



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**  
**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**“Programación y Evaluación de la Aceptación de un Robot Humanoide  
como Asistente para Terapias Físicas a Adultos Mayores.”**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**Autor:**

**PABLO ANDRÉS SARI CEDILLO**

**Director:**

**ING. HUGO MARCELO TORRES SALAMEA PhD.**

**CUENCA, ECUADOR**

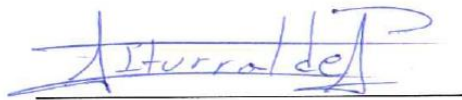
**2019**

# Programación y Evaluación de la Aceptación de un Robot Humanoide como Asistente para Terapias Físicas a Adultos Mayores.

## RESUMEN

El presente documento describe la programación y evaluación del comportamiento de un robot humanoide como asistente para terapias físicas a adultos mayores. El desarrollo del sistema se fundamenta en la implementación de dos rutinas de ejercicios en un robot Bioloid Premium, con la ayuda del software RoboPlus, también se incorporó una aplicación móvil denominada Robot\_Bioloid para mejorar la interacción robot-humano. Finalmente, al realizar las pruebas se utilizó un reloj E4 Wristband para obtener diferentes parámetros como: la sudoración de la piel, aceleración y el flujo sanguíneo, además se realizó una encuesta obteniendo una aceptación del robot y los ejercicios implementados.

**Palabras clave:** Adulto mayor, rutina de ejercicios, Robot Bioloid, RoboPlus.



**Ing. Daniel Iturralde Piedra. Ph.D**  
Coordinador de Carrera



**Ing. Hugo Marcelo Torres Salamea Ph.D.**  
Director de Trabajo de Titulación



---

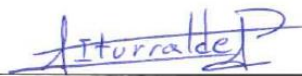
**Pablo Andrés Sari Cedillo**  
Autor

# Programming and Evaluation of Acceptance of a Humanoid Robot as an Assistant in Physical Therapies for Older Adults.

## ABSTRACT

This document describes the programming and evaluation of a humanoid robot behavior as an assistant in physical therapies for older adults. The development of the system is based on the implementation of two exercise routines in a Bioloid Premium robot with the help of RoboPlus software, a mobile application called Robot\_Bioloid was also incorporated to improve robot-human interaction. Finally, an E4 Wristband watch was used when performing the tests to obtain different parameters such as skin perspiration, acceleration and blood flow. In addition, a survey was conducted where the robot and the exercises implemented were accepted.

**Keywords:** Older adult, exercise routine, Bioloid Robot, RoboPlus.




Ing. Daniel Iturralde Piedra. Ph.D  
Faculty Coordinator



Ing. Hugo Marcelo Torres Salamea Ph.D.  
Thesis Director



Pablo Andrés Sari Cedillo  
Author



Translated by  
Ing. Paúl Arpi

# Programación y Evaluación de la Aceptación de un Robot Humanoide como Asistente para Terapias Físicas a Adultos Mayores

Pablo Andrés Sari Cedillo  
Escuela de Ingeniería Electrónica  
Universidad del Azuay  
Cuenca, Ecuador  
pablo14@es.uazuay.edu.ec

**Resumen.** El presente documento describe la programación y evaluación del comportamiento de un robot humanoide como asistente para terapias físicas a adultos mayores. El desarrollo del sistema se fundamenta en la implementación de dos rutinas de ejercicios en un robot Bioloid Premium, con la ayuda del software RoboPlus, también se incorporó una aplicación móvil denominada Robot\_Bioloid para mejorar la interacción robot-humano. Finalmente, al realizar las pruebas se utilizó un reloj E4 Wristband para obtener diferentes parámetros como: la sudoración de la piel, aceleración y el flujo sanguíneo, además se realizó una encuesta obteniendo una aceptación del robot y los ejercicios implementados.

**Palabras Claves.** - Adulto mayor, rutina de ejercicios, Robot Bioloid, RoboPlus.

## I. INTRODUCCIÓN

La robótica aplicada a la medicina es uno de los factores importantes para mejorar la salud de las persona, lo que ha llevado a los investigadores a pensar qué robots serian óptimos para dichas aplicaciones [1], por ejemplo el robot humanoide Nao se ha utilizado en niños con autismo para ayudar a desarrollar las habilidades sociales [2]. Robot Pepper como acompañante del adulto mayor para incentivar a caminar, fortaleciendo los músculos de las piernas y mejorar su estabilidad [3].

Un humanoide es un tipo de robot móvil que tiene una apariencia similar a la de un ser humano, incluyendo la capacidad de manipulación y locomoción [4]. Dentro de la literatura de la robótica, existen publicaciones relacionadas con diferentes aplicaciones que pueden desarrollar los robots humanoides en diferentes áreas, como: tareas militares [5], de seguridad [6], en la salud [7], servicios domésticos [8], acceso y exploración de lugares remotos o peligrosos [9], atención de personas con discapacidad [10], en el desarrollo de habilidades y destrezas en niños autistas [11], pero limitada información en aplicaciones relacionadas con los adultos mayores.

A medida que el tiempo pasa, las personas dejan de realizar actividad física, por lo que se presentan distintas enfermedades, provocando que el adulto mayor no tenga una vida saludable, es aconsejable para este grupo de personas caminar, correr o practicar algún tipo de deporte entre 75 a 150 minutos semanales [12].

La elaboración de este proyecto se centra en motivar a los adultos mayores a realizar actividad física, imitando los movimientos de un robot humanoide Bioloid Premium tipo A, el cual posee la capacidad de realizar rutinas de ejercicios físicos, que puedan ser ejecutadas por personas de la tercera edad.

## A. Estado del arte

En la escuela de Ingeniería Biomédica e Información de la universidad Northeastern se desarrolló el proyecto denominado “*Falling Detection of Lonely Elderly People Based on NAO Humanoid Robot*”, su función principal es detectar las caídas en los adultos mayores, con la ayuda de un robot humanoide Nao, se obtiene imágenes de los movimientos de las personas mediante la cámara del robot, las cuales son enviadas mediante wifi para que sean procesadas en Matlab. Esta aplicación ayudó a los adultos mayores a tener una asistencia médica más rápida y mejorar su seguridad [13].

En la universidad de Tsuba, Japón se realizó “*Design of an accompanying humanoid as a walking trainer for the elderly*”, en el que se utilizó un robot humanoide Pepper con la función principal de motivar a caminar a las personas mayores de un asilo de ancianos, obteniendo resultados favorables, ya que sustituyo al personal del centro quienes se encontraban con exceso de trabajo, los pacientes al ver que el robot caminaba querían seguirle a la misma velocidad [14].

En la universidad de King Khalid, Arabia Saudita se desarrolló “*Development of Persuasive Mobile Intervention Sensitive to Elderly Cognitive Decline*”, la cual consiste en una aplicación móvil denominada AdBo, cuya función principal es guiar al adulto mayor a realizar ejercicios físicos diariamente, también posee la característica de fomentar, y monitorear el progreso de las personas, debido a que realizar actividad física ayuda a reducir el deterioro funcional y de memoria. Tuvo éxito, ya que los ejercicios eran amigables con los pacientes [15].

En el departamento de ingeniería Biomédica en la universidad de Northeastern, EEUU, se desarrolló el trabajo titulado “*Gait measurement by a mobile humanoid robot as a walking trainee*”, el objetivo principal del proyecto es monitorear y alentar a las personas mayores a caminar mediante la utilización de un robot Gemini, el cual al desplazarse realiza movimientos de los brazos y reproduce audios motivadores, está diseñado para que los pacientes puedan apoyarse en su hombro, al realizar los experimentos fue necesario colocar un sensor laser en los pies del robot para verificar si las personas caminan al ritmo del robot [16].

En el departamento de telecomunicaciones JSPMS BSIOTR en la India se desarrolló “*Fall Detection System for Older Adults*”, este proyecto se realizó debido a que los adultos mayores pueden sufrir caídas que causen lesiones graves, fracturas, en algunas ocasiones hasta la muerte. El

funcionamiento principal del sistema es enviar y recibir datos a tiempo real, mediante un sensor Kinect se obtienen imágenes de la posición de la persona, para posteriormente ser procesadas y determinar si el adulto mayor sufrió una caída o no, generando un mensaje de auxilio [17].

En la universidad de Lincoln, Inglaterra se desarrolló *“Lessons Learned from the Deployment of a Longterm Autonomous Robot as Companion in Physical Therapy for Older Adults with Dementia”*, el objetivo principal del proyecto es implementar un robot SCITOS G5 como asistente de caminata en un centro de atención terapéutica del adulto mayor. Para validar el sistema se realizaron pruebas durante un mes, dos veces por semana en dos grupos, el robot a más de ser un acompañante brindaba estimulación acústica mediante la reproducción de sonidos que alentaban a los pacientes a caminar. Esto ayudo a mejorar la dinámica del grupo y a motivarlos [18].

En la Universidad de Investigación PSL, Francia, se desarrolló *“New Serious Game for the Rehabilitation of Older Adults with Post-fall Syndrome”*, el proyecto está compuesto por un paseo virtual y una silla háptica que imita los movimientos de las caderas de las personas al caminar. El juego apunta a desarrollar un análisis de las consecuencias en los adultos mayores al tener una caída, ya que en la actualidad se ha descuidado las prácticas de post-caída [19].

En el departamento de ingeniería electrónica de la universidad Anna, Chennai India, se desarrolló un *“Humanoid Robot Based Physiotherapeutic Assistive”*, el proyecto fue creado debido a la escases de fisioterapeutas en la India, consta de un robot humanoide Nao el cual es capaz de realizar diferentes ejercicios fisioterapéuticos de cuello y extremidades superiores, mediante su cámara adquiere imágenes de los pacientes a tiempo real y las almacena en una nube para que pueda ser analizado por un médico especialista [20].

En la facultad de tecnología informática de la Universidad Abierta Interamericana de Buenos Aires se desarrolló *“Una nueva herramienta para el uso de humanoides en educación”*, el objetivo principal del proyecto es implementar una herramienta educativa dentro de Physical Etoys mediante el uso del kit Bioloid Premium. Su finalidad es que los alumnos de los centros educativos de educación básica programen kits de robótica, de forma sencilla, mediante el uso de un entorno desarrollado específicamente para personas de temprana edad [21].

En la facultad de ingeniería de la universidad Autónoma de Querétaro, México se desarrolló *“Adaptation of Robot BIOLOID Premium for Weightlifting HuroCup - FIRA”*, el proyecto se trata de realizar modificaciones en los brazos del robot Bioloid tipo A para participar en la competencia de levantamiento de pesas FIRA. Los cambios se dan de acuerdo a la forma de la barra de las pesas y las posiciones que debe tener el robot al momento de levantar el peso muerto durante la competencia [22].

### B. Marco Teórico

La investigación se centra en desarrollar la programación de dos rutinas de ejercicios en un robot humanoide tipo A por lo que es importante tener en cuenta los siguientes conceptos.

## Salud y Bienestar en los Adultos Mayores

### Salud y Bienestar

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha definido que el estado de la salud y bienestar de la población depende de los determinantes sociales de la salud, que se define como *“las condiciones de las personas nacen, crecen, alimentan, viven, educa, trabajan, divierten, envejecen y mueren”* y en las que influyen según su edad y sexo, los estilos de vida, las actitudes y conductas de riesgo que afectan su salud [11].

### Adulto Mayor

La OMS denomina adulto mayor a toda persona mayor a 60 años, dividiendo en 3 partes de 60 a 74 años se denomina personas de edad avanzada, de 75 a 90 ancianos y los mayores a 90 longevos [11].

### Rutina de Ejercicios

Una rutina de ejercicios es parte de la terapia física, está compuesta por varios ejercicios distribuida en 3 partes calentamiento, desarrollo, relajación [11].

Un programa de entrenamiento para el adulto mayor permite incrementar su salud física y mental, su potencial físico, reduciendo riesgo de padecer enfermedad con el pasar de los años. Al ejercicio físico también se le denomina como la *“píldora anti envejecimiento”* [12].

### Robot Humanoides

#### Definición

Es un tipo de robot móvil diseñado para simular la apariencia y movimientos de las diferentes articulaciones de un ser humano, poseen un torso, cabeza, brazos y piernas, en algunas ocasiones posee la estructura de la cintura para arriba. Se utiliza con fines experimentales, educativos, entre otras [4].

#### Tipos de Robots Humanoides Comerciales

En nuestro medio no existe empresas que se dediquen a la producción de robots humanoides por lo que se debe importar, a continuación, se describe algunos de ellos.

a) *Kit Robot Bioloid Premium*: kit de robótica creado por la casa Robotis, posee 18 servomotores DYNAMIXEL AX-12, con él se puede crear 3 humanoides y hasta 26 robots diferentes, posee sensores de distancia Dms, giroscopio, infrarrojo. Su programación es mediante el software Robot Plus y otros lenguajes de programación como Python, Matlab. Se ha utilizado en proyectos como ayudar a niños con autismo, levantamiento de pesas, competencia de robots luchadores, como entrenador de baile, entre otros, ver Fig.1.



Fig.1. Kit Robot Bioloid Premium [23].

Las características del robot Bioloid Premium es que posee un controlador CM-530, el cual posee un procesador ARM Cortex STM32F103RE de 32 bits, trabaja a una alimentación entre los 6.5v a 15v, pero es recomendable utilizar con 11v, posee puertos de entrada y salida con una corriente máxima de 300mA, 6 puertos auxiliares de 5 pines compatibles con sensores y dispositivos de terceros. Para utilizar una comunicación inalámbrica se puede hacer mediante módulos Zigbee, bluetooth, e infrarrojo. Es compatible con el software RoboPlus y lenguaje C. [23].

Los movimientos de las articulaciones se realizan por medio de los motores DYNAXIMEL AX-12A que tiene la capacidad de rastrear su velocidad, temperatura, voltaje, posición del eje, y carga, todo esto es controlado por un microcontrolador que viene incorporado en él motor. Se comunican mediante TTL-multi drop, esto quiere decir que cada motor está identificado por un número a través de un bus serie, lo que hace la diferencia con otros tipos de servo motores que necesitan de la programación del pwm para su funcionamiento [23].

b) *Robot EDBOT DARWIN MINI:* es un robot humanoide de 16 grados de libertad creado para la educación de niños, adolescentes y adultos. Se puede programar en Scratch, Python, Robot C, C++, C#, JAVA, .NET, TCL. En México actualmente se utiliza para enseñar a programar a niños en las escuelas mediante el software Scratch. Ver Fig.2 [24].



Fig.2. Edbot Darwin Mini [24].

c) *Robot Lynx:* es un robot humanoide de 18 grados de libertad creado por Ubtech Robotics en el año 2017, funciona con la tecnología Alexa (asistente inteligente de casa basado en voz, desarrollado por Amazon). Posee sensores de gravedad, giroscopio, táctiles capacitivos y PIR, y una cámara que transmite a tiempo real, gracias a ellos podemos tener la capacidad de mostrar que sucede en casa mientras realizamos nuestra actividades diarias fuera de ella, ver Fig.3 [25].



Fig.3. Humanoide Lynx [25].

d) *Robot Alpha 1S:* es un robot de tipo humanoide de 16 grados de libertad que puede reproducir diferentes sonidos o música y realizar todo tipo de movimientos complejos gracias a sus avanzadas articulaciones de alta calidad. Está diseñado para el entretenimiento como para fomentar los conocimientos de robótica y la capacidad de innovación y manipulación de los adolescentes, ver Fig.4 [26].



Fig.4.Alpha 1S [26].

e) *Robot Nao:* es un robot tipo humanoide de 25 grados de libertad creado por la empresa Softbank Robotics en el año 2008, actualmente la última versión es la v5. Puede realizar movimientos y acciones sin límites, ya que posee dos cámaras, cuatro micrófonos, nueve sensores táctiles, dos sensores ultrasonidos, ocho sensores de presión, un acelerómetro y un giroscopio. Se ha utilizado en proyectos como niños con autismo, profesor, jugar futbol, tenis, y una variedad de proyectos causando un gran aporte a la sociedad en el ámbito de la educación y desarrollo social, ver Fig.5 [27].



Fig.5. Robot Nao [27].

f) *Robot SainSmart:* es un humanoide de 17 grados de libertad creado por la empresa SainSmart, con servos digitales SR319 con un par máximo de 360 grados, se puede mover con la suficiente flexibilidad, es capaz de realizar acciones parecidas a la de los humanos. Es controlado por una placa de transmisión de 32 canales y un control remoto. Se utiliza con fines experimentales como mostrar los diferentes movimientos que se asemejan a las acciones de los humanos, ver Fig.6 [28].



Fig.6. Humanoide SainSmart [28].

g) *Pepper*: es un robot humanoide diseñado por Softbank Robotics para convivir y relacionarse con los seres humanos, mide alrededor de 120cm, tiene una cámara 3d, múltiples sensores, una pantalla táctil, trasmite y recibe datos en tiempo real. Puede desplazarse en cualquier dirección por 3 km de manera autónoma y posee movientes muy flexibles por lo que tiene la capacidad de imitar los gestos de las personas, ver Fig.7 [29].



Fig.7. Humanoide Pepper [29].

h) *Zeus*: es un robot humanoide construido por Maker Luisrobots, su funcionamiento se basa en un Arduino que es el encargado de controlar los movimientos de los servomotores y una Raspberry Pi 2 encargada de controlar las cámaras y los altavoces, posee un módulo tranceptor nRF24L01, shield Bluefruit EZ-Link para la comunicación, tiene una altura de 1,21 m y pesa 8kgs, ver Fig.8 [30].



Fig.8. Humanoide Zeus [30].

i) *HOAP-3*: es un robot humanoide fabricado por Fujitsu, posee cámaras CCD (cámaras fotográficas y de video digitales), un micrófono, altavoz, un led para mostrar una expresión, una altura de 60cm y un peso de 9kg. Su programación se realiza en el lenguaje C++, ver Fig.9 [31].



Fig.9. Humanoide HOAP-3 [31].

En la Tabla I se muestra una comparación de las diferentes características de los robots humanoides.

TABLA I. COMPARACIONES DE DIFERENTES ROBOT QUE SE ENCUENTRAN DISPONIBLES EN NUESTRO MEDIO.

Nombre	Motores	Lenguaje de programación	Controlador	Tamaño	Precio EEUU (\$)
			Sensores	Peso	
Kit Robot Bioloid Premium	18	RoboPlus	CM-530	15.6"	1199.00
			Distancia Dms,	1.7kg	

			Giroscopio, Infrarrojo.		
Edbot Darwin Mini	16	Scratch, Python, Robot C, C++, C#, JAVA, .NET, TCL	OpenCM9.04-C	11 x 7.5 x 5"	562.85
			Infrarrojos, tacto, color, magnético, DMS, giroscópico	1.35kg	
Lynx	18	Alpha 1 PC software	RK3288 Max 1.8GHz 4*Cortex-A17	6.5 x 12.1 x 20.1"	799
			Gravedad, giroscopio, táctiles, capacitivos y PIR	4.7kg	
Alpha 1S	16	Alpha 1S	STM32-F103RDT6	18 x 7 x 12"	699
			Giroscopio, Voz	3.6kg	
Nao	24	Choreographe, Python, C++	Intel ATOM 1.6 Hz.	22.83"	8530.83
			4 cámaras, 4 micrófonos, 9 sensores táctiles, 2 sensores ultrasonidos, 8 sensores de presión, acelerómetro y un giroscopio	4,3 kg	
SainSmar	17	Arduino	Arduino, SD 21 servo controlador	12.6 x 4.7 x 19.9"	300
			Se tiene que comprar por separado	1.68kg	
Pepper	20	Choreographe, Python, C++	cámara 3D, 4 micrófonos, sensor de sonidos y tacto	120 cm	19062.3
				28 kg	
Zeus	18	Arduino	Arduino	121cm	2299
			cámaras, micrófono	8kg	
Hoap-3	28	OPENHRP3	PC	60cm	17328
			cámara, micrófono, altavoces	9kg	

#### Plataformas de Programación utilizados en los Robots Humanoides.

A continuación, se lista los lenguajes y softwares de programación más utilizados en el desarrollo de aplicaciones con robots humanoides. Scratch, Python, Robot C, C++, C#, JAVA, .NET, TCL, Choreographe, Phyton, Arduino, RoboPlus.

El robot a utilizar en nuestro proyecto es el robot Bioloid Premium debido a su bajo costo y grandes características en comparación con el robot nao y pepper.

El funcionamiento principal del sistema es la programación de dos rutinas de ejercicios para adultos mayores en un robot Bioloid Premium tipo A, para lo cual es necesario programar el movimiento de los diferentes servomotores o articulaciones de acuerdo al ejercicio físico que se desea realizar.

Los servomotores poseen grandes características entre una de ellas una rotación de 0 a 300 grados representados en un rango de valores de 0 a 1021. Para que el robot realice movimientos que puedan ser imitados por las personas se obtuvieron los rangos de cada servomotor, ver Tabla II, en caso que el valor utilizado para un servomotor no esté dentro del rango, el robot emitirá una alarma y no funcionará debido a que no es posible realizar dicho movimiento.

TABLA II. RANGO DE VALORES PERMITIDO POR LOS SERVOMOTORES.

Servomotor	Grados(0-1021)
1	0 – 850
2	1021 – 189
3	559 – 198
4	467 – 813
5	518 – 169
6	512 – 856
7	170 – 512
8	451 – 840
9	391 – 629
10	624 – 409
11	531 – 78
12	491 – 940
13	522 – 195
14	501 -823
15	828 – 488
16	198 – 536
17	418 – 656
18	398 – 638

Análisis del software para la implementación del sistema.

### RoboPlus Motion

Este subprograma se utiliza para crear los diferentes movimientos de los servomotores y está constituido por diferentes herramientas, ver Fig.10.

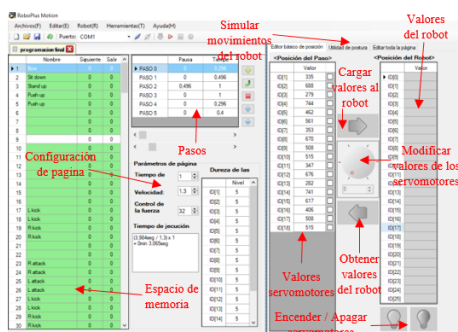


Fig.10. Robot Plus Motion.

#### j) Espacio de memoria

Aquí se puede encontrar el nombre de cada ejercicio y la dirección en la que se almacena en el controlador, en un rango de 0 a 250, además dispone de la opción “siguiente” donde se puede configurar la dirección del próximo movimiento a realizar el robot.

#### k) Pasos

Esta herramienta permite crear los diferentes movimientos que el robot debe realizar para conseguir la posición deseada, como máximo se puede tener 6 pasos por cada dirección.

#### l) Valores de los servomotores

En esta parte se muestra los valores de los 18 servomotores en un rango de 0 a 1021 de los movimientos.

#### m) Simular movimientos del robot

Una vez creado un paso, se procede a simular el movimiento que va a realizar el robot, ver Fig.11.



Fig.11. Simulador.

#### n) Configuración de Página

En esta parte se configura el tiempo, número de repeticiones y la velocidad con la que se va a realizar un movimiento.

#### o) Cargar valores al robot

Esta opción nos permite cargar los datos en el robot y verificar el movimiento que realiza con dichos valores.

#### p) Obtener valores del robot

Esta opción nos permite obtener y almacenar en un paso los valores en que se encuentran los servomotores del robot.

#### q) Valores del robot

Se muestra los valores que se encuentra en los servomotores del robot sin almacenar ningún dato en un paso.

#### r) Modificar valores de los servomotores

Con esta opción podemos variar la posición de los servomotores, para lo que es necesario girar la perilla hacia la derecha si se desea aumentar o a la izquierda para disminuir el valor.

#### s) Encender y apagar servomotores

En esta opción se puede apagar los servomotores del robot para mover con la mano una o varias articulaciones, luego prender para obtener los valores de los servos y guardar la posición en un paso.

### RoboPlus Task

El subprograma está conectado con el RoboPlus Motion, el cual obtiene los datos de las diferentes direcciones de memoria, para realizar la programación según el orden en que el robot ejecutara los ejercicios, ver Fig.12.



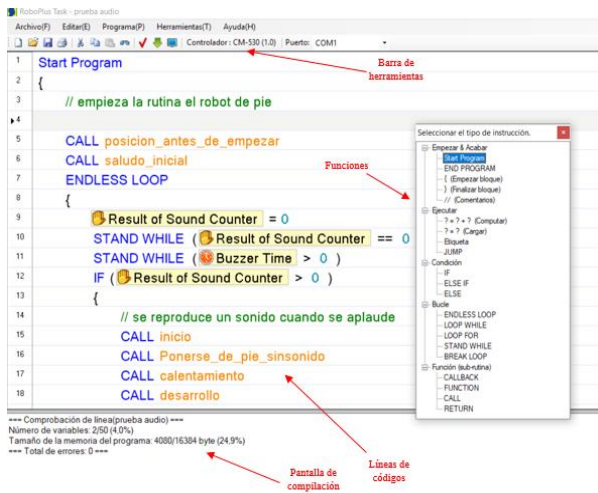


Fig.12. Robot Plus Task.

a) Barra de Herramientas

En esta opción se puede crear, guardar, editar, compilar proyectos, para lo que es necesario configurar el tipo de controlador que se va a utilizar y el puerto en que está conectado el mismo.

b) Funciones

Al insertar una nueva línea y dar doble clic izquierdo sobre la misma se nos aparece la opción de funciones, en la que escogeremos la opción que deseamos realizar, por ejemplo, si deseamos crear una nueva función escogemos la opción FUNTION.

c) Líneas de Código

En las líneas de código crearemos las diferentes funciones en el orden que deseamos que el robot realice las misma. También podemos enviar datos para comunicación serial, habilitar Timers, reproducir tonos y otras. Al dar doble clic nos aparece la ventana Establecer Dispositivo, en donde se muestra las opciones que se puede asignar a una instrucción, ver Fig.13.

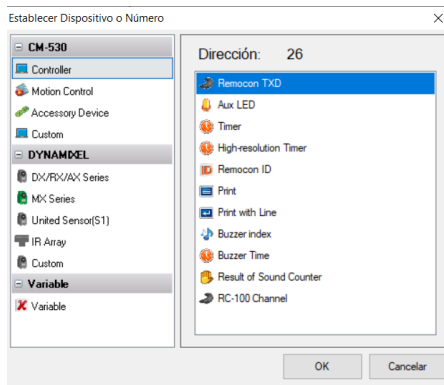


Fig.13. Ventana Establecer Dispositivo.

d) Pantalla de Compilación

Al dar clic en el icono de compilación ubicado en la barra de herramientas nos aparecerá una pantalla que muestra el número de errores, si compilo o no el programa, la cantidad

de variables utilizadas y el tamaño de la memoria del programa.

Android Studio.

Es una plataforma de programación en la que se puede crear una variedad de aplicaciones móviles como: juegos, redes sociales, turismo, comida, cuentas bancarias, ver Fig.14.

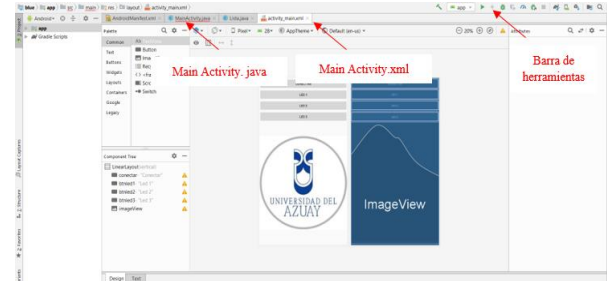


Fig.14. Android Studio.

Está constituida de varias herramientas como:

a) Barra de Herramientas

En esta barra se puede guardar, crear, compilar el programa, elegir el api con el que se compatible la aplicación.

b) Main Activity. java

Aquí se desarrolla toda la programación principal de la aplicación.

c) Main Activity.xml

En esta activad se desarrolla toda la parte de la interfaz que va a ser vista por el usuario, es decir se agrega botones, imágenes, listas, etc.

II. METODOLOGÍA

A. Implementación del sistema.

El desarrollo de la programación del sistema consta de dos rutinas, la primera con 55 y la segunda 64 movimientos diferentes, divididas en tres etapas: calentamiento, desarrollo y relajación, con una duración aproximada de 16.05 y 16.4 minutos respectivamente, ver Tabla III.

TABLA III. DISTRIBUCIÓN DE LAS RUTINAS DE EJERCICIOS.

Primera Rutina				
	Cantidad de ejercicios	Cantidad de movimientos diferentes	Cantidad de movimientos totales	Tiempo de ejecución (minutos)
Calentamiento	6	14	130	4.75
Desarrollo	8	21	144	6.84
Estiramiento	6	20	20	4.1
Segunda Rutina				
	Cantidad de ejercicios	Cantidad de movimientos	Cantidad de movimientos totales	Tiempo de ejecución (minutos)
Calentamiento	6	14	130	4.12
Desarrollo	10	20	200	7.5
Estiramiento	8	30	30	4.33

La metodología utilizada para la implementación del sistema se compone de cuatro etapas:

a) Programación del movimiento o paso.

- b) Programación de una función.
- c) Programación del audio.
- d) Programación de las 3 etapas que forman cada una de las rutinas.

### Implementación de un movimiento o paso

El movimiento o paso se refiere a una posición de las articulaciones del robot, para la implementación del mismo es necesario utilizar el software RoboPlus Motion, por ejemplo, para realizar la actividad de levantar ambos brazos a la vez, es necesario indicar la dirección de memoria en la que se almacenará los valores de las articulaciones como también dar un nombre para poder identificar la misma, en este caso será la dirección 10 y el nombre "Levantar Brazos", ver Fig.15.



Fig.15. Dirección de memoria y nombre del ejercicio.

Luego de haber colocado el nombre en la respectiva dirección, se procede a crear un paso, asignando los valores de los 18 servomotores, configurando la velocidad, tiempo de ejecución y la cantidad de repeticiones del movimiento a realizar, ver Fig.16.

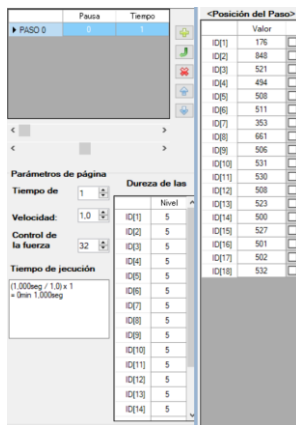


Fig.16. Configuración de un paso.

En el menú "utilidad de postura" se elige el robot Bioloid tipo A y se procede a verificar por medio de una simulación el movimiento de las articulaciones del robot, verificando de esta manera si los valores colocados en la ventana de programación del paso son los correctos Fig.17.

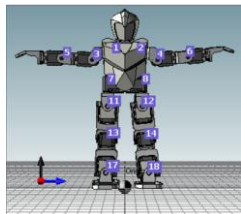


Fig.17. Simulación del movimiento.

Luego de haber comprobado la simulación se procede a verificar el movimiento real en el robot, para lo cual es necesario enviar los datos de la posición del paso a la posición del robot Fig.18.

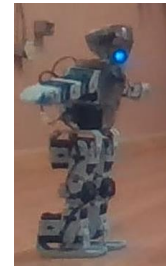


Fig.18. Comprobación del movimiento.

Este procedimiento se debe realizar para los 119 movimientos o pasos que involucran las dos rutinas con sus tres etapas cada una.

### Implementación de un Ejercicio o una Función.

En el sistema una función representa un ejercicio, la cual puede estar compuesta por uno o más movimientos y direcciones de memoria, por ejemplo, para la actividad acostarse boca arriba se ha utilizado el diagrama de flujo que se muestra en la Fig.19, el mismo, que está compuesta por 6 pasos o movimientos y 1 dirección de memoria.

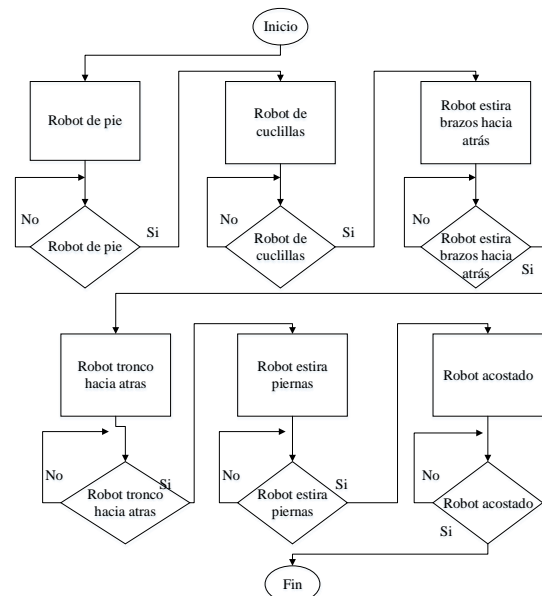


Fig.19. Diagrama de flujo para que el robot se acueste.

Para crear la función se utiliza el subprograma RoboPlus Task, para lo cual es necesario escoger la instrucción FUNCTION dando doble clic en una línea en blanco, a la misma que se le dará un nombre.

Para comunicarse con los datos de las articulaciones de un movimiento que se encuentran localizados en un espacio de memoria, es necesario utilizar la instrucción "Motion Index Number" que se encuentra en la ventana "Establecer Dispositivo o Número" en la opción "Motion Control".

Por ejemplo, para el ejercicio acostarse apuntamos a la dirección 60. El comando STAND WHILE permite verificar si algún otro ejercicio se está ejecutando, si es verdadero entra en un bucle infinito hasta que el robot acabe de realizar el ejercicio, caso contrario obtiene los datos del controlador y realiza el movimiento, ver Fig.20.

```

FUNCTION abrir_cerrar_codos
{
  STAND WHILE ( Motion Status == TRUE )
  Motion Index Number = 35
}
FUNCTION acostarse
{
  STAND WHILE ( Motion Status == TRUE )
  Motion Index Number = 60
}

```

Fig.20. Función acostarse.

### Implementación del Audio para el robot Bioloid

Para mejorar la interacción robot – humano se implementó una aplicación denominada Robot\_Bioloid, la misma que fue desarrollada en el software Android Studio, ver Fig.21. Para reproducir los diferentes audios como “acostarse, arriba abajo,” entre otros, es necesario que el robot envíe datos entre 10 a 80 que es el lugar donde se almacena los mensajes programados para el robot, los mismos que serán identificados por la aplicación móvil que es la encargada de reproducir cada uno de ellos de acuerdo a cada ejercicio.



Fig.21. Pantalla principal aplicación Robot\_Bioloid.

Para lograr la comunicación entre el robot y la app se utilizó una comunicación inalámbrica bluetooth, con la ayuda de una tarjeta Arduino un módulo BT-410 y un HC-06, ver Fig.22.

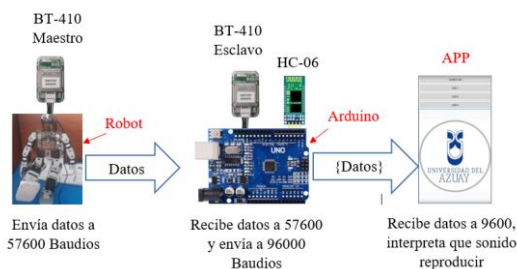


Fig.22. Aplicación Robot\_Bioloid.

El funcionamiento del sistema de audio se realiza de la siguiente manera:

Antes de realizar los ejercicios, el robot solicita un audio indicando el tipo de ejercicio a ejecutar, para lo cual es necesario enviar valores del 10 al 80 por comunicación serial (bluetooth BT-410 maestro) a una velocidad de 57600 baudios, el mismo que es captado por una tarjeta Arduino con la ayuda de un módulo BT-410 esclavo.

El Arduino detecta el valor que es enviado por el robot y agrega el carácter “{” al inicio y “}” al final para enviar una trama de caracteres a una velocidad de 9600 baudios mediante un módulo bluetooth HC-06 a la app.

La aplicación móvil mediante comparaciones interpreta que sonido se debe reproducir, ver Fig.23.

```

MediaPlayer.create( context: this,R.raw.saludo);
MediaPlayer.create( context: this,R.raw.conteoregresivo);
MediaPlayer.create( context: this,R.raw.calentamiento);
MediaPlayer.create( context: this,R.raw.desarrollo);
MediaPlayer.create( context: this,R.raw.estiramiento);

```

Fig.23. Audios.

#### a) Implementación del sonido de una Función.

La implementación del audio se realiza por medio de una comparación entre una cadena de caracteres enviadas por la tarjeta Arduino y el String establecido en Android Studio, por ejemplo, si el String es igual a 19 se reproduce el audio “acostarse”, ver Fig.24.

```

else if (datosFinales.contains(" 19")) {
  sonido19();
  s19.start();
  while (s19.isPlaying()){
  }
  s19.release();
}

```

Fig.24. Comando para reproducir un audio en Android Studio.

Para implementar la programación de la función con el audio que describa el ejercicio a ser realizado por el robot, es necesario solicitar los datos del sonido, desde el subprograma RoboPlus Task a la aplicación móvil Robot Bioloid, la instrucción encargada de esta solicitud es “Print”, a la cual se debe colocar un valor entre 10 a 80 que es el lugar donde se almacena los diferentes audios programados para el robot, esta instrucción se utiliza en todas las funciones que se requiere reproducir un sonido. Ver Fig.25.

```

FUNCTION acostarse
{
  Print = 19
  STAND WHILE ( Motion Status == TRUE )
  Motion Index Number = 60
}

```

Fig.25. Función acostarse con comunicación serial.

#### B. Implementación de las rutinas de ejercicio.

La rutina de ejercicios es el conjunto de funciones distribuidas en tres etapas: calentamiento, desarrollo y relajación.

La implementación del sistema consta de dos rutinas: la primera se realizó con ejercicios que requieren poco esfuerzo físico, mientras que el segundo tiene mayor cantidad de ejercicios por lo tanto requiere un mayor trabajo físico.

La programación de cada una de las etapas de la rutina se realizó en RoboPlus Task utilizando las diferentes funciones que se desarrolló anteriormente como se indica en la Tabla IV.

TABLA IV. ALGUNAS FUNCIONES IMPLEMENTADAS.

Número de ejercicio	Funciones
1	levantar ambos brazos
2	alzar brazos
3	Mover el tronco
4	Semi-sentadillas
5	calentar pie derecho
6	calentar pie izquierdo

### 1) Programación de la etapa de Calentamiento

Es muy importante realizar un calentamiento previo antes de realizar una actividad física para reducir el riesgo de sufrir lesiones musculares y permitir que los músculos se adapten a los ejercicios físicos a realizar. En esta parte se realizará ejercicios suaves como sentarse, levantarse, mover brazos, pies y rodillas, entre otras, en la Fig.26 se muestran algunos ejercicios.



Fig.26. Ejercicios de calentamiento.

En la Fig.27 se indica la programación de la etapa de calentamiento que consta de un grupo de 6 ejercicios con un tiempo de espera entre cada uno de ellos de 10.1 segundos, el mismo que es utilizado para que el adulto mayor descanse, luego de este tiempo se reproduce un audio que describe el siguiente ejercicio a realizar.

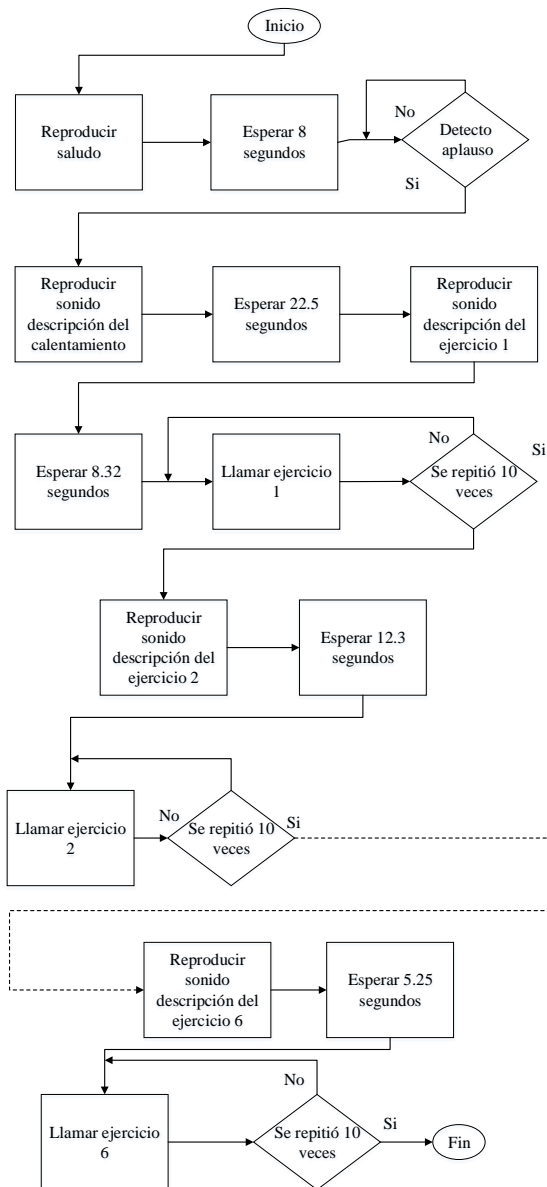


Fig.27. Ejercicios de calentamiento.

En la Tabla V se puede observar el valor en grados que son necesarios para la programación de cada uno de los servomotores que intervienen en los ejercicios de calentamiento y el tiempo que se demora en ejecutar el mismo para cada una de las rutinas, donde TR1 es el tiempo de la primera rutina y TR2 de la segunda.

TABLA V. DISTRIBUCIÓN DE EJERCICIOS CALENTAMIENTO.

Etapa de Calentamiento			
# ejercicio	Servomotores	Grados que gira	Tiempo de cada rutina (TR1 y TR2) en segundos
1	3, 4	-90 , 90	TR1= 38.32 TR2= 60
2	1,2	160 , -160	TR1= 72.28 TR2= 30
3	3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 16	-59.35, 59.35, 97.85, -103.13, -22.33, -22.92, 1.18, -1.18, -7.35, 0.88, -3.82, -9.11	TR1= 36.52 TR2=30.12
4	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18	-1.76, 2.06,-15.28, 21.16, 0.88, -6.17, -0.29, -3.53, -0.29, 5.58, 74.93, -70.52, 117.24, -117.24, -53.77, 55.24, -1.47, 5.88	TR1= 31.2 TR2=31.2
5	18	-42	TR1=15.248 TR2= 10
6	17	42	TR1=15.248 TR2=10

### 2) Programación de la etapa de Desarrollo

Es la parte fundamental de la actividad física que deben desarrollar las personas de la tercera edad, esta etapa de ejercicio es más intensa que la de calentamiento y relajación, incorporan ejercicios de fuerza y cardiovascular, requiriendo de un mayor esfuerzo físico, los mismos ayudarán a aumentar y fortalecer la masa muscular de brazos, hombros, piernas, abdominales, mejorando la estabilidad y flexibilidad en el adulto mayor, ver Fig.28.



Fig.28. Ejercicios de desarrollo.

Para realizar la programación de la etapa de desarrollo se utiliza la misma lógica que la del calentamiento, con la única diferencia que varía la cantidad de ejercicios, nombres y repeticiones de cada uno de ellos. Es importante recalcar que para realizar los ejercicios hay que tener en cuenta el punto de equilibrio del robot, ya que esto nos ayudara a tener mayor estabilidad y eficacia al realizar los mismos.

En la primera rutina el robot realiza 8 ejercicios en diferentes posiciones como: levantar brazos, sentadillas, levantar las piernas acostado entre otras con un tiempo aproximado de 6.84. En la segunda rutina el robot realiza 10 ejercicios como: ponerse de cuclillas, levantar brazos, sentadillas, ponerse en posición flexión de pecho, levantar piernas en posición flexión de pecho, con un tiempo aproximado de 7.5.

Por lo que es importante realizar la programación de algunos ejercicios o funciones que involucran controlar la estabilidad del robot, como por ejemplo ponerse en posición de “flexión de pecho”, el robot realiza esta actividad en un tiempo de 4.331 segundos, para su implementación se utiliza la lógica de la Fig.19, la cual está compuesta por 6 movimientos en el siguiente orden:

Robot de pie

Robot estira brazos

Robot cuclillas

Robot tronco hacia adelante

Robot estira piernas

Robot posición de pecho

Otra función importante es la denominada “ponerse de pie”, la cual es contraria a la función “posición flexión de pecho”, la misma que se realiza en un tiempo promedio de 4.176 segundos. Para su implementación se utiliza la lógica de la Fig.19 en el siguiente orden:

Robot posición de pecho.

Robot dobla rodillas.

Robot tronco hacia atrás.

Robot manos abajo.

Robot de pie.

Para cumplir con los ejercicios de la etapa de desarrollo dentro de las dos rutinas es necesario programar los diferentes servomotores del robot de acuerdo a la Tabla VI.

TABLA VI. DISTRIBUCIÓN DE EJERCICIOS DESARROLLO.

Etapa de Desarrollo			
# ejercicio	Grados (0-300) de los 18 servomotores rutina 1	Grados (0-300) de los 18 servomotores rutina 2	Tiempo de cada rutina (TR1 y TR2) en segundos
Posición de referencia 0° (Robot de pie)			
1	36.73, 127.52, -10.87, 16.75, 9.11, -14.40, -1.47, -6.17, 0.59, 5.29, 43.78, -46.43, 61.70, -39.08, -24.39, -2.06, -1.76, 2.06	36.73, 127.52, -10.87, 16.75, 9.11, -14.40, -1.47, -6.17, -0.59, 5.29, 43.78, -46.43, 61.70, -39.08, -24.39, -2.06, -1.76, 2.06	TR1=40.501 TR2=266.666
2	-1.76, 2.06, -15.28, 21.16, 0.88, -6.17, 0.76, -2.64, -0.59, 4.70, 76.98, -72.58, 132.81, -66.41, 67.87, -1.76, 5	-125.47, -23.21, -10.87, 16.75, 9.11, -14.40, -1.47, -6.17, -0.59, 5.29, 43.78, -46.43, 61.70, -39.08, -24.39, -2.06, -1.76, 2.06	TR1=32.808 TR2=20
3	-74.93, 76.98, -13.22, 17.34, 84.62, -90.79, -1.47, -1.47, 0.29, 4.41, 55.53, -51.13, 83.45, -83.15, -35.26, 6.73, -1.47, 4.70	-1.76, 2.06, -15.28, 21.16, 0.88, -6.17, 0.00, -2.64, -0.59, 4.70, 76.98, -72.58, 132.81, -132.81, -66.41, 67.87, -1.76, 5.00	TR1=26.656 TR2=44.96
4	-90, 90 (Servomotores 3 y 4)	-90, 90 (Servomotores 3 y 4)	TR1=38.32 TR2=30

5	Posición de referencia 0° Robot acostado -9.40, 9.99, -0.29, 4.70, -8.23, 8.23, 1.18, -2.64, 0.76, 1.18, 75.81, -76.40, 114.89, -114.89, -62.59, 70.81, 0.29, -5.58	-1.76, 2.06, -15.28, 21.16, 0.88, -6.17, 0.76, -2.64, -0.59, 4.70, 76.98, -72.58, 132.81, -132.81, -66.41, 67.87, -1.76, 5	TR1=34.356 TR2=33.333
6	-7.64, 7.93, 14.99, -16.45, -9.11, 14.40, 1.47, 0.88, 0.29, -4.41, 0.88, -5.88, -2.35, 2.35, -8.81, 15.57, 43.78, -10.87	-59.35, 59.94, 97.85, -103.13, 20.86, 21.74, 0.00, 0.88, 5, 5, -0.29, -0.29, 10.28, -0.88, 0.59, 1.18	TR1=34.356 TR2=30.12
7	-7.64, 7.93, 14.99, -16.45, -9.11, 14.40, 1.47, 0.88, 0.29, -4.41, 0.88, -5.88, -2.35, -8.81, 15.57, 1.76, -46.43	-74.93, 76.98, -13.22, 17.34, 84.62, -90.79, -1.47, -1.47, -0.29, 4.41, 55.53, -51.13, 83.45, -83.15, -35.26, 6.73, -1.47, 4.70	TR1=43.54 TR2=20
8	18.22, -19.69, -2.35, 2.64, -0.29, 5, 0.29, 17 (desde el servo 11 al 18)	-86.09, 86.39, 2.35, 3.53, -2.94, -2.35, -0.29, -2.35, -1.76, 5.88, 10.28, -5.88, 8.81, -8.81, -56.71, 58.18, -2.94, 6.17	TR1=44.132 TR2=54.115
Posición de referencia 0° Robot Flexión de pecho			
9	No sé a implementado	74.05, 86.39, 2.94, 2.35, -2.94, -2.35, -0.29, -2.35, -1.76, 5.88, 10.28, -5.88, 98.73, -8.81, -56.71, 58.18, -2.94, 6.17	TR1=0 TR2=17.172
10	No sé a implementado	74.05, 86.39, 2.94, 2.35, -2.94, -2.35, -0.29, -2.35, -1.76, 5.88, 10.28, -5.88, 8.81, -106.37, -56.71, 58.18, -2.94, 6.17	TR1=0 TR2=17.172

### 3) Programación de la etapa de Relajación

Dentro de la terapia física es importante realizar una etapa de ejercicios de relajación debido a que ayuda a los adultos mayores a evitar contracciones musculares, así como disminuir la presión sanguínea, dotando de una mayor flexibilidad en los músculos.

Los 6 y 8 ejercicios de relajación desarrollados en la rutina 1 y 2 respectivamente, están enfocados a poner énfasis en los músculos y las articulaciones que fueron sometido a un esfuerzo físico en la etapa de desarrollo como se muestra en la Fig.29.



Fig.29. Ejercicios de relajación.

Para la implementación de esta etapa se utiliza la lógica del calentamiento y desarrollo, para lo que es necesario crear

funciones como “sentarse en el piso”, ya que esta posición ayuda a los adultos mayores a estirar los músculos de la espalda y piernas, para establecer dicho ejercicio se emplea la secuencia de la Fig.19 en el siguiente orden:

Robot acostado.

Robot acostado dobla las rodillas.

Robot acostado manos para atrás apoyadas en el piso.

Robot estira piernas.

Robot sentado en el piso.

En la primera rutina el robot realiza 6 ejercicios y en la segunda 8, como: estira piernas, brazos, espalda entre otros, para lo que es necesario programar los servomotores del robot de acuerdo a la Tabla VII.

TABLA VII. DISTRIBUCIÓN DE EJERCICIOS DE RELAJACIÓN.

Etapa de Relajación			
# ejercicio	Servomotores	Grados (0-300)	Tiempo (Segundos)
Robot de pie			
1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18	-40.55, 21.45, -34.08, 75.22, 93.14, -102.84, 1.18, -2.94, 22.92, -58.77, 75.81, -11.75, 145.45, -24.98, -66.11, 5, 19.39, -57.88	TR1= No se realiza el ejercicio. TR2=23.272
2	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18	-23.80, 47.89, -49.95, 35.55, 89.62, -88.15, 1.76, -1.76, 63.76, -22.04, 18.22, -76.40, 23.51, -141.92, -12.05, 83.74, 63.17, -26.44	TR1= No se realiza el ejercicio. TR2=23.272
Robot Acostado			
3	1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18	-68.76, 70.52, -10.28, 15.87, 60.24, -63.47, -3.82, -2.64, 136.34, -138.10, 121.94, -120.76, -10.58, 12.05, -7.35, -1.47	TR1=27.644 TR2=20.476
4	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18	-64.64, 66.11, -15.28, -35.26, 59.94, -19.69, 0.59, -0.88, 3.53, -0.88, 129.58, -2.94, 124.58, 2.35, -3.53, 5.00, 6.17, -1.47	TR1=23.272 TR2=16.104
5	1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 14, 16, 18	-73.16, 71.69, 32.03, 7.04, 34.67, -65.82, -137.81, -124.29, 0.29, 29.38, -4.41	TR1=23.272 TR2=16.104
Robot sentado en el piso			
6	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18	-86.97, 88.15, 113.12, -115.77, 3.82, -9.40, 11.75, 13.81, 1.47, 2.06, 105.19, -97.85, 8.52, -0.88, 10.28, -9.70, -3.23, 7.64	TR1=27.992 TR2=20.824
7	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18	-83.74, 84.33, 115.77, -113.12, 2.06, -9.40, -11.17, -22.92, 2.94, 2.06, 105.19, -98.14, 8.52, -1.18, 10.28, -9.70, -3.23, 7.64	TR1=27.992 TR2=20.824
8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18	-95.79, 95.79, 108.72, -109.30, 3.82, -9.40, -4.41, -2.64, 2.06, 2.35, 119, -97.85, 8.52, -0.88, 10.28, -9.70, -3.23, 7.64	TR1=27.992 TR2=20.824

### C. Implementación del Sistema.

Para implementar el sistema se graba los diferentes códigos de programación en el controlador del robot y se procede a verificar los tiempos de ejecución de cada ejercicio, el número de repeticiones, la comunicación inalámbrica y la reproducción del audio referente al mismo.

En la Fig.30 se muestra algunos movimientos implementados en el subprograma RoboPlus Motion, los mismos son utilizados posteriormente en el subprograma RoboPlus Task para crear los diferentes ejercicios en las dos rutinas.

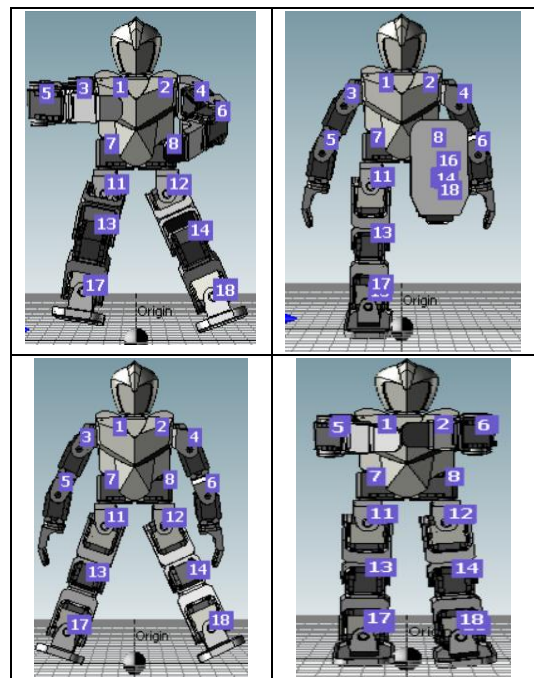


Fig.30. Programación de los ejercicios en RoboPlus Motion.

En la Fig.31 se muestra la lógica de programación adecuada para que el robot realice la rutina de ejercicios completa, para que empiece a realizar los ejercicios se debe prender el robot, posteriormente esperar 27 segundos hasta que se ponga en una posición inicial (Robot de cuclillas), una vez que transcurra ese tiempo se debe dar un aplauso y el robot realizara los ejercicios para que sean imitados por los adultos mayores.

### III. RESULTADOS DEL SISTEMA

#### A. Análisis del Comportamiento del Sistema.

1) Análisis de tiempos del robot en la ejecución y simulación de los ejercicios.

Se procede a verificar el funcionamiento del robot al realizar cada uno de los ejercicios en las tres etapas, obteniendo un 100% de eficiencia al momento de realizar los mismos y repetir por varias veces.

En la Tabla VIII se muestra los tiempos obtenidos de los diferentes ejercicios implementados en las rutinas al ser simulados y realizados por el robot.

TABLA VIII. DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS DE LAS RUTINAS DE EJERCICIOS.

Primera Rutina				
Simulación				
Etapas	Tiempo de ejercicio (segundos)	Tiempo sonido (segundos)	Tiempo muerto (segundos)	Tiempo total (segundos)
Calentamiento	164.92	65.924	53.732	284.576
Desarrollo	231.269	105.172	73.788	410.229
Relajación	109.72	90.728	40.2	240.648
Segunda Rutina				
Simulación				
Etapas	Tiempo de ejercicio (segundos)	Tiempo sonido (segundos)	Tiempo muerto (segundos)	Tiempo total (segundos)
Calentamiento	164.92	22.02	53.732	240.672
Desarrollo	353.538	22.532	87.32	463.39
Relajación	143.304	22.02	46.9	212.224
Primera Rutina				
Robot				
Etapas	Tiempo de ejercicio (segundos)	Tiempo sonido (segundos)	Tiempo muerto (segundos)	Tiempo total (segundos)
Calentamiento	166	67	52	285
Desarrollo	233	106	74	413
Relajación	107	93	42	242
Segunda Rutina				
Robot				
Etapas	Tiempo de ejercicio (segundos)	Tiempo sonido (segundos)	Tiempo muerto (segundos)	Tiempo total (segundos)
Calentamiento	166	22	52	240
Desarrollo	355	22	86	463
Relajación	144	22	46.4	212.4
Comparación de tiempos de la simulación y ejecución del robot				
	Simulación (segundos)	Robot (segundos)	Variación (segundos)	
Primera Rutina	935.453	940	4.547	
Segunda Rutina	916.286	915.4	-0.886	

#### 2) Comportamiento del Robot con el Adulto Mayor

Para verificar el comportamiento del sistema se realizó las pruebas a dos grupos de personas entre 63 y 98 años de edad del centro de Servicios de Atención al Adulto Mayor del IESS como se indica en la Tabla IX.

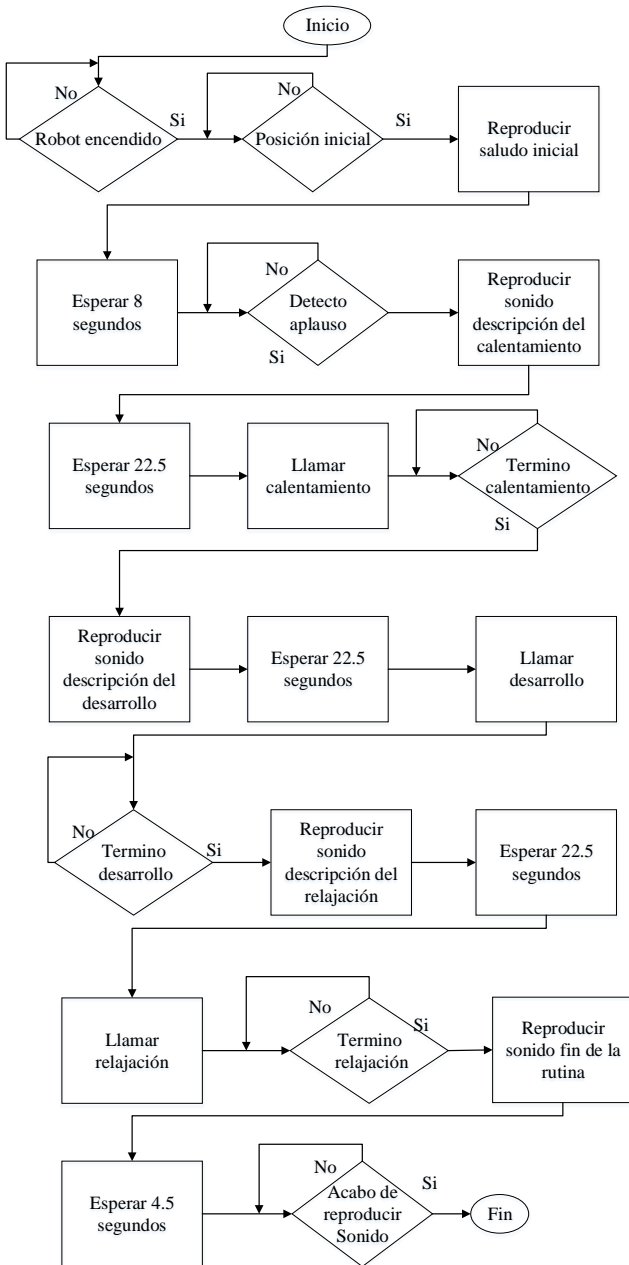


Fig.31. Diagrama del Sistema.

En RoboPlus Task se ha desarrollado la programación de las diferentes funciones que representan los ejercicios en las tres etapas, para crear la secuencia de movimientos a realizar por el robot, se ha utilizado tres funciones principales que son: calentamiento, desarrollo y estiramiento, ver Fig.32. Para que una función se ejecute se debe esperar que otra finalice.

```

Start Program
{
  // empieza la rutina el robot de pie

  CALL posicion_antes_de_empezar
  CALL saludo_inicial
  ENDLESS LOOP
  {
    Result of Sound Counter = 0
    STAND WHILE (Result of Sound Counter == 0 )
    STAND WHILE (Buzzer Time > 0 )
    IF (Result of Sound Counter > 0 )
    {
      // se reproduce un sonido cuando se aplaude
      CALL inicio
      CALL Ponerse_de_pie
      CALL calentamiento
      CALL desarrollo
      CALL estiramiento
    }
  }
}

```

Fig.32. Programación de la rutina de ejercicios en RoboPlus Task.

TABLA IX. EDAD DE LOS PACIENTES.

Grupo I personas sin prótesis			Grupo II personas con prótesis		
Adulto mayor	Edad (años)	Sexo	Adulto mayor	Edad (años)	Sexo
1	75	F	1	98	M
2	63	F	2	70	F
3	65	M	3	76	M
4	72	M	4	77	M
5	74	F	5	75	M
6	65	F	6	64	F

Para analizar el comportamiento del robot se realizó las pruebas de las 2 rutinas de ejercicios con una duración aproximada de 15 minutos cada rutina, distribuida en tres etapas (calentamiento, desarrollo y relajación) como se indica en la Fig.33 y 34.



Fig.33. Pruebas del robot grupo A.



Fig.34. Pruebas del robot grupo B.

En la etapa de calentamiento el robot realizó ejercicios suaves como: agacharse, ponerse de pie, mover brazos, pies y piernas, los cuales fueron realizados por los adultos mayores de una forma correcta siguiendo cada uno de los pasos que realizaba el robot, ver Fig.35.



Fig.35. Pruebas calentamiento.

Para la etapa de desarrollo, el robot realizó ejercicios con mayor intensidad como: sentadillas, levantar una pierna, ambas piernas acostado, girar el tronco de un lado a otro, mover los brazos hasta obtener un balance energético, entre otros, ver Fig.36. Al momento de ser realizado por las personas se tuvo una buena imitación por partes de los mismo, a excepción de la persona de 72 años del primer grupo que sufría de obesidad y se cansaba muy rápido, realizando todos los ejercicios de pie.





Fig.36. Pruebas Desarrollo.

En la etapa de relajación se realizó ejercicios suaves como: tocar la punta de los pies, rodillas en el pecho, entre otros, ver Fig.37. Los ejercicios fueron imitados correctamente por los adultos mayores.



Fig.37. Pruebas Relajación.

### B. Análisis de los Resultados Biomédicos

Para obtener algunos datos fisiológicos de las personas que realizan los ejercicios, se utilizó un reloj E4 Wristband en uno de los adultos mayores, ver Fig.38, con el cual se puede leer diferentes parámetros como: la conductancia y temperatura de la piel, acelerómetro y flujo sanguíneo, mientras se realiza actividad física.



Fig.38. Adultos mayores con el reloj E4 Wristband.

La conductancia de la piel hace referencia a la sudoración del cuerpo, en la Tabla X se muestra el comportamiento de la misma en los adultos mayores al realizar la etapa de calentamiento (primeros 5 minutos), ver Fig.39.

TABLA X. CONDUCTANCIA EN LA PIEL.

Primera Rutina		Segunda Rutina	
inicio	fin	inicio	fin
0.8 $\mu$ s	3.91 $\mu$ s	4.21 $\mu$ s	6.2 $\mu$ s
0.61 $\mu$ s	1.7 $\mu$ s	1.82 $\mu$ s	2.6 $\mu$ s

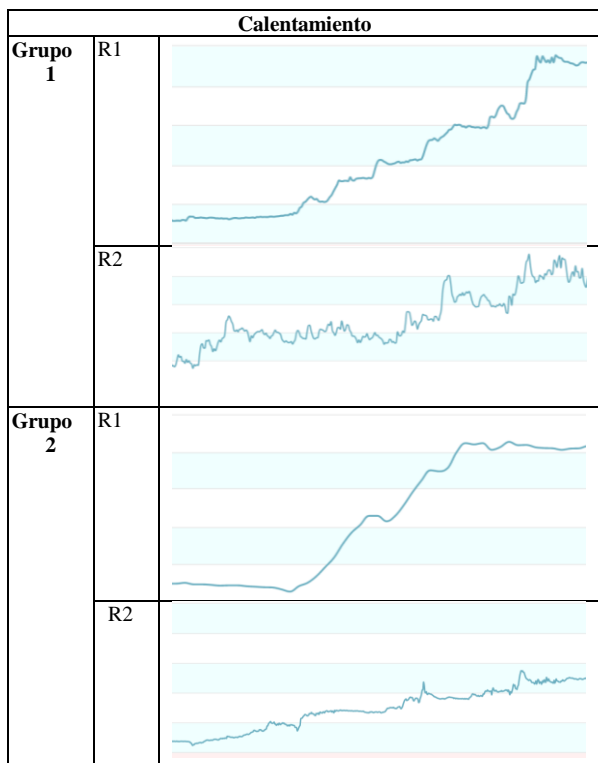


Fig.39. Conductancia en la piel.

El flujo sanguíneo se utiliza para poder determinar la frecuencia cardíaca, el mayor flujo sanguíneo que se tuvo durante la primera rutina fue al estar acostado levantar las piernas en forma de bicicleta, en el minuto 11, obteniendo un pico de 4.5 ml, el mayor flujo sanguíneo en la segunda rutina fue en realizar el ejercicio abajo (ponerse de cuclillas) arriba (ponerse de pie) en el minuto 10 con un pico de 7.97 ml, ver Fig.40.

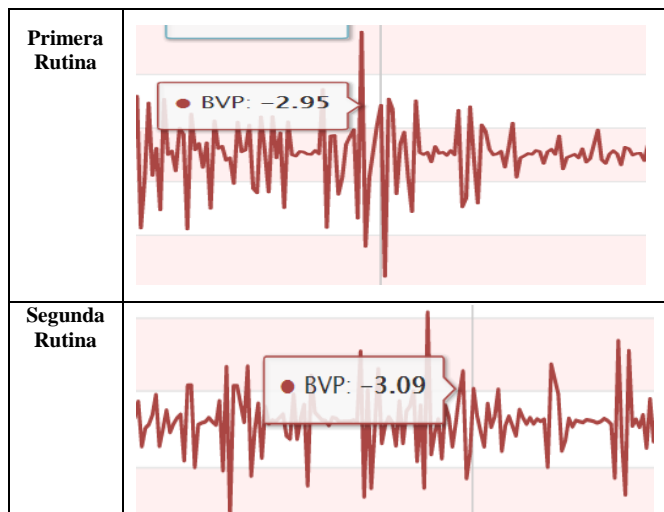


Fig.40. Flujo sanguíneo.

Al obtener otro parámetro como la aceleración, se determina que, tanto en la primera como en la segunda rutina, al realizar el movimiento de brazos hasta lograr un balance energético se obtuvo el mayor pico de 1.96 y 1.36, como se puede observar en la Fig.41.

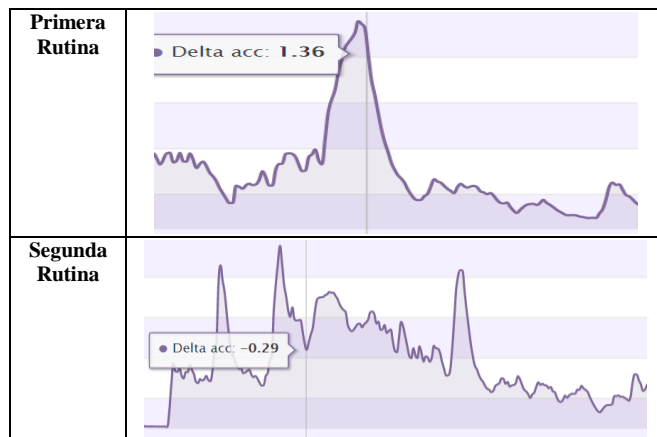


Fig.41. Aceleración.

### C. Valoración del Robot como Asistente para Terapias Físicas a Adultos Mayores

Al finalizar la rutina de ejercicios se realizó una encuesta a los 12 adultos mayores, para verificar la interacción robot-humano. Obteniendo una aceptación del robot y de los ejercicios que realiza en un 100%, los participantes imitaron todos los movimientos que realiza el robot sin complicación alguna.

En el centro de cuidado del adulto mayor del IESS las personas realizan ejercicio 2 veces a la semana, un fisioterapeuta es el encargado de guiar, motivar y describir los ejercicios que deben realizar. Al reemplazar el instructor por el robot a los adultos mayores les pareció algo novedoso y nuevo, motivándose a imitar los movimientos que realizaba el mismo.

Los adultos mayores realizan ejercicio para mejorar su salud, apariencia física y por pasatiempo, ellos recomiendan a otras personas de su edad realizar ejercicio con un robot ya que le parece algo divertido y fuera de lo común.

Tener en casa un robot humanoide puede resultar costoso, pero si 10 de ellos lo tuvieran realizarían rutinas de ejercicios con la guía del mismo y 2 participantes no realizarían debido a que no les gusta hacer ejercicio solos, ver Fig.42.

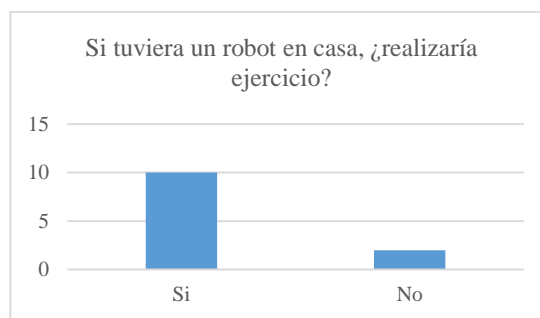


Fig.42. Si tuvieran un robot en casa realizarían ejercicio.

## IV. CONCLUSIONES

La implementación de la robótica en el desarrollo de la actividad física mediante un robot humanoide como asistente para terapias a adultos mayores tuvo un gran impacto social, ya que a las personas de esa edad les pareció nuevo y novedoso, motivándose a imitar en un 100% los movimientos que realizaba el robot, concluyendo que el mismo puede ser utilizado como asistente de un terapeuta, pero no reemplazarlo, debido a que las personas de esa edad pueden

sufrir alguna caída o lesión por lo que es necesario que un profesional este pendiente para poder actuar inmediatamente.

Se realizó la programación de 2 rutinas de ejercicios con una duración aproximada de 15 minutos debido a la duración de la batería del robot, las mismas que están divididas en 3 etapas: calentamiento, desarrollo y relajación. Se comprobó el funcionamiento de los diferentes tiempos entre la ejecución de los ejercicios por parte de las personas con respecto a los tiempos de programación, obteniendo una diferencia de 4.547 segundos en la primera rutina y 0.886 segundos en la segunda.

Para comprobar el funcionamiento y la aceptación del sistema se realizó pruebas en dos grupos de 6 personas con edades entre los 63 a 98 años en el centro de atención del adulto mayor del IESS. Los ejercicios que realiza el robot son los adecuados para este tipo de personas debido a que no realizaron mucho esfuerzo para imitar los movimientos. La implementación de la aplicación móvil ayudo que los adultos mayores tengan una mejor guía y realicen los ejercicios con mayor facilidad.

Debido a la pequeña estatura del robot se utilizó una pantalla en la que se visualizaba los movimientos del mismo en tiempo real. La implementación de la pantalla ayudo a mejorar el sistema, ya que los adultos mayores al imitar los movimientos del robot acostados no tenían q levantar la cabeza para ver qué ejercicio se debe realizar.

Se tuvo una variación significativa en algunos parámetros fisiológicos de los adultos mayores al imitar los movimientos que realiza el robot. La conductancia de la piel incremento de 0.26 us a 6.7 us en la primera rutina y 0.38 us a 4.08 us en la segunda rutina, por otra parte, el mayor flujo sanguíneo fue de 4.5 ml en la primera y 7.97 ml en la segunda, estos parámetros nos indica que existe un esfuerzo físico adecuado para las personas de la tercera edad.

#### REFERENCIAS

- [1] C. Piezzo, B. Leme, M. Hirokawa y K. Suzuki, «Gait measurement by a mobile humanoid robot as a walking trainer.» IEEE Xplore, pp. 1084-1089, 2017.
- [2] M. A. Miskaml, S. Shamsuddi, H. Yussoj y A. R. Omar, «Therapists Response Towards Using Android App to.» IEEE Xplore, pp. 154-158, 2015.
- [3] C. Piezzo y K. Suzuki, «Design of an accompanying humanoid as a walking trainer for the elderly.» IEEE Xplore, pp. 467-472, 2016.
- [4] Robotshop, «Robot.nu.» 2019. [En línea]. Available: <https://robots.nu/es/robots-humanoides>.
- [5] G. Aravalli, A.K.Vidyashree, S. Ranade y S. S. Badami, «Wireless Controlled Military combat Robot system.» IEEE Xplore, pp. 712-715, 2017.
- [6] F. Dong, S. Fang y Y. Xu, «Design and Implementation of Security Robot for.» IEEE Xplore, pp. 446 - 449, 2018.
- [7] D. Hebesberger, T. Koertner y C. Dondrup, «Lecciones aprendidas del despliegue de un robot autónomo a largo plazo como acompañante en la terapia física para adultos mayores con demencia.» IEEE Xplore, n° 1-7, 2016.
- [8] B. Madhusanka y A. Jayasekara, «Design and Development of Adaptive Vision.» IEEE Xplore, n° 1-6, 2016.
- [9] D. R. KUMAR y D. KUMAR, «VNC server based robot for military applications.» IEEE Xplore, pp. 1292 - 1295, 2017.
- [10] H. T. Salamea, A. A. Ayora, O. Alvarado-Cando y C. U. Oñate, «An industrial application of a human-robot interface for people with physical disabilities using hand gesture.» IEEE Xplore, pp. 1-5, 2018.
- [11] R. M. S. B. Gonzalo Zabala, «Una nueva herramienta para el uso de humanoides en educación.» Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, p. 329, 2014.
- [12] OMS, «Actividad física en los adultos mayores.» 2018. [En línea]. Available: [http://www.who.int/dietphysicalactivity/factsheet\\_olderadults/es/](http://www.who.int/dietphysicalactivity/factsheet_olderadults/es/).
- [13] T. Zhang, W. Zhang, L. Qi y L. Zhang, «Falling Detection of Lonely Elderly People Based on NAO Humanoid Robot.» IEEE Xplore, pp. 31-36, 2016.
- [14] C. Piezzo y K. Suzuki, «Design of an accompanying humanoid as a walking trainer for the elder.» IEEE Xplore, pp. 468-472, 2016.
- [15] M. Alsaqer y S. Chatterjee, «Helping the Elderly with Physical Exercise: Development of Persuasive Mobile Intervention Sensitive to Elderly Cognitive Decline.» IEEE Xplore, pp. 1-6, 2017.
- [16] C. Piezzo, B. Leme, M. Hirokawa y K. Suzuki, «Gait measurement by a mobile humanoid robot as a walking trainer.» IEEE Xplore, pp. 1084- 1089, 2017.
- [17] Y. Angal y A. Jagtap, «Fall Detection System for Older Adults.» IEEE Xplore, pp. 262-266, 2016.
- [18] D. Hebesberger, T. Koertner, C. Gisinger y J. Pripfl, «Lessons Learned from the Deployment of a Longterm Autonomous Robot as Companion in Physical Therapy for Older Adults with Dementia.» IEEE Xplore, pp. 27-34, 2016.
- [19] P. Wargnier, E. Phuong, S. Benveniste, F. Bloch, S. Reingewirtz, G. Kemoun y A. Rigau, «New Serious Game for the Rehabilitation of Older Adults with Post-fall Syndrome.» IEEE Xplore, pp. 1-8, 2016.
- [20] P. Bhuvaneswari, S. Vignesh y R. D. S Papitha, «Humanoid Robot Based Physiotherapeutic Assistive.» IEEE Xplore, pp. 163-168, 2013.
- [21] G. Zabala, R. Morán y S. Blanco, «Una nueva herramienta para el uso de humanoides en educación.» Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, vol. XVI, pp. 325-329, 2014.
- [22] R. Suarez, A. Loza, J. Espinosa, S. Martinez, K. Perez, D. Jaramillo, G. Perez y K. Camarillo, «Adaptation of Robot BIOLOID Premium for Weightlifting HuroCup - FIRA.» IEEE Xplore, pp. 1-3, 2016.
- [23] RO-BOTICA, «Kit ROBOTIS PREMIUM - KidsLab.» 2017. [En línea]. Available: [ro-botica.com/Producto/ROBOTIS-PREMIUM-Kit-educativo-Bioloid/](http://ro-botica.com/Producto/ROBOTIS-PREMIUM-Kit-educativo-Bioloid/). [Último acceso: 11 04 2019].
- [24] RO-BOTICA, «EDBOT DARWIN MINI.» 2017. [En línea]. Available: [www.ro-botica.com/Producto/EDBOT001/](http://www.ro-botica.com/Producto/EDBOT001/). [Último acceso: 44 04 2019].
- [25] Ubtech Robotics, «Ubtech Robotics Lynx review.» 26 01 2018. [En línea]. Available: [www.cnet.com/reviews/ubtech-robotics-lynx-review/](http://www.cnet.com/reviews/ubtech-robotics-lynx-review/). [Último acceso: 11 04 2019].
- [26] MIDLAND, «ALPHA 1S.» 2016. [En línea]. Available: [www.midland.es/robotica/527-alpha-1s.html](http://www.midland.es/robotica/527-alpha-1s.html). [Último acceso: 11 04 2019].
- [27] P. R. Solutions, «Yo soy Nao.» 2015. [En línea]. Available: <https://aliverobots.com/nao/>. [Último acceso: 11 04 2019].
- [28] V. Hobli, «FlirKarp.» 17 enero 2019. [En línea]. Available: [www.flipkart.com/sainsmart-17-dof-biped-humanoid-kit-sr319-digital-servos-controller/p/itm3f3h46qys4fpha](http://www.flipkart.com/sainsmart-17-dof-biped-humanoid-kit-sr319-digital-servos-controller/p/itm3f3h46qys4fpha). [Último acceso: 11 04 2019].
- [29] S. Robotics, «AliveRobots.com.» 2016. [En línea]. Available: [aliverobots.com/robot-pepper/](http://aliverobots.com/robot-pepper/). [Último acceso: 11 04 2018].
- [30] B. Geek, «Zeus.» 2 abril 2016. [En línea]. Available: [blog.bricogeek.com/noticias/robotica/zeus-el-robot-humanoid-hecho-con-arduino-y-raspberry-pi/](http://blog.bricogeek.com/noticias/robotica/zeus-el-robot-humanoid-hecho-con-arduino-y-raspberry-pi/). [Último acceso: 11 04 2019].
- [31] Fujitsu, «Miniature Hunanoid Rrobot HOAP-3.» pp. 10-24, 2012.