



INGENIERÍA  **ELECTRÓNICA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE
REHABILITACIÓN PARA EL FORTALECIMIENTO
POSTRAUMÁTICO DEL TOBILLO MEDIANTE LA
APLICACIÓN DE MOVIMIENTOS DE CIRCUNDUCCIÓN
CONTROLADOS POR UN SISTEMA MÓVIL**

AUTORES:

Henry Salvador Taco Bonilla

Karla Sophia Torres Barriga

DIRECTORA:

Ing. Patricia Constante



INGENIERÍA EN LA REHABILITACIÓN

Es la aplicación de la ciencia y de la tecnología



Ayuda con la elaboración de dispositivos para la recuperación de alguna enfermedad o lesión.

DISPOSITIVO MECATRÓNICO



Se enfoca en servir como apoyo al fisioterapeuta en el proceso de recuperación del paciente.

Incremento del número de pacientes

Falta de personal profesional

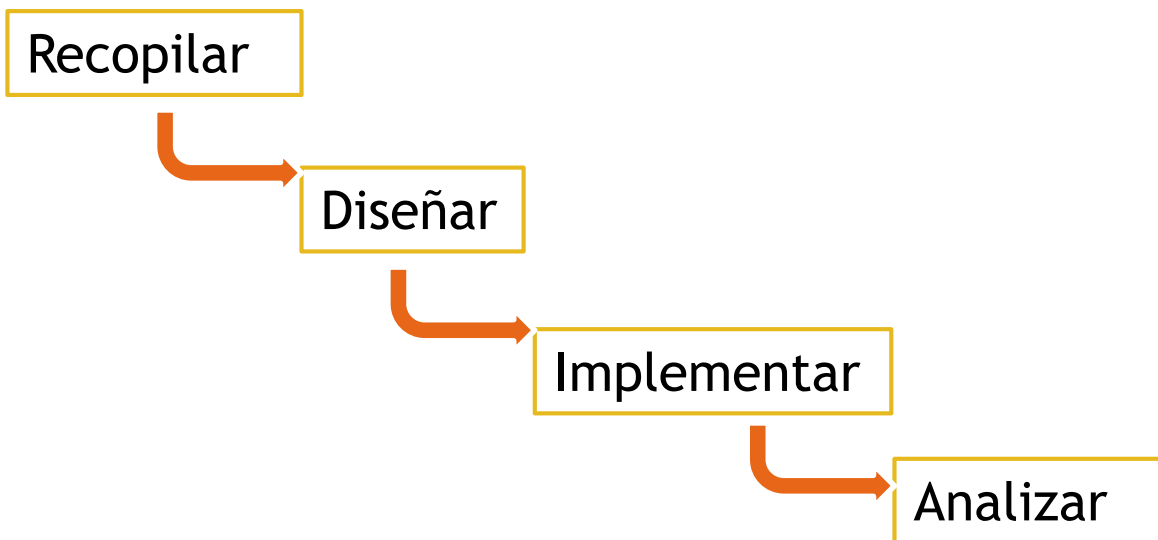
Insuficientes equipos de rehabilitación



OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un equipo de rehabilitación para el fortalecimiento postraumático del tobillo mediante la aplicación de movimientos de circunducción controlados por un sistema móvil.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS





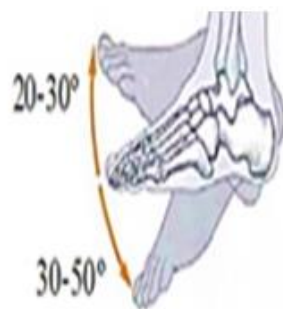
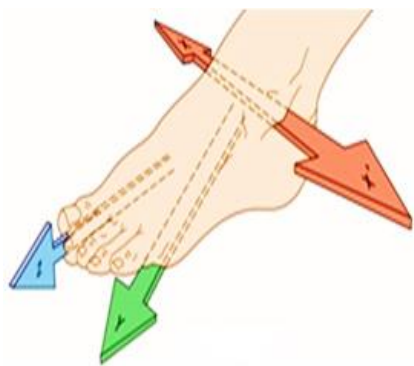
TOBILLO

Punto de unión del pie y la pierna.



Conformado por huesos, ligamentos y músculos.

EJES Y RANGO DE MOVIMIENTOS



a) Flexión y Extensión



b) Eversión e Inversión



c) Aducción y abducción





LESIONES MÁS FRECUENTES EN EL TOBILLO



Ocurren durante las actividades deportivas o al caminar sobre una superficie desigual

Esguince



Fractura



DISPOSITIVOS DESARROLLADOS PARA EL TRATAMIENTO DE LESIONES



DESARROLLO DE CONCEPTO



Necesidad básica

Que la persona que ha sufrido alguna lesión reciba una adecuada terapia de rehabilitación.



un sistema capaz de proporcionar la rutina que el terapeuta considere conveniente para así evitar lesiones futuras en el mismo tobillo



Métricas Necesidades	Métricas											Importancia del usuario (1 a 5)	Ponderación Relativa (%)	Orden de importancia	
	Dimensiones (cm)	Peso (kg)	Ergonómico (Subjetiva 1-5)	Atenuación (db)	Movimientos (lista)	Interfaz gráfica (lista)	Actuador (Lista)	Costo (dólares \$)	Confiabilidad (Subjetiva 1-5)	Control (Lista)	Vida útil (años)				
Fácil operación	9	0	9	1	9	9	9	9	9	9	0	5	4,2	3	
Transportable	9	9	9	3	1	0	3	9	1	0	3	3	3,3	24	
Ejecución de movimientos fijos y combinados	9	3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	5	4,2	2	
Ligero	9	9	9	1	1	0	3	3	1	0	3	3	3,3	23	
Económico	3	9	3	0	3	9	9	9	0	9	9	5	4,2	16	
Menor ruido posible	3	3	0	9	3	9	9	0	3	9	9	4	4,2	15	
Seguro	9	3	9	0	3	9	9	9	9	9	3	5	4,2	9	
Control Automático	0	0	0	3	9	9	9	9	9	9	3	5	4,2	8	
Ahorro de energía	0	0	0	0	9	9	9	9	3	9	3	4	4,2	14	
Estable	9	9	9	0	9	0	9	9	9	3	9	5	3,9	19	
Cumpla con rangos de movimientos	1	1	9	9	9	9	9	9	9	9	9	5	4,2	13	
Pequeño	9	9	9	0	0	0	9	3	3	0	0	3	3,1	25	
Poco mantenimiento	9	3	9	9	9	0	9	3	3	9	9	4	4,2	12	
Duradero	9	9	9	0	9	9	9	9	9	9	9	5	4,2	11	
Registro de datos	0	0	9	0	9	9	0	3	9	3	9	4	3,3	22	
Indicadores de movimiento	0	0	9	0	9	9	1	3	9	9	3	4	3,3	21	
Amigable con el paciente	9	3	9	9	9	9	9	3	9	9	0	5	4,2	18	
Cómodo	9	3	9	9	9	9	0	3	9	1	3	5	4,2	7	
Movimientos suaves	9	1	9	9	9	9	9	9	9	9	3	5	4,2	10	
Cumpla con ejercicios de rehabilitación	0	0	9	3	9	9	9	3	9	9	9	5	4,2	1	
Conectores USB	3	1	9	0	0	0	0	3	3	1	1	2	1,1	26	
Repuestos accesibles	3	3	9	0	9	1	9	9	0	9	9	4	3,3	20	
Amigable con el medio ambiente	9	9	3	9	9	9	3	3	9	3	3	4	4,2	17	
Control de rango de movilidad	9	3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	5	4,2	4	
Velocidad regulable	9	3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	5	4,2	5	
Precisión en movimientos	9	3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	5	4,2	6	
Σ															
Orientación deseada	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑				
Ponderación abs	616,871	368	737	456	733,3	702,394	730,46	651,6	678	701	577				
Ponderación real (%)	8,9	5,3	10,6	6,6	10,5	10,1	10,5	9,4	9,8	10,1	8,3				
Orden de importancia	8	11	1	10	2	5	3	7	6	4	9				



GENERACIÓN DE CONCEPTOS



Tecnología móvil



- Dispositivo móvil (Smartphone)



- Sistema operativo (Android)



- Entorno de programación (App Inventor 2)



Transmisión de datos



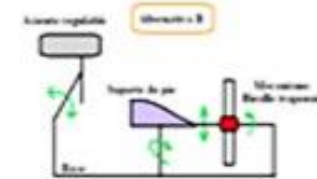
Bluetooth H-06



Equipo de Rehabilitación



- Ergonomía (Asiento y base de pie regulable)
- Sistema mecánico (Husillo trapezoidal)



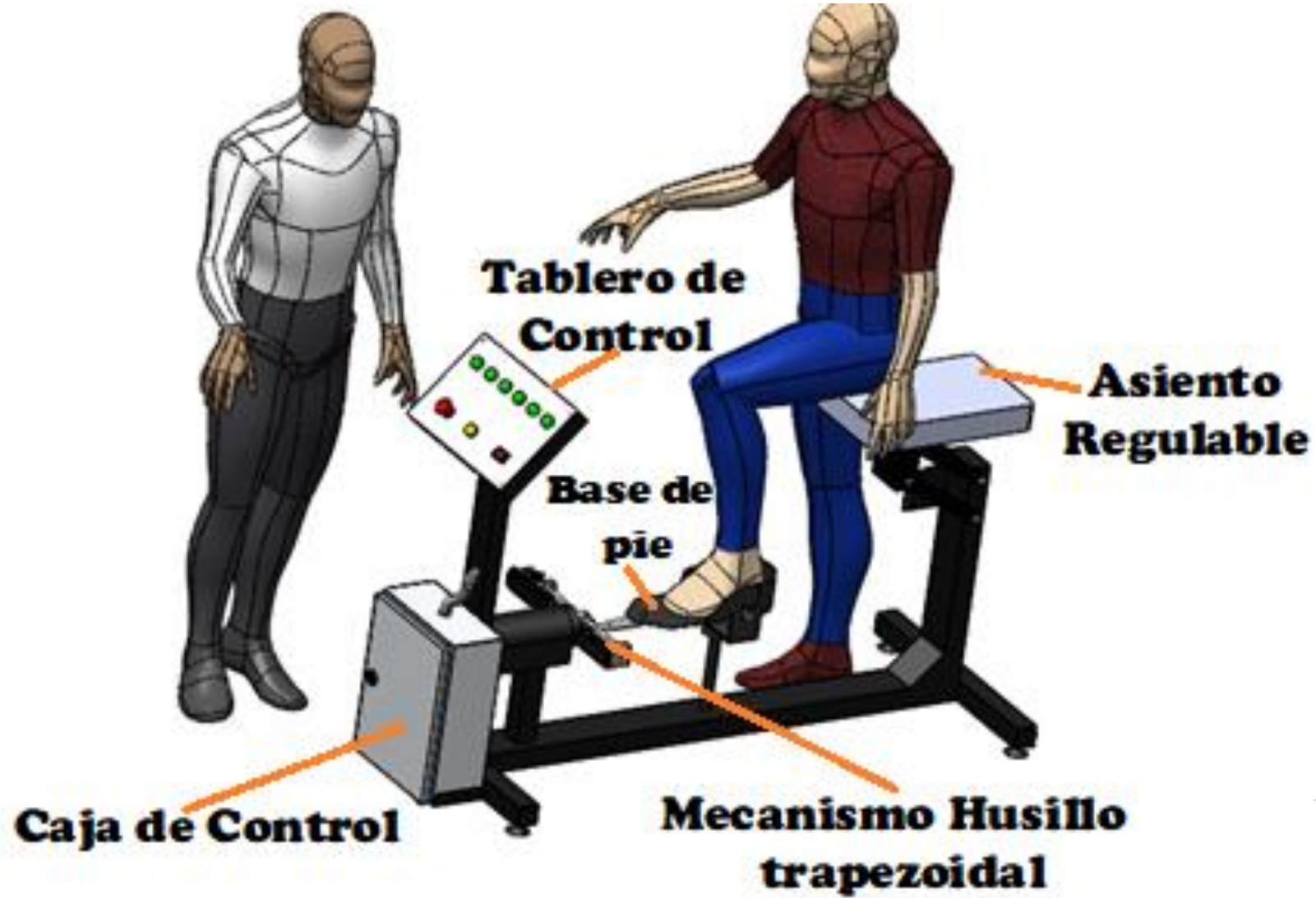
- Actuadores (Motor paso a paso)



- Tarjeta de control (Arduino Mega)

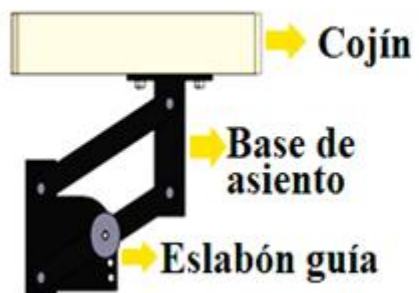


DISEÑO MECÁNICO

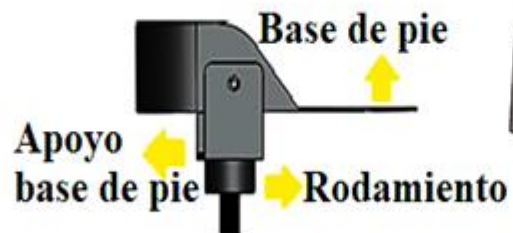




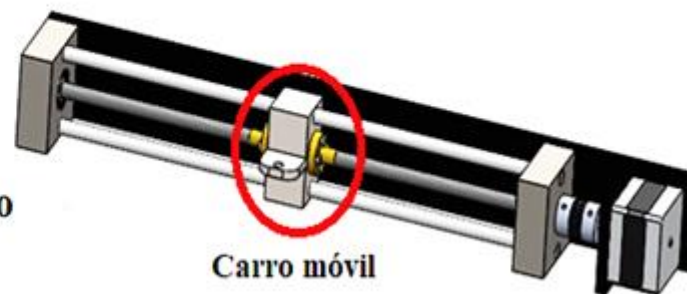
Asiento Regulable



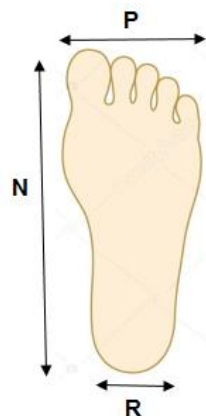
Base de pie



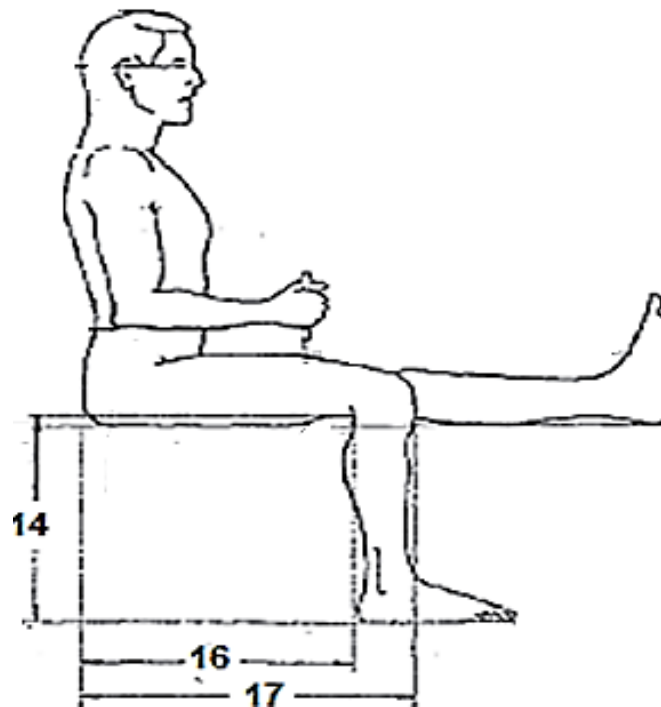
Husillo trapezoidal



- Norma DIN 33402 para hombre sentado.
- Medidas ubicadas en el percentil 95 (48 cm, 55.2 cm, 64.5 cm), percentil 5 (39.9 cm, 45.2 cm, 55.4 cm),
- Masa de 95.5 kg persona adulta de un rango de 19 a 59 años de edad.



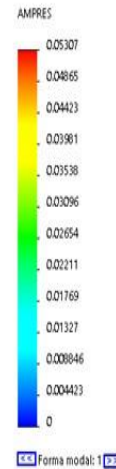
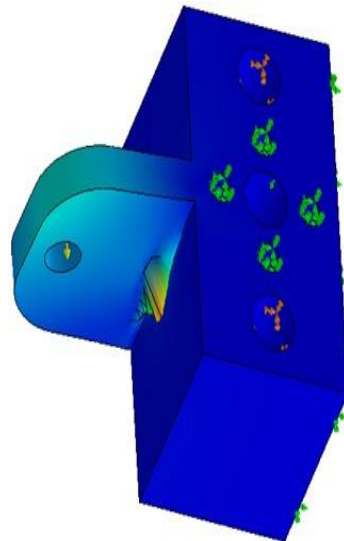
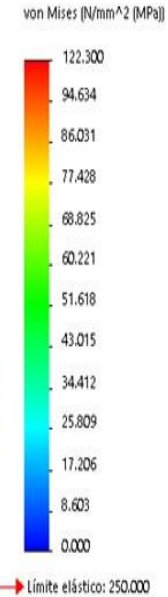
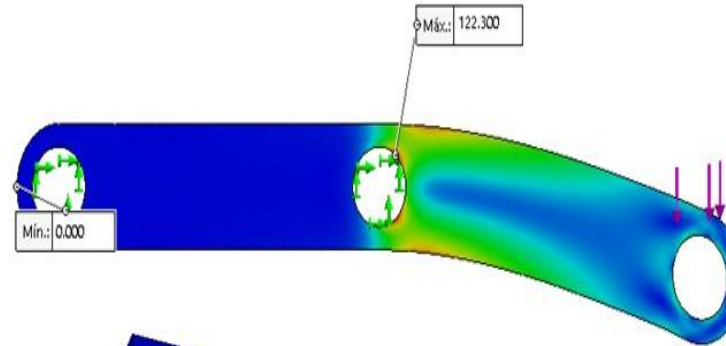
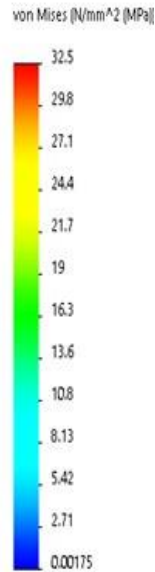
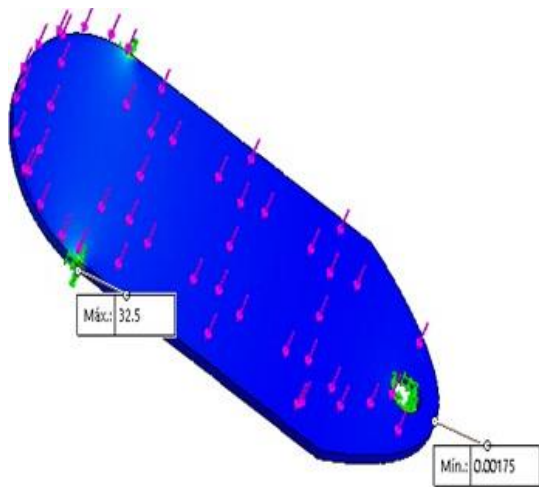
- Medidas ubicadas en el percentil 95 (29,1 cm, 10,6 cm, 7,3 cm)



ANÁLISIS ESTÁTICO

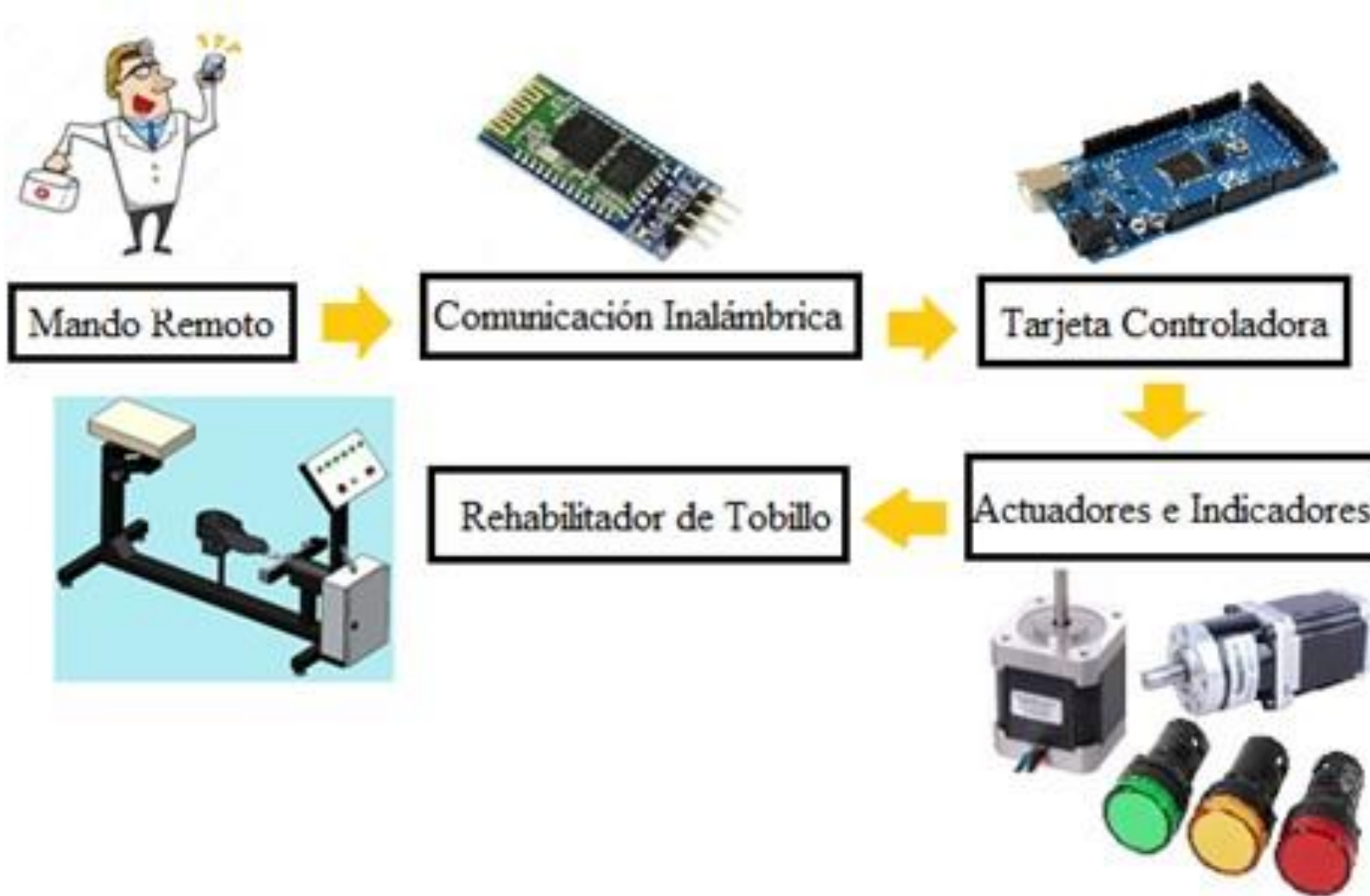


- Material ASTM A-36
- Factor de diseño de $N = 2$

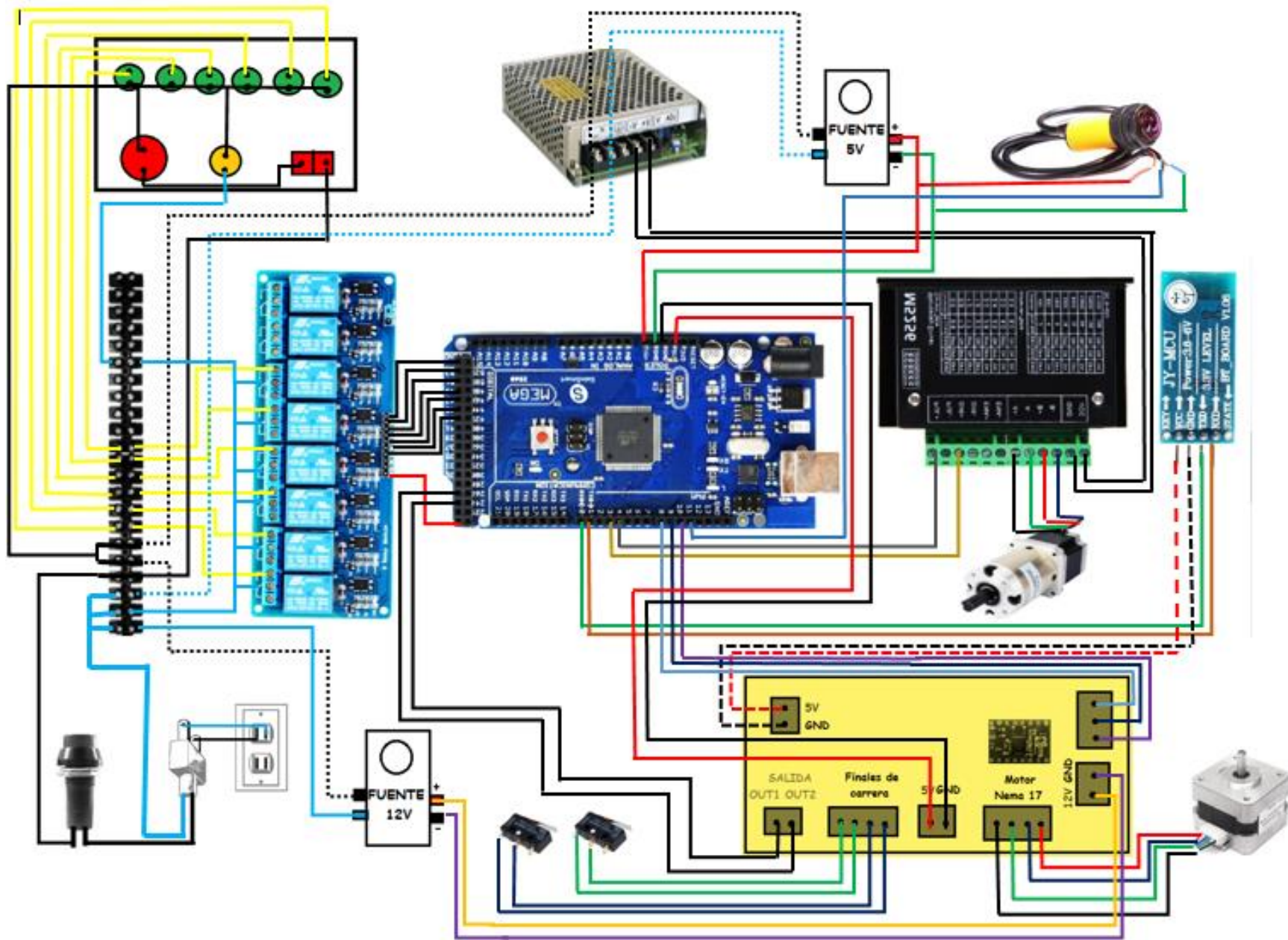


Elemento	Material	Fuerza Aplicada	Esfuerzo Diseño	Esfuerzo Calculado	Factor Diseño
Eslabón guía	ASTM A36	220 N	124MPa	121.44MPa	2.4
Base de pie	ASTM A36	14 N	124MPa	31,81MPa	2.08

DISEÑO DE CONTROL



SISTEMA ELECTRÓNICO



APLICACIÓN MÓVIL



The screenshot shows the MIT App Inventor Designer interface. The top bar includes the MIT App Inventor logo, navigation links (Projects, Connect, Build, Help), and user information (My Projects, Gallery, Guide, Report an Issue, English, henry_37@hotmail.com). The main workspace is divided into several panels:

- Palette:** A list of UI components such as Button, CheckBox, DatePicker, Image, Label, ListPicker, ListView, Notifier, PasswordTextBox, Slider, Spinner, TextBox, and TimePicker.
- Viewer:** A preview of the mobile app interface. It features a header with a logo and a menu, followed by a grid of six images illustrating different foot conditions: "PLANTARISMO", "LATERALIZACIÓN", "INVERSIÓN", "EVERSION", "CURVATURA", and "CONVEXIDAD".
- Components:** A tree view showing the hierarchy of components on the screen, including HorizontalArrangemeter, Image1, registro, ayuda, home, flexo, lat, mv, ever, horario, anti, Reloj1, and Sound1.
- Properties:** A panel for configuring the selected component, showing properties like AboutScreen, AlignHorizontal, AlignVertical, BackgroundColor, BackgroundImage, CloseScreenAnimation, Fade, OpenScreenAnimation, ScreenOrientation, Scrollable, ShowStatusBar, and Title.



The screenshot shows the MIT App Inventor Blocks interface, which is used for programming the app's logic. The interface is divided into two main sections:

- Blocks:** A library of code blocks categorized into Built-in, Control, Logic, Math, Text, Lists, Colors, Variables, Procedures, Part_flexo, Image1, Canvas1, ImageFor1, HorizontalArrangemeter, Label1, F1, F2, and F3.
- Viewer:** A workspace for building logic bricks. The visible logic includes:
 - when Part_flexo Initiated:** A sequence of blocks: call ClienteBluetooth1 Connect (address: 0E:03:2D:A5:19), then call TextToSpeech1 Speak (message: "Iniciando movimiento"), call Notifier1 ShowAlert (notice: "conectado"), and call ClienteBluetooth1 SendText (text: "A").
 - when Button1 Click:** call ClienteBluetooth1 SendText (text: TextBox1 Text), call Notifier1 ShowAlert (notice: "Iniciando Movimiento"), and call TextToSpeech1 Speak (message: "Iniciando movimiento").
 - when F1 Click:** call ClienteBluetooth1 SendText (text: "E"), call Notifier1 ShowAlert (notice: "Rango minimo con velocidad lenta").
 - when F2 Click:** call ClienteBluetooth1 SendText (text: "M"), call Notifier1 ShowAlert (notice: "Rango medio con velocidad moderada").
 - when F3 Click:** call ClienteBluetooth1 SendText (text: "A"), call Notifier1 ShowAlert (notice: "Rango máximo con velocidad alta").



REHABILITADOR DE TOBILLO

Antes de iniciar con la aplicación debe activar el Bluetooth de su dispositivo y vincular con Reba_Tobillo (H-06)

En el menú seleccione el tipo de movimiento.
Elija la fase de fortalecimiento.
Escriba el número de repeticiones.
Presione ejecutar

Registro de datos permite ingresar datos del paciente como: Número de cédula, nombres, edad, diagnósticos, fecha y observaciones.
Además cuenta con opciones como: Actualizar, eliminar, mostrar, exportar y enviar por correo los datos registrados.

Home permite posicionar los ejes en el punto inicial

ENTENDIDO

Registro de Datos Ayuda

Home

Menú

FLEJO-EXTENSIÓN	ABDUCCIÓN-ADUCCIÓN
INVERSIÓN-EVERSIÓN	ROTACIÓN
CIRCUNDUCCIÓN	COMBINADO

FLEJO-EXTENSIÓN



Fases de Fortalecimiento

Lento Moderado Rápido

Número de Repeticiones

EJECUTAR

Lento Moderado Rápido

Número de Repeticiones

EJECUTAR

a) Fase de Fortalecimiento b) Casilla de texto c) Botón ejecutar

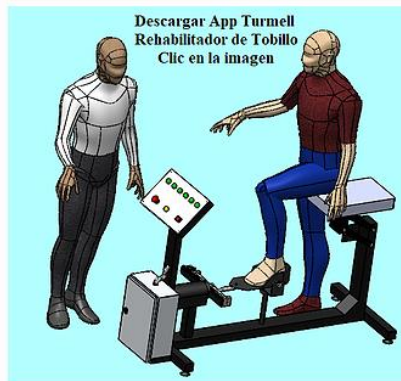
Nuevo	Actualizar	Eliminar	Mostrar	Exportar	Enviar
1	2	3	4	5	6



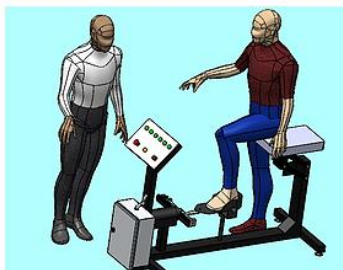
Rehabilitador Tobillo



Mecatrónica en la Rehabilitación del Tobillo



Rehabilitador de Tobillo



La función es rehabilitar el tobillo mejorando el rango de movilidad con la ejecución de movimientos tales como: flexo-extensión, lateralización, inversión y eversión, además permite el fortalecimiento del mismo, mediante la ejecución de movimientos de circunducción con o sin resistencia, controlando desde el Smartphone el tipo de movimiento, número de repeticiones y velocidades que requiera la terapia.

Descargar ficha técnica



Menú

Movimientos de flexo-extensión, lateralización, inversión, eversión, circunducción y movimientos combinados



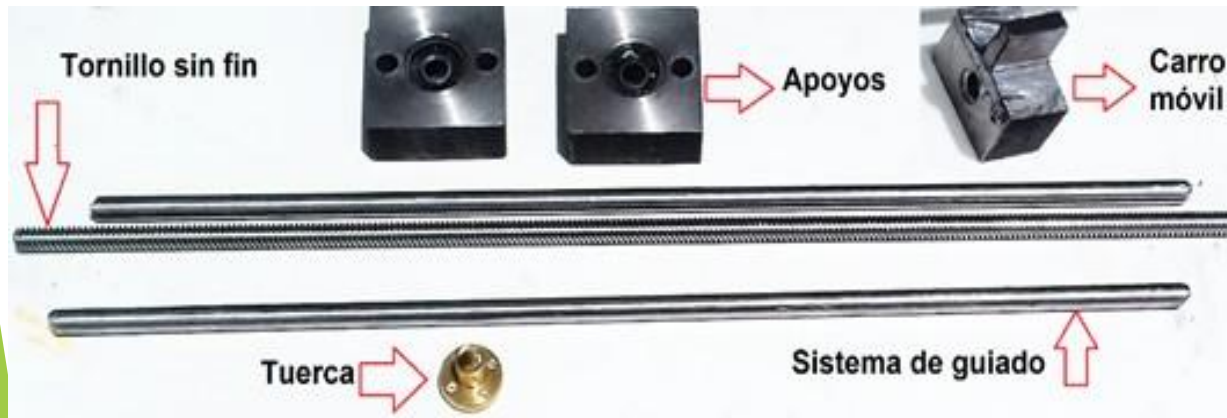
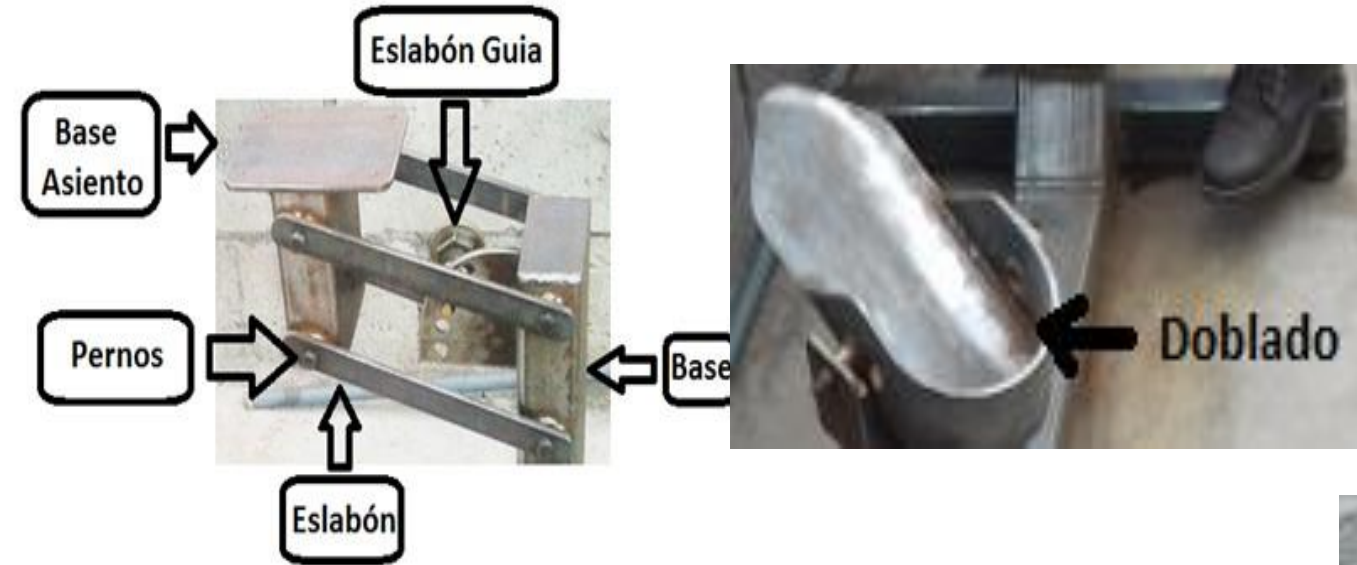
Registro de datos

Permite al fisioterapeuta ingresar información de cada paciente como nombre, número de cédula, edad, diagnóstico, fecha, además permite Exportar y Enviar por correo electrónico los datos almacenados.

MANUALES DE ENSAMBLE Y MANTENIMIENTO



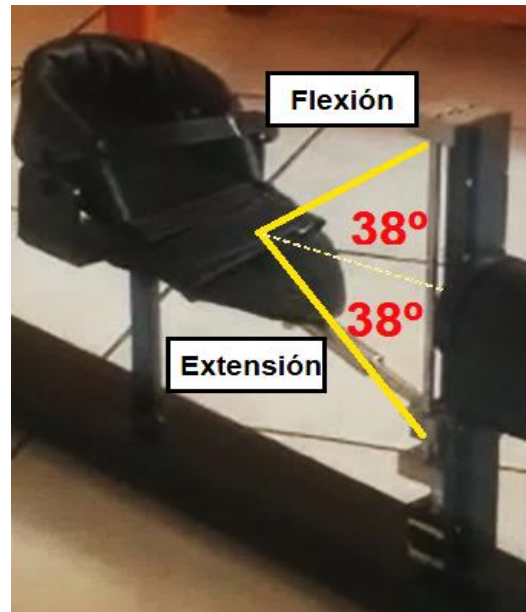
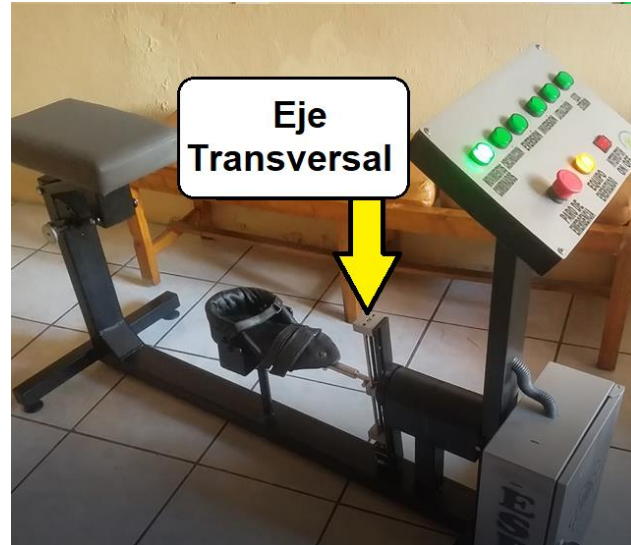
CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN



EQUIPO ENSAMBLADO



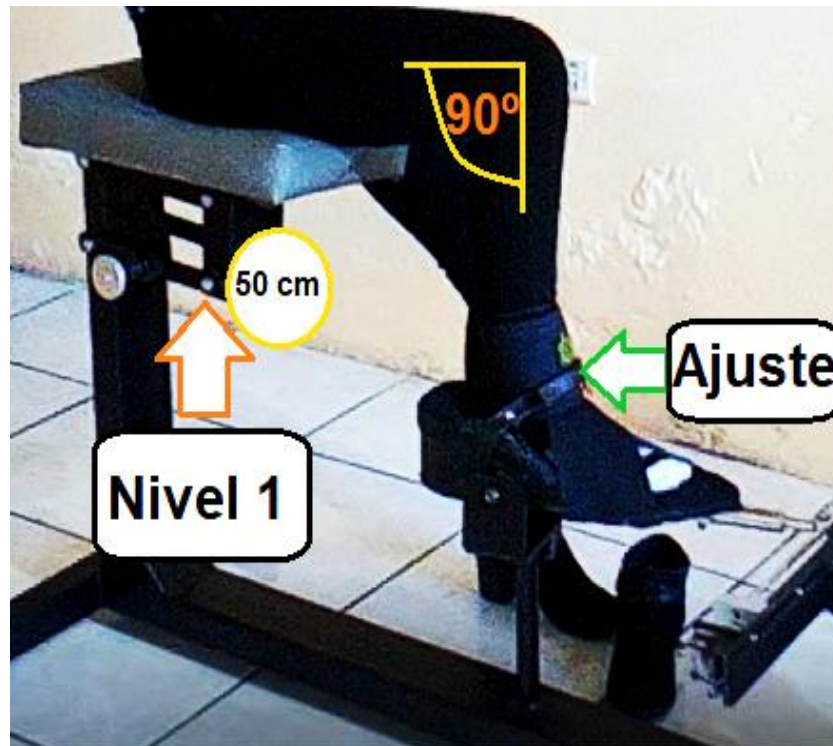
PRUEBAS EN VACÍO



PRUEBAS CON CARGA



Parámetros	Persona A	Persona B	Persona C
Edad (años)	27	25	30
Sexo	Masculino	Femenino	Masculino
Peso (kg)	88	54	94
Estatura general (m)	1,78	1,56	1,70
Tamaño del pie (cm)	26	22	25



PRUEBAS CON PACIENTE



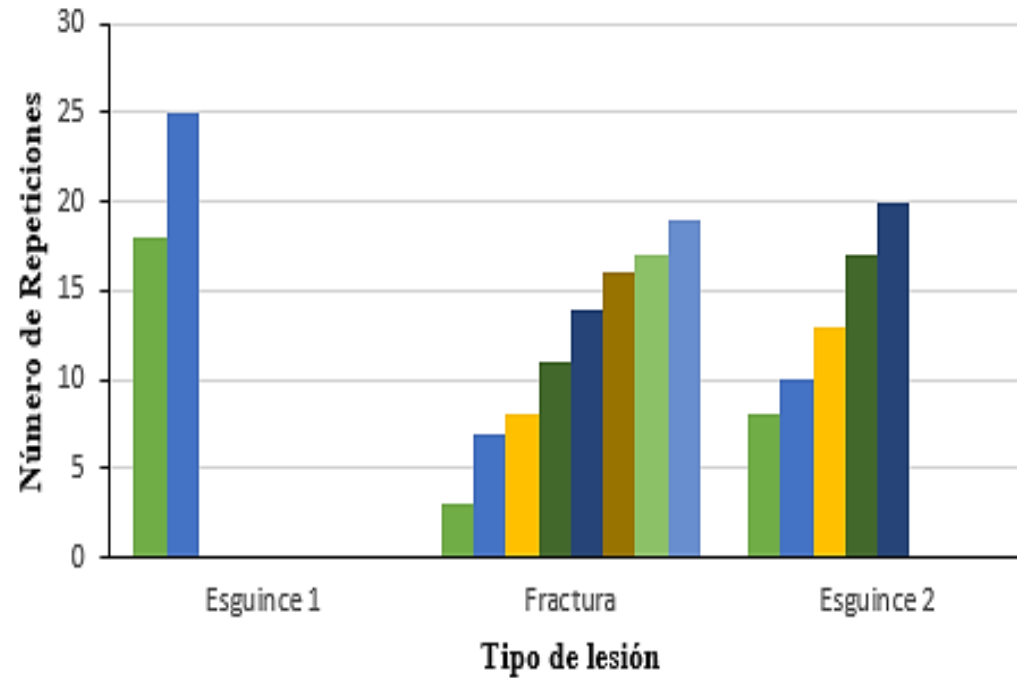


Semanas		Movimientos	Resistencia	Nivel	#R	Recuperación
Semana 1	Sesión 1	Flexo-extensión Lateralización,	-	1	3	Rango de movilidad
	Sesión 2	Flexo-extensión, Lateralización,	-	1	8	Rango de movilidad
	Sesión 3	Inversión, Eversión	-	1	5	Rango de movilidad
Semana 2	Sesión 1	Flexo-extensión, Lateralización, Inversión, Eversión	-	2	7	Rango de movilidad
	Sesión 2	Flexo-extensión, Lateralización	-	2	15	Rango de movilidad
	Sesión 3	Lateralización Inversión, Eversión Flexo-extensión	-	2	8	Rango de movilidad
Semana 3	Sesión 1	Combinados Circunducción	- -	3	6 8	Fortalecimiento
	Sesión 2	Combinados Circunducción	- 2kg	3	8 8	Fortalecimiento
	Sesión 3	Combinados Circunducción	- 2kg	3	8 12	Fortalecimiento
Semana 4	Sesión 1	Combinados Circunducción	- 4kg	3	8 15	Fortalecimiento
	Sesión 2	Combinados Circunducción	- 4 kg	3	8 22	Fortalecimiento
	Sesión 3	Recuperación de la coordinación y el equilibrio				

VALORACIÓN MUSCULAR



Valoración de Fortalecimiento



Grado	3	4	5
Nivel	Regular (50%)	Bien (75%)	Normal (100%)
Repeticiones	1-9	10-19	>20

VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS



¿El análisis y diseño del equipo de rehabilitación para el tobillo mediante la aplicación de movimientos de circunducción controlados por un sistema móvil, ayudará al fortalecimiento postraumático del tobillo?

- **H1 (Hipótesis alternativa):** El equipo de rehabilitación ayudará al fortalecimiento postraumático del tobillo.
- **H0 (Hipótesis nula):** El equipo de rehabilitación no ayudará al fortalecimiento postraumático del tobillo.



FRECUENCIA OBSERVADA

Nº	Paciente	Si cumple	No Cumple	Repeticiones
1	Esguince de grado 1	18	7	25
2		25	0	25
3		3	22	25
4	Fractura	7	18	25
5		8	17	25
6		14	11	25
7		14	11	25
8		16	9	25
9		17	8	25
10		19	6	25
11		8	17	25
12		10	15	25
13	Esguince de grado 2	13	12	25
14		17	8	25
15		20	5	25
Suma Total		209	166	375

FRECUENCIA OBSERVADA

Nº	Paciente	Si cumple	No Cumple	Repeticiones
1	Esguince de grado 1	13,93	11,07	25
2		13,93	11,07	25
3		13,93	11,07	25
4		13,93	11,07	25
5		13,93	11,07	25
6	Fractura	13,93	11,07	25
7		13,93	11,07	25
8		13,93	11,07	25
9		13,93	11,07	25
10		13,93	11,07	25
11		13,93	11,07	25
12		13,93	11,07	25
13	Esguince de grado 2	13,93	11,07	25
14		13,93	11,07	25
15		13,93	11,07	25
Suma Total		208,95	166,05	375

$$E_{ij} = \frac{O_i * O_j}{O}$$



CHI-CUADRADO CALCULADO

Nº	Paciente	Si cumple	No Cumple
1	Esguince de grado 1	1,19	1,49
2		8,80	11,07
3		8,58	10,79
4		3,45	4,34
5		2,52	3,18
6	Fractura	0,0004	0,0004
7		0,0004	0,0004
8		0,31	0,39
9		0,68	0,85
10		1,85	2,32
11		2,52	3,18
12		1,11	1,40
13	Esguince de grado 2	0,06	0,08
14		0,68	0,85
15		2,65	3,33
Suma Total		34,38	43,26
CHI-CUADRADO		77,64	

$$X_{cal}^2 = \frac{\sum(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

$$X_{cal}^2 \geq X_{cal}^2_{tabulado}$$

$$77,64 \geq 33,319$$

CONCLUSIONES



- Se ha diseñado e implementado un equipo de rehabilitación para el fortalecimiento postraumático del tobillo mediante la aplicación de movimientos de circunducción controlados por un sistema móvil.
- A partir de la utilización del Software libre App Inventor 2, se diseñó la aplicación móvil para sistema operativo Android, el mismo que contiene un menú de movimientos: flexión con un rango de movilidad de (20-30°), extensión (30-50°), lateralización (25-35°), inversión y eversión (35-45°), circunducción y movimientos combinados, además permite ingresar datos de los pacientes como: nombres, número de cédula, edad, diagnóstico, fecha y observaciones, dicho registro de datos tiene la opción de ser exportados a formato Excel y a su vez ser enviados por correo electrónico.
- El fisioterapeuta puede controlar automáticamente los ejercicios de rehabilitación desde su Smartphone, mediante la ejecución de la aplicación móvil que le permite seleccionar el tipo de movimiento y tipo de fortalecimiento comprendido en tres niveles como lento, moderado y rápido, cuyos rangos de movilidad y velocidades varían dependiendo del tipo de movimiento seleccionado, finalmente permite ingresar el número de repeticiones que desea que se ejecute el movimiento.

- Para la etapa de fortalecimiento se utiliza el movimiento de circunducción que involucra movimientos alrededor de todos los ejes de manera horaria y anti horaria, dependiendo también de la resistencia de diferente peso que se adhiera al tobillo y del número de repeticiones que se realice se logra recuperar la fuerza del tobillo previamente perdida por lesión o fractura, además actúa también en la recuperación del rango de movilidad en todos sus planos y ejes, realizando movimientos como flexo-extensión, lateralización, inversión y eversión.
- Personas de diferente estatura y peso corporal al utilizar el equipo de rehabilitación ejecutan el correcto posicionamiento de la rodilla flexionada a 90° sin ninguna incomodidad debido a que el asiento regulable abarca parámetros de altura y distancia.
- Se implementó un paro de emergencia de mano al equipo de rehabilitación al que el paciente puede acceder fácilmente en caso de presentar cualquier tipo de eventualidad, otorgándole al paciente confianza y seguridad al momento de realizar la rehabilitación.
- El paciente con esguince de grado dos utilizando el equipo de rehabilitación logro un tiempo de recuperación de 35 días, obteniendo así 7 días de diferencia con los pacientes que realizan la rehabilitación con el método clásico, ahorrándose económicamente 4 secciones de terapia.
- El nivel de satisfacción obtenido en los resultados de las encuestas de los fisioterapeutas es de 95%, mientras que de los pacientes es el 93%, los mismos que consideran que el equipo de rehabilitación es cómodo y seguro, además que cumple con las fases de rehabilitación y fortalecimiento lo que permite el ahorro de tiempo en las horas de terapias.

RECOMENDACIONES



- Antes de utilizar el rehabilitador de tobillo leer previamente el manual de funcionamiento y mantenimiento.
- Antes de iniciar la rehabilitación nivelar adecuadamente el equipo, para evitar inestabilidad al momento que el paciente efectúe sus ejercicios preestablecidos.
- Para la utilización del equipo de rehabilitación, se considera que los pacientes sean mayores de 15 años, de peso máximo de 95.5 kg y estatura mínima de 1,50 m.
- Para la ejecución del proceso de rehabilitación es necesario realizar un posicionamiento adecuado flexionando la rodilla del paciente a 90°, además de sujetar correctamente el pie para evitar movimientos bruscos.
- Utilizar dispositivos móviles que contengan el sistema operativo Android, debido a que la aplicación fue diseñada solo para este tipo de sistema operativo.
- Es necesario vincular el bluetooth del equipo de rehabilitación con el bluetooth dispositivo móvil al utilizar por primera vez el equipo de rehabilitación posteriormente el dispositivo móvil lo reconocerá normalmente.
- Usar el dispositivo móvil aproximadamente a 10 metros a la redonda del equipo de rehabilitación para no perder la comunicación.



- Procurar que el paciente se mantenga tranquilo antes y durante el proceso de rehabilitación.
- En lo posible en la fase de fortalecimiento realizar los movimientos combinados como calentamiento antes de realizar los movimientos de circunducción.
- Cuando se requiera modificar o eliminar algún dato del registro que lleva el especialista en la aplicación se lo realizada únicamente por medio de la cédula de identidad.
- Tener cuidado al momento de seleccionar el nivel de fortalecimiento, ya que si el paciente no ha recuperado el rango de movilidad adecuadamente puede producir complicaciones en su actual estado.
- Utilizar la opción ayuda en donde se encuentra un video demostrativo paso a paso del funcionamiento de la aplicación móvil.

