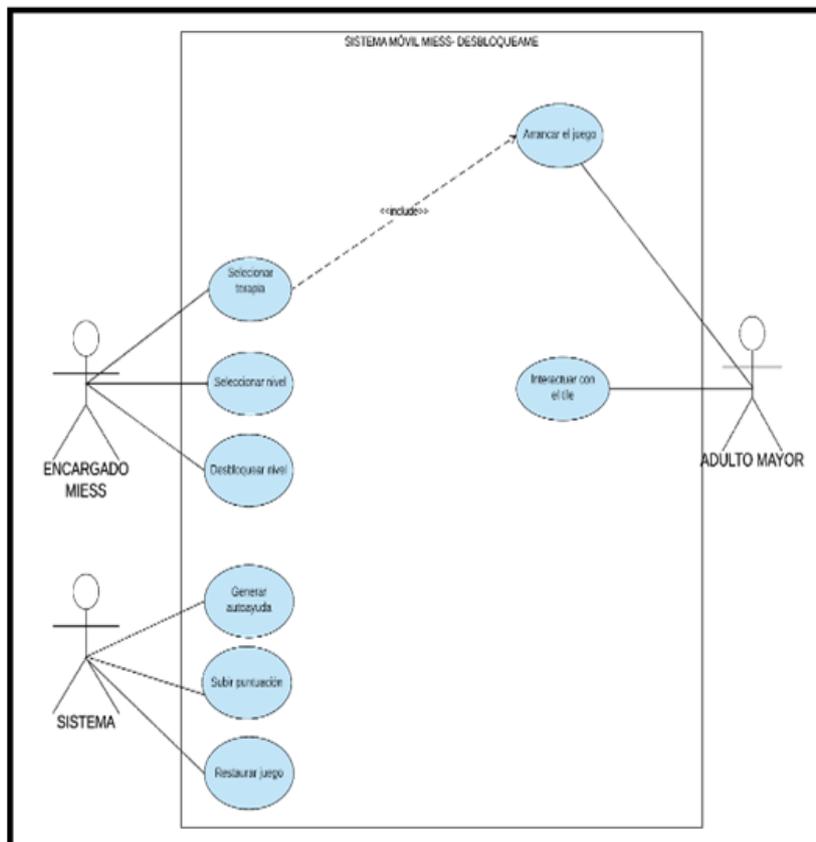


Figura 10: Diagrama de caso de uso del juego desbloquéame.

4. Desarrollo estructural

4.1. Desarrollo del Piano y Ruleta Didácticos.

Los dispositivos empleados para la rehabilitación fisioterapéutica en adultos mayores es un piano y ruleta didáctico. Diseñados y desarrollados para la atención en la Brigada El corazón más feliz de la parroquia de Guaytacama para ayudar a los adultos mayores que presenten problemas de artritis, artrosis y tendinitis. Para ello los dispositivos integrará varios elementos electrónicos y eléctricos descritos en la tabla 4 y 5.

Piano Didáctico

En el diagrama de flujo del Piano Didáctico descrito en la Fig. 11 se detalla el funcionamiento secuencial del dispositivo, en la cual al presionar el pulsador este automáticamente es reconocido por el controlador y ejecuta la primera canción ingresada en la tarjeta SD y además enciende un Led indicando cual pulsador fue oprimido, cada que se presiona el pulsador se va incrementando un contador, que al cumplir con 10 repeticiones se termina la rutina y vuelve el contador a 0.

Pulsador: Un pulsador es un componente eléctrico que permite o impide el paso de la corriente eléctrica cuando se aprieta o pulsa. En la fisioterapia estos elementos se usan para su respectiva rehabilitación donde los adultos mayores tienen que aplicar una respectiva fuerza. [16]

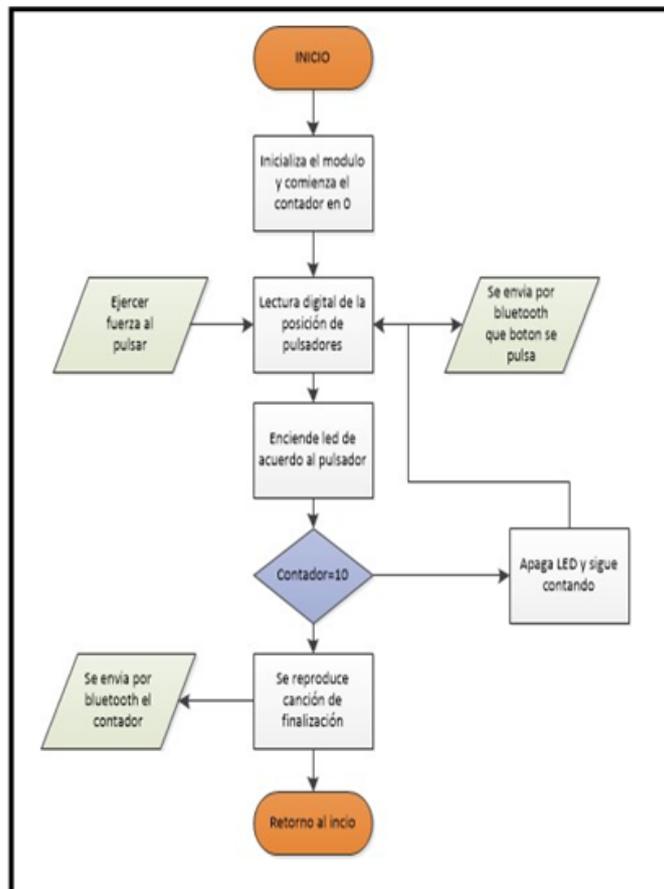


Figura 11: Diagrama de flujo del funcionamiento del Piano Didáctico.

Tabla 6: Elementos electrónicos usados en el dispositivo de rehabilitación.

Elementos electrónicos	Función
Módulo MP3 20 mA	Permite reproducir música de forma simple, posee una ranura para una tarjeta SD en donde se guardan las músicas que se desea reproducir.
Módulo bluetooth 0.5 mA	Permite la comunicación con la aplicación.
Resistencias 0.5 mA	Permite delimitar la corriente que circula por el circuito.
Arduino uno 46 mA	Permite la adquisición y tratamiento de los datos para el almacenamiento y la presentación.
Parlantes 300 mA	Elevan el sonido de la música de acompañamiento y de terminación de las rutinas.
Pulsadores 0.5 mA	Permiten reproducir diferentes canciones.
Potenciómetro 0.5 mA	Permite regular la luminosidad de la LCD.
Lcd 16*2 25 mA	Permite la visualización del Inicio del ejercicio, el número de pulsaciones. Además, presentan mensajes de aviso como: No se reconoce la tarjeta SD, Tarea finalizada.



Elementos electrónicos	Función
Leds 20 mA	Son indicadores.
Módulo MP3 20mA	Permite reproducir música de forma simple, posee una ranura para una tarjeta SD en donde se guardan las músicas que se desea reproducir.

En la tabla 6 se indica la corriente de operación de cada elemento electrónico dentro del circuito para el módulo del piano interactivo, con estos datos obtenemos el consumo energético.

Ruleta Didáctica.

En el diagrama de flujo de la Ruleta Didáctica descrito en la Fig. 12 se detalla el funcionamiento secuencial del dispositivo, en donde al momento de mover la palanca realiza los movimientos hacia arriba, abajo, derecha e izquierda, se encienden unas tres luces Leds indicando la dirección seleccionada. Además, se dispone de un botón de inicio que al presionar se encienden todas las luces de la ruleta indicando que funciona y verificando el estado del dispositivo. Asimismo, todo lo anteriormente mencionado se repite en un ciclo infinito hasta que se presione el botón de apagado si así lo desea es usuario.

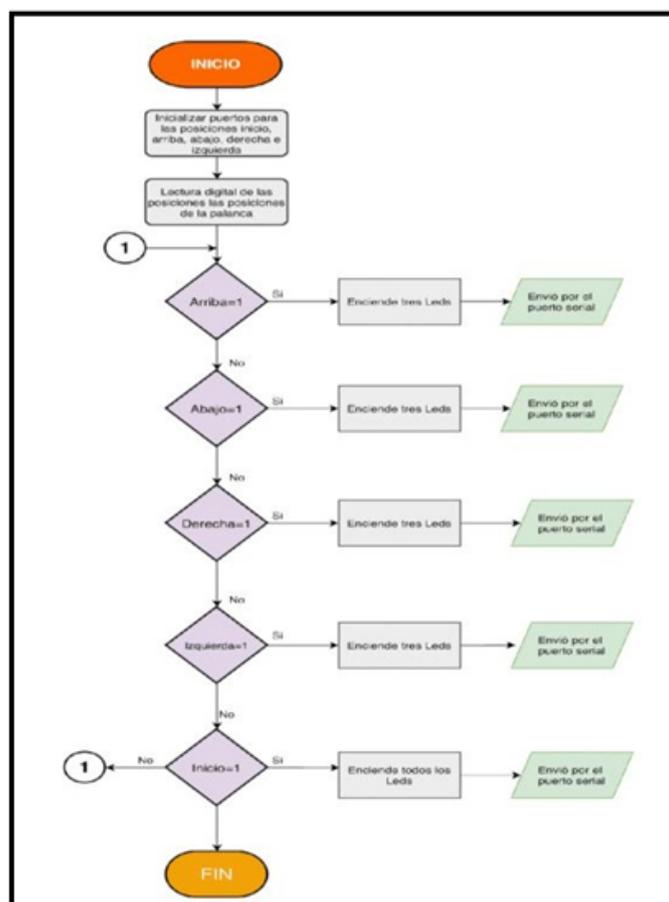


Figura 12: Diagrama de flujo del funcionamiento de la Ruleta Didáctica.



Elementos de la Ruleta Didáctica.

Joystick: Es una palanca que cuenta con una base y que puede realizar una cierta gama de movimientos que le permiten al usuario dar instrucciones o concretar acciones. En función de las características del joystick este dispositivo se usó para la rehabilitación de los adultos mayores en la cual deben realizar una fuerza mínima de activación y el desplazamiento de la palanca. [17]

Tabla 7: Elementos electrónicos usados en el dispositivo de rehabilitación.

Elementos electrónicos	Función
Módulo bluetooth 50 mA	Permite la comunicación con la aplicación.
Resistencias 0.5mA	Permite delimitar la corriente que circula por el circuito.
Arduino nano 15 mA	Permite la adquisición y tratamiento de los datos para el almacenamiento y la presentación
Pulsadores 0.5 mA	Permiten arrancar con la ruleta.
Leds 20 mA	Son indicadores.
Palanca 0.5 mA	Indica la posición de los leds, la posición es enviada a la aplicación para ejecutar el juego.

En la tabla 7 se indica la corriente de operación de cada elemento electrónico, esto sirve para calcular el consumo energético (CE).

4.2. Desarrollo de Aplicativos.

El desarrollo de los aplicativos se basa en un diagrama de caso y de clase, para comprender el funcionamiento de cada uno de estos, y la estructura que deberán seguir para su correcta utilización.

Juego máquina de baile

En la Fig. 8, se observa el diagrama de casos, en la que se base el juego, donde tenemos tres actores, representado por una figura humana esquemática correspondientes a los encargados del MIES, el adulto mayor y el propio sistema, además dentro del sistema llamado SISTEMA MÓVIL MIES representado por un rectángulo, se encuentra los casos de usos representados con una eclipse, donde los casos correspondientes al encargado del MIES son el de seleccionar terapia, seleccionar nivel, desbloquear nivel y salir del juego, los casos para el adulto mayor son el de arrancar el juego y el de presionar tecla, y por último el sistema se encarga de la comunicación. [18]

En la Fig. 13, se observa el diagrama de clase correspondiente al juego, donde se observa una asociación unidireccional, esta se dibuja con una línea de conexión recta que señala una punta de flecha abierta desde la clase "Score.^a la clase "Player". [19]

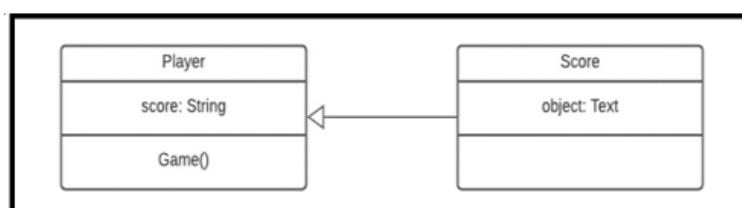


Figura 13: Diagrama de clase de uso de juego Máquina de baile.

Juego del piano



Como en el juego anterior en la Fig. 9, se observa el diagrama de casos, en la que se basa el juego, donde se tiene tres actores: encargado del mies, el adulto mayor y el propio sistema, además dentro del sistema llamado SISTEMA MÓVIL MIESS - PIANO se encuentra los casos de usos, donde los casos correspondientes al encargado del MIES son el de seleccionar terapia, seleccionar nivel, agrandar el tamaño de la tecla y desbloquear nivel, los casos para el adulto mayor son el de arrancar el juego y el de presionar tecla, y por último el sistema se encarga en subir la puntuación.

En la Fig. 14, se observa el diagrama de clase correspondiente al juego, donde se observa una asociación bidireccional, esta se dibuja con una línea de conexión recta, en este caso tenemos cuatro clases, el piano, equalicer, tiles y sound.

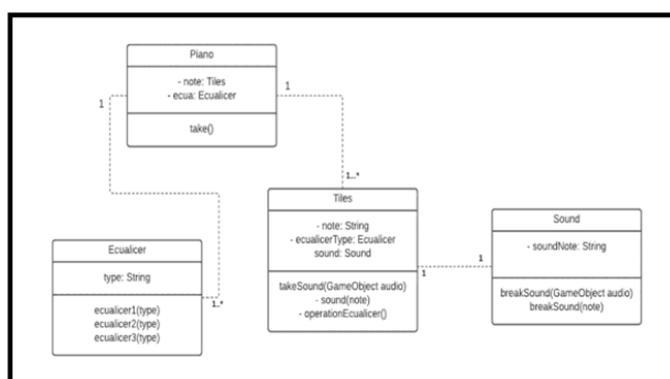


Figura 14: Diagrama de clase de uso del juego desbloquéame.

En la Fig. 10, se observa el diagrama de casos, donde se tiene tres actores: encargado del mies, el adulto mayor y el propio sistema, además dentro del sistema llamado SISTEMA MÓVIL MIESS - PIANO se encuentra los casos de usos, donde los casos correspondientes al encargado del MIES son el de seleccionar terapia, seleccionar nivel, desbloquear nivel, los casos para el adulto mayor son el de arrancar el juego y el interactuar con el tile, y por último el sistema se encarga en generar autoayuda, subir puntuación y restaurar juego.

En la Fig. 15, se observa el diagrama de clase correspondiente al juego, donde se observa una asociación unidireccional, esta se dibuja con una línea de conexión recta que señala una punta de flecha abierta desde la clase "Tile" a la clase "Asistant", y otra que señala desde la clase "Helper" a la clase "Asistant".

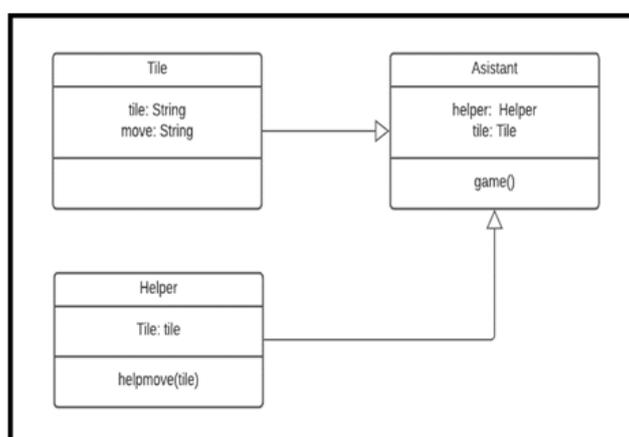


Figura 15: Diagrama de clase de uso del juego desbloquéame.



5. Resultados

5.1. Diseño de los dispositivos electrónicos

El diseño y construcción de los dispositivos electrónicos es construido con la finalidad de ayudar y mejorar la movilidad de manos y muñecas de los adultos mayores pertenecientes a la parroquia de Guaytacama en la provincia de Cotopaxi.

Para el diseño del sistema electrónico existen varios programas dedicados al diseño asistido por computadora o CAD, El programa CAD, está especializado en la creación de diseños de tarjetas de circuito impreso. En donde se utiliza el software de diseño para crear símbolos esquemáticos, cablear diagramas y diseñar la placa PCB. [20]

Diseño y simulación del sistema electrónico del Piano Didáctico: El diseño del circuito electrónico indica el cableado del piano Didáctico, se desarrolla el diseño de la placa PCB para que se adapte al diseño mecánico, considerando varios factores como el largo de cables, o la necesidad de retirar de la placa algún componente electrónico, usando en ese caso borneras como se observa en la Fig. 16

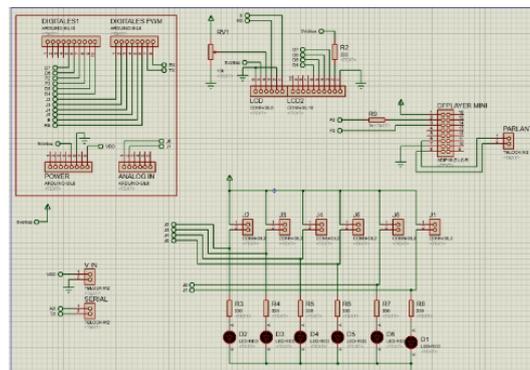


Figura 16: Simulación del sistema electrónico del Piano Didáctico.

En el diseño de la placa PCB se realizó empleando el software proteus en la cual mientras se dibuja el esquema electrónico, Proteus genera automáticamente la lista de redes (NETLIST), el área y ancho de las pistas respectivamente como se observa en la Fig.17

Diseño de la estructura del Piano Didáctico: Se realizó el diseño y construcción de la estructura del Piano Didáctico mediante el software SolidWorks. Para el diseño físico del Piano Didáctico se consideró varios factores como su fácil transportación, intuitividad y posicionamiento adecuado de componentes para la mano del adulto mayor, como se puede observar en la Fig.18.

Para la construcción de la estructura física del Piano Didáctico, fue realizada con madera tipo MDF con un grosor de 6 mm, En la parte frontal inferior se encuentran ubicados los 5 pulsadores en donde se posicionará la mano del adulto mayor y a su vez en la parte frontal superior se encuentran los elementos indicadores (leds, LCD) como se indica en la Fig. 19, los cuales permitirán al fisioterapeuta encargado interactuar de forma fácil con el adulto mayor como se observa en la Fig. 20

Diseño y simulación del sistema electrónico de la Ruleta Didáctica: El diseño del circuito electrónico indica el cableado de la Ruleta Didáctica, se desarrolla el diseño del circuito teniendo en cuenta los mismos factores considerados en el Piano Didáctico como se observa en la Fig. 21

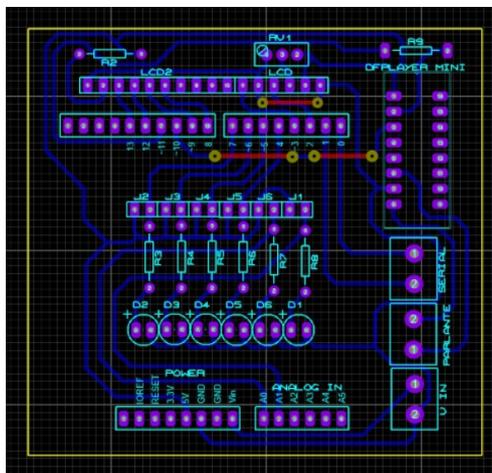


Figura 17: Placa PCB del sistema electrónico del Piano Didáctico.

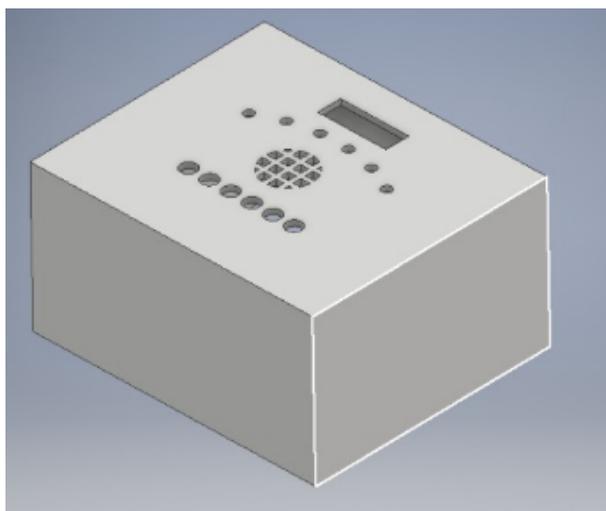


Figura 18: Diseño del Piano Didáctico en SolidWorks.



Figura 19: Construcción física del Piano Didáctico vista frontal.



Figura 20: Uso del Piano Didáctico por parte del adulto mayor.

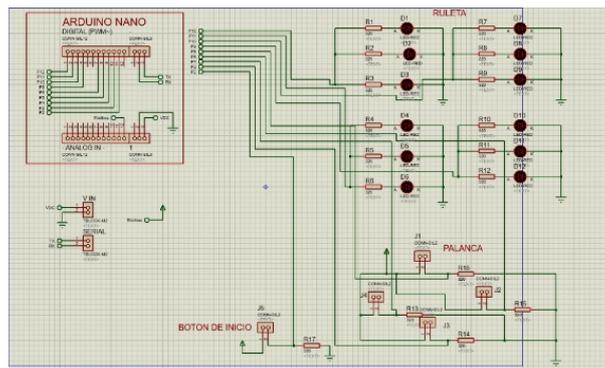


Figura 21: Simulación del sistema electrónico de la Ruleta Didáctica.

Para el diseño de la placa PCB se realizó empleando el software proteus en la cual se dibuja el esquema electrónico con sus componentes respectivos y Proteus genera automáticamente la lista de redes (NETLIST), el área y ancho de las pistas respectivamente como se observa en la Fig. 22

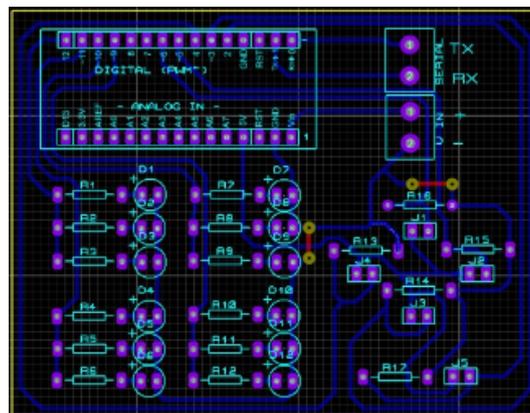


Figura 22: Placa PCB del sistema electrónico de la Ruleta Didáctica.



Diseño de la estructura de la Ruleta Didáctica: Se realizó el diseño y construcción de la estructura de la Ruleta Didáctica mediante el software SolidWorks. Para el diseño físico de la Ruleta Didáctica se consideró varios factores como su fácil transportación para lograr tener un equipo ligero además de la intuitividad y posicionamiento adecuado de componentes para la mano del adulto mayor, como se puede observar en la Fig. 23.

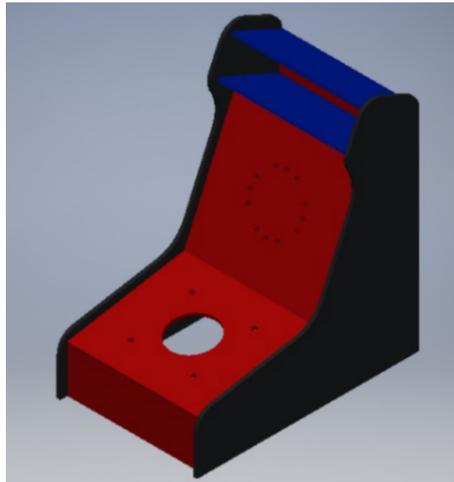


Figura 23: Diseño de la Ruleta Didáctica en SolidWorks.

Para la construcción de la estructura física de la Ruleta Didáctica, se consideró utilizar madera MDF de 6mm, en la cual se ubicó un conjunto de leds que se asemeja al funcionamiento de una Ruleta y una palanca que servirá para determinar una ubicación como se observa en la Fig. 24, Esto permitirá al adulto mayor manipular el dispositivo con su mano para seleccionar la posición de los grupos de leds encendidos respectivamente como se observa en la Fig. 25.



Figura 24: Construcción física de la Ruleta Didáctica vista frontal.



Figura 25: Uso de la Ruleta Didáctica por parte del adulto mayor.

5.2. Diseño de Aplicativos

El sistema multiplataforma HAND-XR en conjunto con el sistema computacional INTY estarán diseñados y desarrollados para trabajar en distintos entornos a final de traer terapias móviles, portables y motivacionales buscando aliviar los problemas generados por la artritis, artrosis y tendinitis mediante el uso de técnicas de terapias psicomotriz avanzada, basándonos en la interacción humano-máquina de los distintos dispositivos, ambos aplicativos fueron desarrollados en la plataforma de desarrollo virtual UNITY, y se exporto un ejecutable compatible con cualquier dispositivo Android, permitiendo a los brigadistas acercarse al adulto mayor con sus propios dispositivos, facilitando las terapias. A continuación, se detalla el funcionamiento y uso de estos aplicativos:

INTY

Este aplicativo es similar a una máquina de baile, para iniciar con el aplicativo el brigadista empieza el juego, pulsando el botón probar, y el adulto mayor comenzaría con el juego, esta aplicación es una



manera de trabajar la coordinación en las manos y la concentración, pues INTY es el que dicta los pasos a seguir y se deben concentrar para no perder ningún movimiento y seguirlos a la perfección.

INTY consta en su pantalla de 4 flechas, que son izquierda, derecha, arriba y abajo, como se muestra en la Fig. 26.

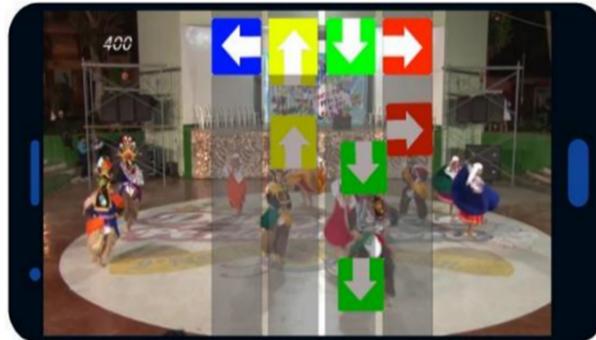


Figura 26: Pantalla principal del juego virtual INTY.

Una vez finalizado el juego, se desplegará una pantalla emergente como se observa en la Fig. 27 con las siguientes características:

1. Mensaje de agradecimiento por haber utilizado el aplicativo.
2. Puntuación final.
3. Botón



Figura 27: Pantalla de finalización.

HAND-RX

Este aplicativo presenta dos juegos como se observa en la Fig. 28 que ayudan al ejercitamiento de dedos y el desarrollo de la concentración, ambos se detallaran a continuación:

PIANO

Al ejecutar el aplicativo, automáticamente visualizará una pantalla similar a la un de piano como se puede observar en la Fig. 29. La activación del sonido viene por defecto, en este aplicativo el adulto mayor puede distraerse y ejercitar los dedos.

DESBLOQUÉAME

En este juego se trata de ubicar las piezas de color celeste correspondientes, de manera ordenada y permitiendo avanzar cuando se completa la fila, la pieza de color rojo es la pieza que indica el fin del juego, la cual debe llegar a la base para pasar a otro nivel. En la Fig. 30 se puede observar el entorno de la aplicación.

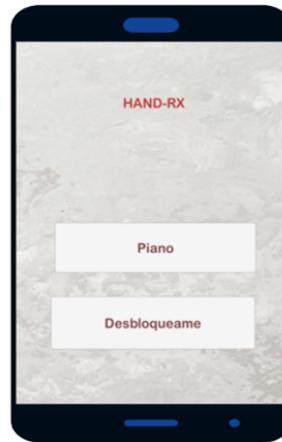


Figura 28: Aplicativo HAND – RX.



Figura 29: Pantalla principal del juego virtual Piano.

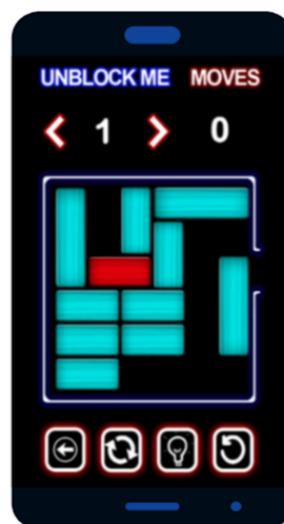


Figura 30: Pantalla principal del juego virtual desbloqueame.

6. Análisis de resultados



Tabla 8: Rehabilitación supervisada por el personal de la institución.

Ejercicios de rehabilitación fisioterapéutica convencionales		
Horas de rehabilitación ejecutadas		
	Grado de movilidad	Fortalecimiento muscular
65	2.5	1.5
68	2.5	1.5
71	2	1
74	2	1
77	2	1
80	1.5	0.45
83	1.5	0.45
86	1	0.30
89	1	0.30
92	0.30	0.15
95...	0.30	0.15

En la tabla 8 se puede observar que los ejercicios de rehabilitación fisioterapéutica convencionales realizados por el personal de la institución tienen una deficiencia en las horas ejecutadas ya que estos ejercicios no lo realizan con equipos especializados y los adultos mayores tienden a cansarse más rápido y pierden el interés en seguir ejecutando la rehabilitación en sus manos y muñecas. En la figura 31 se presenta una gráfica basada en los datos obtenidos con anterioridad de la tabla 8.

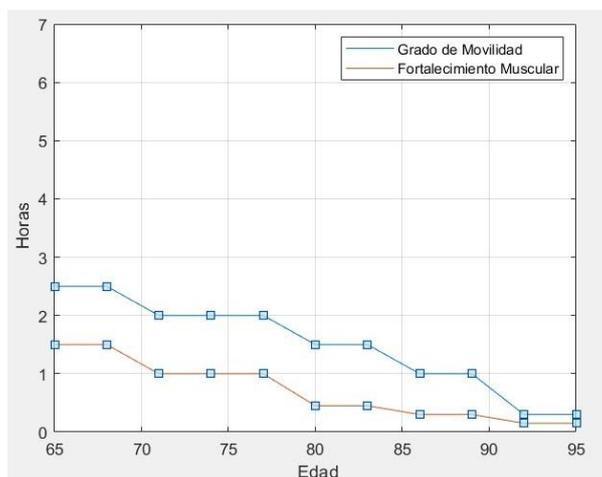


Figura 31: Gráfica de análisis del porcentaje de reducción de la atrofia en los adultos mayores durante un año realizando ejercicios de rehabilitación convencionales.

Tabla 9: Porcentaje de Reducción de la atrofia correspondiente a los 32 adultos mayores de la Brigada “El corazón más feliz” realizando ejercicios convencionales.

Meses	% de Reducción
0	0
1	0.25
2	0.5
3	1



Meses	% de Reducción
4	1.25
5	1.75
6	2
7	2.25
8	2.50
9	2.75
10	3
11	3.25
12	3.50

En la tabla 9 y en la figura 32 se identificó una reducción promedio del 3.5% en dolores musculares causadas por la artrosis y tendinitis en los adultos mayores correspondientes a la Brigada “El corazón más feliz” de la parroquia de Guaytacama provincia de Cotopaxi, mediante la realización de ejercicios de rehabilitación fisioterapéutica convencionales.

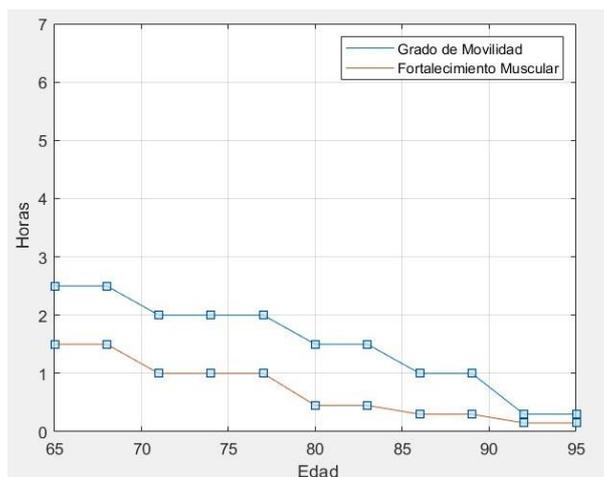


Figura 32: Grafica de análisis del porcentaje de reducción de la atrofia en los adultos mayores durante un año realizando ejercicios de rehabilitación convencionales.

Tabla 10: Horas de rehabilitación empleadas con los módulos didácticos (Piano y Ruleta) en los adultos mayores.

Edades	Módulos didácticos	
	Piano	Ruleta
65	6	6
68	6	6
71	6	6
74	6	6
77	6	6
80	6	6
83	5.5	5.5
86	5.5	5.5
89	5.5	5.5
92	5.5	5.5



Edades	Piano	Ruleta
95. . .	5.5	5.5

En la tabla 10 se puede observar que los módulos didácticos tanto el piano como la ruleta han tenido una excelente aceptación por parte de los adultos mayores debido a que estos equipos les permiten realizar desde 5.5 hasta 6 horas diarias de rehabilitación en sus manos y muñecas, esto se debe mucho a su ergonomía y confort en los diseños. En la figura 33 presenta una gráfica basada en los datos obtenidos con anterioridad de la tabla 10.

Tabla 11: Horas de rehabilitación empleadas con los Aplicativos móviles (Inty, Piano y Desbloquéame) en los adultos mayores.

Aplicativos móviles didácticos			
Horas de rehabilitación ejecutadas			
Edades	Inty	Piano	Desbloquéame
65	5	5	5
68	5	5	5
71	5	5	5
74	5	5	5
77	5	5	5
80	5	5	5
83	4.5	4.5	4.5
86	4.5	4.5	4
89	4.5	4	4
92	4	4	4
95. . .	4	4	4

En la tabla 11 se puede observar que los aplicativos móviles, como el Inty, Piano y Desbloquéame han tenido una buena aceptación por parte de los adultos mayores debido a que estos aplicativos les permiten realizar desde 4 hasta 5 horas diarias de rehabilitación en sus manos y muñecas, la diferencia de horas que se encuentra en la tabla 8 se debe a la avanzada edad de los adultos mayores y a la complejidad que ellos consideran a los aplicativos móviles. En la figura 34 se presenta una gráfica basada en los datos obtenidos con anterioridad de la tabla 11.

Una vez diseñado y desarrollado los dispositivos físicos como aplicativos móviles se procedió a utilizarlos con los 32 adultos mayores encuestados inicialmente. Donde se obtuvieron excelentes resultados tanto en la operabilidad de los dispositivos físicos y aplicativos móviles como en los resultados de mejoramiento de los adultos mayores que padecían con problemas de dolores musculares causada por la artrosis y tendinitis.

Los fisioterapeutas, mostraron su conformidad con el trabajo realizado expresando que los dispositivos físicos y aplicativos móviles son de gran ayuda para realizar ejercicios de rehabilitación fisioterapéutica de las manos y muñecas de los adultos mayores permitiendo su óptima recuperación a largo plazo.

Los dispositivos físicos debido a su ergonomía y confort fueron utilizados con mayor frecuencia que los aplicativos móviles, esto se debe a que los adultos mayores se acoplaron de mejor manera y lograron interactuar más rápido con los dispositivos físicos dando mejores resultados en su rehabilitación fisioterapéutica.

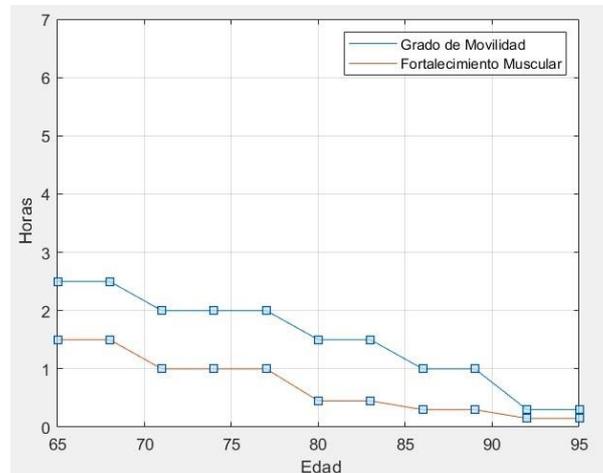


Figura 33: Grafica de análisis de las horas empleadas con los módulos didácticos, (Piano y Ruleta).

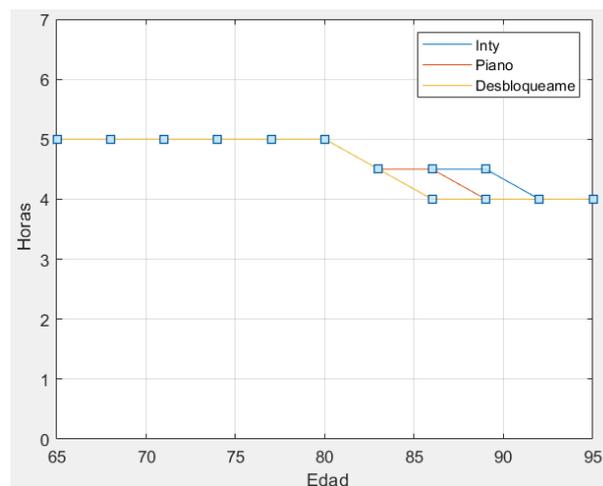


Figura 34: Grafica de análisis de las horas empleadas con los Aplicativos Móviles, (Inty, Piano y Desbloquéame).

Tabla 12: Porcentaje de Reducción de la atrofia correspondiente a los 32 adultos mayores de la Brigada “El corazón más feliz”.

Meses	% de Reducción
0	0
1	0.5
2	1
3	1.5
4	2
5	2.5
6	3
7	3.5
8	4
9	5
10	6



Meses	% de Reducción
11	7
12	8

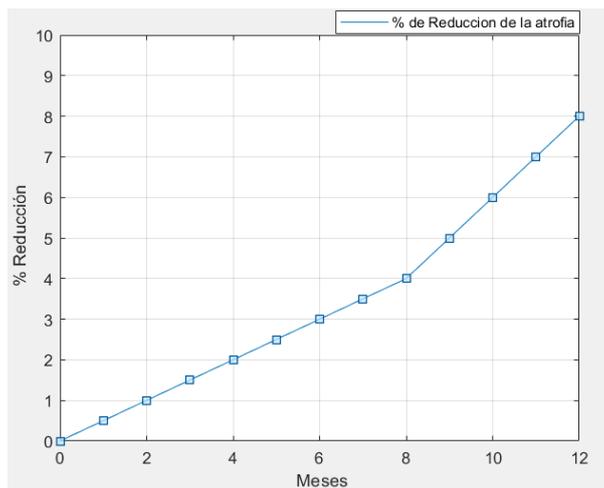


Figura 35: Grafica de análisis del porcentaje de reducción de la atrofia en los adultos mayores durante un año.

Finalmente, en la tabla 12 y en la figura 35 se identificó una reducción promedio del 8 % en dolores musculares causadas por la artrosis y tendinitis en los adultos mayores correspondientes a la Brigada “El corazón más feliz” de la parroquia de Guaytacama provincia de Cotopaxi.

7. Conclusiones

Los síntomas de la artrosis se encuentran relacionados con la edad de los adultos mayores, así como las actividades cotidianas que realizan.

La tendinitis es causada por sobre carga y mini traumatismos repetidos en las articulaciones dado que los 32 adultos mayores encuestados viven en el campo y se dedican a actividades con un mayor esfuerzo físico como el ordeño, cortar hierba, uso del pico y azadón entre otras tareas cotidianas.

Los dispositivos de rehabilitación fisioterapéutica ayudaran a realizar el tratamiento de enfermedades crónicas como Artrosis y Tendinitis permitiendo a mejorar la calidad de vida de todos los adultos mayores de la parroquia de Guaytacama reduciendo la atrofia y dolores musculares.

Los adultos mayores demostraron una mayor aceptación a los dispositivos físicos debido a que su ergonomía y confort brindaron un mejor rendimiento y desempeño en la rehabilitación de las manos y muñecas de los adultos mayores.

Los dispositivos físicos y aplicativos móviles permitieron una reducción promedio del 8 % de los problemas musculares causadas por la artrosis y tendinitis en los adultos mayores contribuyendo a una rehabilitación fisioterapéutica a largo plazo en sus manos y muñecas. La artrosis y problemas musculoesqueléticos son problemas que no tienen corrección médica inmediata, es decir, existe la mitigación del dolor y la rehabilitación de la zona afectada.

El paso más importante para la solución de estos problemas músculo-esqueléticos es la detección a tiempo y temprana del trauma para una posible rehabilitación.



Referencias

- [1] Alwin Luttmann, Matthias Jager, Barbara Griefahn, Gustav Caffier, Falk Liebers, World Health Organization & et al. «Prevención de trastornos musculoesqueléticos en el lugar e trabajo». En: (2004).
- [2] Julio César Fernández-Travieso. «Enfermedades músculo-esqueléticas en los ancianos: una breve revisión». En: *Revista CENIC Ciencias Biológicas* 46.3 (2018), págs. 203-221.
- [3] José R Menéndez López, Vladimir Felinciano Álvarez, Mario A Cervantes Marichal y Vivian Ferrer López. «Enfermedades articulares en una comunidad cerrada: experiencia de dos años de trabajo». En: *Revista Cubana de Medicina Militar* 33.4 (2004).
- [4] A Poley González, JA Ortega Blanco, M Pedregal González, M Martián Azofra, C Hermosilla Camacho y F Mora Moreno. «Prevalencia de enfermedades osteoarticulares y consumo de recursos. Calidad de vida y dependencia en pacientes con artrosis». En: *SEMERGEN-Medicina de Familia* 37.9 (2011), págs. 462-467.
- [5] Alta Smit. «Tratamiento de las enfermedades muscoesqueléticas.» En: *Medicina Biológica* 17.2 (2004), págs. 53-60.
- [6] Sandra Santana López y Rolando Montero Díez. «Impacto de la Globalización en la Salud de los trabajadores de Latinoamérica». En: *Revista Habanera de Ciencias Médicas* 4.5 (2005).
- [7] Mariéa Félix Villar Fernández. «La Carga Física de Trabajo». En: *Centro Nacional de Nuevas Tecnologías. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo* (2011), págs. 1-20.
- [8] Diego Israel Álvarez Solorzano y Javier Josué Flores Ledesma. «Prevalencia de artritis reumatoide en pacientes atendidos en el Hospital General Naval de Guayaquil pertenecientes a la Armada del Ecuador en el periodo del 2017-2019.» En: (2020).
- [9] Jessica Paola Toapanta Gusqui. «Prevalencia y factores asociados de prótesis de rodilla en pacientes del área de traumatología del Hospital Abel Gilbert Pontón Guayaquil-Ecuador, febrero-julio 2015». En: (2015).
- [10] Marcela del Pilar Morillo Robles & et al. «Incidencia de tendinitis de muñeca en una florícola de Tabacundo: Determinación de su asociación con el uso repetitivo de herramientas manuales por largos períodos de tiempo». B.S. thesis. Universidad San Francisco de Quito, 2010.
- [11] A Klahn, M Nygaard, R Gvozdenovic y MEH Boeckstyns. «Elektra prosthesis for trapeziometacarpal osteoarthritis: a follow-up of 39 consecutive cases». En: *Journal of Hand Surgery (European Volume)* 37.7 (2012), págs. 605-609.
- [12] K Daniel Hinzpeter. «Artrosis en la mano». En: *Revista Médica Clínica Las Condes* 25.5 (2014), págs. 738-749.
- [13] R Hart, M Janeček, V Šiška, B Kučera y V Štípačák. «Interposition suspension arthroplasty according to Epping versus arthrodesis for trapeziometacarpal osteoarthritis». En: *European Surgery* 38.6 (2006), págs. 433-438.
- [14] Guus M Vermeulen, Harm Slijper, Reinier Feitz, Steven ER Hovius, Thybout M Moojen y Ruud W Selles. «Surgical management of primary thumb carpometacarpal osteoarthritis: a systematic review». En: *The Journal of hand surgery* 36.1 (2011), págs. 157-169.
- [15] Richard I Burton, Robert M Campolattaro y Peter J Ronchetti. «Volar plate arthroplasty for osteoarthritis of the proximal interphalangeal joint: a preliminary report». En: *The Journal of hand surgery* 27.6 (2002), págs. 1065-1072.
- [16] Areatecnologia. *Pulsador*.
- [17] Julián Pérez Porto y María Merino. *Definición de Joystick*. 2018.
- [18] D. Guide. *El diagrama de casos de uso en UML*. 2020.

INFORMÁTICA Y SISTEMAS

REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA
Y LAS TELECOMUNICACIONES



IV Congreso Internacional de Ciencias Informáticas (27-29 Octubre, 2021), pp. 59-86 ISSN 2550-6730

[19] Lucidchart. *Lucidchart*. 2020.

[20] Zachariah Peterson. *EL MEJOR PROGRAMA CAD ESQUEMÁTICO PARA EL DISEÑO DE PCB*. 2020.