



# BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA  
COMPUTACIÓN

“DESARROLLO DE SIMULADOR EQUINO  
COMO HERRAMIENTA PARA  
HIPOTERAPIA”

TESIS  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**LICENCIADO EN INGENIERÍA EN CIENCIAS  
DE LA COMPUTACIÓN**

PRESENTA: RICARDO TEZMOL PICEN

ASESOR:  
DR. JOSÉ LUIS HERNÁNDEZ AMECA

PUEBLA, PUE. SEPTIEMBRE 2024





## Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a las personas que han sido pilares fundamentales en mi vida y en la realización de esta tesis.

A mis padres, por su amor incondicional, su ejemplo de perseverancia y por enseñarme el valor del esfuerzo y la dedicación. Su apoyo constante ha sido la base sobre la cual he construido mis logros.

A mis hermanos, por estar siempre a mi lado, brindándome su apoyo y comprensión en los momentos más difíciles. Su compañía y consejos han sido una fuente de fortaleza para seguir adelante.

A mi esposa, por su amor, paciencia y comprensión durante este proceso. Gracias por estar conmigo en cada paso de este camino, por alentarme y por creer en mí, incluso cuando las dificultades parecían insuperables.

A mi bebé en camino, quien ha sido una inspiración silenciosa pero poderosa para culminar este proyecto. Este logro es también para ti, como un recordatorio de que, con esfuerzo y dedicación, todo es posible.

A mi asesor de tesis, por su orientación, paciencia y valiosos consejos a lo largo de este proceso. Su guía ha sido crucial para superar los desafíos académicos y personales que surgieron durante la elaboración de esta tesis. Gracias por compartir su conocimiento y experiencia, y por motivarme a alcanzar un alto nivel de excelencia.

A todos ustedes, mi más sincero y profundo agradecimiento.

# Índice

Capítulo 1: Introducción .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Descripción del problema .....	5
1.3 Objetivos generales y específicos .....	6
1.3.1 Objetivo General .....	6
1.3.2 Objetivos específicos.....	6
1.4 Hipótesis.....	6
1.5 Justificación.....	7
1.6 Organización de la tesis.....	7
Capítulo 2. Marco teórico .....	11
2.1 Hipoterapia.....	11
2.1.1 Clasificación de la Hipoterapia .....	11
2.2 Simulador equino .....	12
2.2.1 Clasificación de Simuladores equinos .....	12
2.2.4 Simulador para Hipoterapia .....	13
2.3 Partes del simulador equino .....	14
2.3.1 Sensores .....	14
2.3.2 Sistema de control.....	15
2.3.3 Sistema de control de lazo cerrado.....	15
2.3.4 Sistema de control de lazo abierto.....	16
2.3.5 Estructura del caballo.....	17
2.3.6 Sistema de alimentación de energía .....	20
2.3.6.1 Mecánica de Fluidos.....	21
2.3.7 Software .....	23
Capítulo 3: Características del sistema .....	26
3.1 Características ideales del sistema.....	26
3.2 Diseño de estructura Equina .....	26
3.3 Diseño del sistema eléctrico-electrónico .....	32
3.3.1 Sistema empotrado (Microcontrolador PIC16F877A).....	32
3.3.2 Dimmer.....	33

3.4 Diseño de máquina de estados .....	34
3.4.1 ID de Microchip .....	34
3.4.2 Descripción de máquina de estados .....	34
3.5 Diseño de hardware .....	37
Capítulo 4: Implementación, experimentación, recopilación y análisis de datos ...	40
4.1 Implementación .....	40
4.2 Experimentación .....	46
4.3 Recopilación y análisis de datos .....	53
Capítulo 5: Conclusiones y trabajo a futuro.....	55
5.1 Conclusiones.....	55
5.2. Trabajo a futuro .....	58
Referencias .....	60



# Capítulo 1: Introducción

## 1.1 Antecedentes

Rahbar y Salekzamani describen la hipoterapia como una forma de ejercicio terapéutico para el tratamiento que ayuda a mejorar la estabilidad segmentaria de la columna.

Presentan un estudio en el que evalúan los efectos de un simulador de hipoterapia tomando en cuenta los parámetros dolor, discapacidad y rango de movimiento en la columna vertebral de pacientes con dolor lumbar mecánico.

También muestran un ensayo clínico con 80 sujetos asignados aleatoriamente, a rutinas de fisioterapia. Dicho grupo se sometió a 15 sesiones de hipoterapia con un simulador equino, cada una de 15 minutos de duración. Se midieron el dolor, la discapacidad y rango de movimiento (ROM) de los sujetos en la primera y última sesión de fisioterapia respectivamente.

Como resultados muestran la mejora en los sujetos debido a que la intensidad del dolor fue menor en el grupo que se sometió al simulador de hipoterapia durante los primeros ocho días de tratamiento.

Concluyen que el simulador de hipoterapia disminuyó el dolor y la discapacidad en sujetos con dolor lumbar; sin embargo, no se observó mejora adicional en el rango de movimiento de la columna [1].



Wonsik y Rok So escriben sobre los diversos simuladores robóticos de equitación que se han utilizado con éxito como sustitutos de caballos reales en áreas de terapia, lecciones de equitación, estado físico y entretenimiento. Sin embargo, investigaciones recientes han mostrado diferencias en el movimiento, la respuesta y la sensación entre un caballo real y un simulador, lo que puede resultar en una postura y memoria muscular incorrecta para el jinete. En su trabajo desarrollaron un simulador de equitación de estructura cinemática híbrida para proporcionar un movimiento más realista en comparación con los existentes. El simulador tiene 4 grados de libertad y proporciona una plataforma de movimiento base. También cuenta con un sistema giratorio adicional con 2 grados de libertad, que está montado en la plataforma base. Los datos del movimiento del caballo fueron capturados, normalizados, filtrados y ajustados para proporcionar la trayectoria del movimiento. Además, se implementaron mecanismos de cuello, silla y cola para proporcionar una simulación realista, se incluyeron sensores de ritmo para controlar el movimiento del simulador y se instaló una pantalla grande para el efecto de realidad virtual.

Se realizaron pruebas de expertos para evaluar el sistema de equitación desarrollado, cuyos resultados indicaron que el simulador desarrollado se consideró suficiente para las lecciones de equitación y el uso terapéutico [2].

Rok Kang y Ho Yu presentan el análisis sobre el uso de un simulador para ejercicio de equitación (S rider shinhwa electron, co. Corea.) al aire libre, donde los sujetos de prueba realizaron ejercicios de equitación. Él tuvo el objetivo de mostrar los beneficios de realizar el ejercicio de equitación bajo techo. Los sujetos son 20

personas entre hombres y mujeres, que se ejercitaron 40 minutos al día. Los cuales se realizaron 3 días a la semana durante 2 meses. El estudio mostro que el ejercicio a caballo mejora el nivel de condición física básica para los practicantes de equitación [3].

Eskola y Handroos describen el proceso de desarrollo de un simulador de equitación capaz de generar una sensación de conducción real. El proceso de desarrollo comenzó con el diseño de 6 grados de libertad para la dinámica de la silla de montar del conductor. Se realizaron mediciones de seis dimensiones durante la conducción para comprender completamente el carácter de la silla de montar. Los parámetros medios, las aceleraciones de traslación y las velocidades angulares, se transformaron y filtraron para formar referencias de posición para una plataforma hidráulica. El método de medición permitió medir la marcha de varios caballos individuales en poco tiempo.

También proporcionó un enfoque directo para detectar movimientos en la plataforma de móvil. Se desarrolló un cuerpo de caballo artificial hecho de fibra de vidrio en la plataforma de móvil, este simulador realizo tres pasos básicos caminar, trotar y galopar. El piloto pudo controlar el comportamiento del simulador a través de sensores y una interfaz interactiva.

Los parámetros controlados de la interfaz son, la tensión de las riendas, la presión de la pantorrilla y el ángulo del estribo. Se desarrolló un algoritmo inteligente que imita la interacción real entre el jinete y la frecuencia de pasos del caballo [4].

Woo y Gil reportan el estudio de los efectos sobre la hipoterapia comparada con una cabalgata simulada, tomando en cuenta el equilibrio estático y dinámico de niños con parálisis cerebral (PC). Tomaron una población de 26 niños, divididos aleatoriamente en dos grupos de 13 integrantes. Los dos grupos participaron en 1 hora de ejercicio al día, 3 veces por semana, durante 3 meses. La capacidad de equilibrio estático se midió mediante software. La capacidad de equilibrio dinámico se midió utilizando la PBS (Escala de equilibrio pediátrico). Como resultado se mostró que ambos grupos mejoraron significativamente su equilibrio estático y dinámico, pero no se encontraron diferencias significativas entre los dos grupos. Se concluye que el simulador de equitación podría ser una alternativa útil a la hipoterapia que mejorar la estática y la dinámica de niños con (PC) [5].

Temcharoensuk y Lekskulchai<sup>1</sup> realizaron un ensayo controlado aleatorio para investigar los efectos inmediatos de la equitación y un simulador de equitación dinámico y estático de niños con parálisis cerebral. Treinta niños con parálisis cerebral fueron reclutados y asignados al azar en tres grupos. Los niños recibieron 30 minutos de ejercicio. La evaluación segmentaria del control del tronco y la medida de la función motora gruesa se utilizó para evaluar a los niños en todos los grupos, tanto antes como después de las intervenciones. Las habilidades para sentarse mejoraron significativamente después de todas las intervenciones. Montar a caballo mostró la mayor mejora, seguido de los dinámicos y estáticos grupos de simuladores de equitación. Montar a caballo también mostró una mejora significativa en la dimensión sentada. Montar a caballo fue la mejor intervención para promover la capacidad para sentarse de niños con parálisis cerebral espástica. Sin embargo,

un simulador dinámico de equitación puede ser un buen sustituto para la equitación cuando la equitación no está disponible [6].

## **1.2 Descripción del problema**

Para realizar este trabajo se buscará información en fuentes fidedignas, de trabajos similares en bases de datos reconocidas como IEEE explore, Redalyc, Springer, Bibliotecas BUAP etc. La segunda etapa consistirá en diseñar la estructura mecánica, electrónica y software del prototipo con ayuda de diferentes técnicas. La tercera etapa será la construcción utilizando herramientas como cortadores, impresora 3D, taladro, etc. La cuarta etapa se dedicará a realizar pruebas de funcionamiento en un ambiente controlado. En la quinta etapa se recopilarán en un instrumento los resultados obtenidos sobre el funcionamiento del prototipo realizado. La sexta etapa se mostrarán los resultados recopilados mediante diagramas, tablas comparativas, graficas e imágenes. Por último, se redactarán las conclusiones y el trabajo futuro.

## **1.3 Objetivos generales y específicos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseño e implementación de un prototipo de robot equino para hipoterapia.

### **1.3.2 Objetivos específicos.**

- Buscar información en fuentes fidedignas.
- Diseñar estructura mecánica, electrónica y software del prototipo.
- Construir y ensamblar el prototipo.
- Probar el funcionamiento en un ambiente controlado.
- Recopilar y analizar los resultados.
- Mostrar resultados y características del trabajo desarrollado.

## **1.4 Hipótesis**

Utilizando las herramientas de las ciencias de la computación es posible desarrollar un prototipo para hipoterapia que simule el comportamiento de la caminata de un caballo real.

## **1.5 Justificación**

Las principales razones de realizar este trabajo son: utilizar los conocimientos adquiridos durante la formación superior en beneficio de la salud, utilizar las tecnologías que permitan desarrollar un nuevo prototipo que funcione como herramienta para fisioterapeutas y pacientes con discapacidades motoras.

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en Puebla se registran cerca de 47 mil personas con alguna discapacidad. De cada 100 personas con discapacidad, el 39% son consecuencia de alguna enfermedad, el 23% han sido afectados por la edad, el 16% por razones hereditarias, durante el embarazo o al nacer, el 15% han sido a consecuencia de algún accidente y el 8% debido a diversas causas.

Por lo que se puede decir que la presente tesis impacta de manera favorable al desarrollo profesional del alumno, aportando al ámbito de dispositivos destinados a la fisioterapia y al avance de las Ciencias de la Computación. [7]

## **1.6 Organización de la tesis**

El presente trabajo de investigación se enfoca en el desarrollo de un simulador equino como herramienta para la hipoterapia. Este estudio está estructurado en cinco capítulos, los cuales se describen a continuación.

En el capítulo 1, se presentan los antecedentes de las aplicaciones de los simuladores y el control de movimientos, así como los antecedentes específicos de los simuladores equinos. Además, se expone la hipótesis de esta tesis, junto con

los objetivos planteados, los alcances del estudio, las limitaciones encontradas y las justificaciones que respaldan la realización de este trabajo.

En el segundo capítulo se aborda la hipoterapia, incluyendo su clasificación y el análisis de los simuladores equinos. Se examinan diversos tipos de simuladores y su función específica dentro de este contexto. Además, se analizan los sensores necesarios para los simuladores equinos, así como los sistemas de control tales como los de lazo abierto y lazo cerrado. Asimismo, se realiza una descripción detallada de los componentes que integran un emulador equino.

En el tercer capítulo se centra en las características óptimas del sistema, considerando la estructura equina para su diseño. Se profundiza en el desarrollo del sistema eléctrico y electrónico, así como en el diseño del software requerido para el simulador.

En el cuarto capítulo de la presente investigación, se presentan de manera meticulosa los resultados obtenidos tras la implementación del simulador equino. Asimismo, se detalla la experimentación realizada con pacientes, con el objetivo de recopilar datos pertinentes para un análisis detenido. Es importante señalar que durante la fase de pruebas se enfrentaron complicaciones derivadas de la situación de la pandemia por COVID-19, lo cual influyó en el desarrollo y ejecución de los procedimientos experimentales. Estos hallazgos son esenciales para evaluar la eficacia y las implicaciones prácticas del simulador dentro del contexto terapéutico examinado.

Por último, en el capítulo 5 se muestran las conclusiones, así como los trabajos futuros.





## Capítulo 2. Marco teórico

### 2.1 Hipoterapia

Es una disciplina del área de la salud basada en la kinesiología, que utiliza al caballo como ayuda terapéutica activa para diversas patologías. En su ejecución el caballo es llevado por un guía, el paciente montado, y el tratante que se encarga de la terapia [8].

Hipoterapia es una modalidad asistida con animales, que utiliza al caballo como medio facilitador en la rehabilitación o habilitación de deficiencias a nivel motor, sensor-perceptivo, cognitivo, comunicativo y social. Se aprovecha el paso, el carácter, la voluntad, la anatomía del animal y la planeación de ejercicios terapéuticos sobre este, para que el fisioterapeuta los convierta en elementos fundamentales para el proceso de restablecimiento de la funcionalidad y funcionamiento del paciente [9].

#### 2.1.1 Clasificación de la Hipoterapia

**Hipoterapia básica:** El paciente está sentado en el caballo, dejando que el caballo le transmita sus movimientos multidimensionalmente sobre la marcha.

**Hipoterapia combinada:** El paciente, además de recibir los estímulos del caballo realiza los ejercicios específicos, designados por su terapeuta, según el diagnóstico.

En ambas modalidades el terapeuta puede acompañar al paciente sobre el caballo o caminando al lado de él.

**Hipoterapia avanzada:** El paciente lleva las riendas del caballo, el animal está a su cargo y dirección, esto implica un trabajo de responsabilidad, coordinación, motricidad y fuerza muscular. El tratante se mantiene cerca del recinto cerrado para dirigir la terapia; se puede realizar simultáneamente con uno o más pacientes [8].

## **2.2 Simulador equino**

Un simulador equino es una especie de caballo mecánico o "potro" que imita el trote del animal. La ventaja que ofrece es la adaptación de movimientos a las necesidades de cada paciente [10].

Un simulador de conducción equino es una herramienta en la cual una persona puede aprender los conceptos básicos de equitación correctamente, convirtiéndose en un dispositivo que puede proveer grandes beneficios a los usuarios [11].

### **2.2.1 Clasificación de Simuladores equinos**

#### **Simulador para jinetes**

El simulador beneficia al jinete, ofrece un programa de entrenamiento a medida que se adapta a las necesidades de cada uno de ellos. Todos los jinetes pueden desarrollar hábitos deseados. El simulador resalta las fallas posicionales del jinete utilizando sensores sofisticados y solo responderá a ayudas claras, asegurando así que el más experimentado de ellos solucione cualquier inexactitud.

También da la oportunidad de practicar movimientos avanzados como pasajes, piaffe o cambios de dirección usando repeticiones intensas que no serían posibles en un caballo real [12].

### **Simulador Equino para ejercicio (Equicizer)**

El Equicizer es un caballo mecánico hecho a mano que simula la conducción para que pueda mejorar el estado físico general y las habilidades de práctica.

Permite a los jinetes trabajar y ejercitar áreas específicas del cuerpo y los músculos necesarios para montar a caballo.

Ya sea un ciclista serio o no, para conducir de la mejor manera y con la mayor seguridad posible, debe estar físicamente preparado. No siempre es posible llegar al establo o conducir lo suficiente como para alcanzar el máximo rendimiento. El Equicizer brinda a los jinetes la oportunidad de pasar más horas en la silla con total comodidad [13].

### **2.2.4 Simulador para Hipoterapia**

Las sesiones de hipoterapia con un simulador son de tacto cálido y apariencia agradable, pueden ser similares a las que se practican con caballos reales, pero dentro de un entorno controlado y seguro.

Montando a un simulador se pueden practicar infinidad de ejercicios terapéuticos, así como la cabalgata, técnica que permite situar al terapeuta detrás del usuario.

En EEUU, las sesiones de trabajo realizadas con simuladores han sido una ayuda terapéutica contrastada para personas que sufren de artritis, parálisis cerebral, distrofia muscular, esclerosis múltiple, fibromialgia, lesión de la médula espinal, trauma en la cabeza, parálisis, amputaciones y otras lesiones cerebrovasculares.

El simulador también resulta una herramienta útil para personas con problemas emocionales y de aprendizaje, así como para aquellas que padecen autismo o síndrome de Down [14].

## **2.3 Partes del simulador equino**

### **2.3.1 Sensores**

Es un dispositivo que mide una magnitud física y la transforma en una señal. Esa magnitud puede ser, por ejemplo, temperatura, longitud, fuerza o, naturalmente, presión. En la mayoría de los casos la señal es eléctrica, aunque también puede ser óptica. [15]

**Sensor de presión:** Es un instrumento compuesto por un elemento detector de magnitud de presión con el que se determinan las variaciones de ésta en tiempo real (utilizando distintos principios de funcionamiento) y otros componentes que convierten esta información en una señal de salida. [15]

**Sensor de Ángulo:** Existe una gran variedad de sensores de ángulo y rotación, para la medida de ángulo, rotación angular o posición angular. Las diferentes variantes afectan tanto al tipo de tecnología para realizar la medida, como

al formato del sensor. Hay sensores de ángulo y rotación ópticos, magnéticos, inductivos, etc. [16].

**Sensor de Temperatura:** Los sensores de temperatura son dispositivos que transforman los cambios de temperatura en señales eléctricas que son procesados por un equipo eléctrico o electrónico. Hay tres tipos de sensores de temperatura, los termistores, los RTD (detector de temperatura resistivo) y los termopares [17].

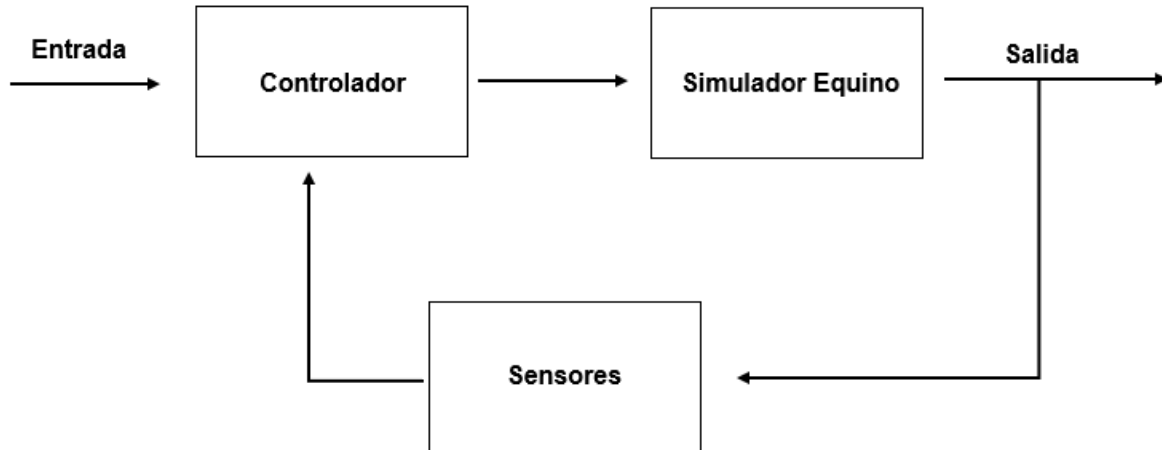
### **2.3.2 Sistema de control**

El control automático ha desempeñado un papel vital en el avance de la ingeniería y la ciencia. El control automático se ha convertido en una parte importante e integral en los sistemas de vehículos espaciales, robóticos, procesos modernos de fabricación y en cualquier operación industrial que requiera el control de temperatura, presión, humedad, flujo, etc. Es deseable que la mayoría de los ingenieros y científicos estén familiarizados con la teoría y la práctica del control automático [18].

### **2.3.3 Sistema de control de lazo cerrado**

Los sistemas de control realimentados se denominan también sistemas de control en lazo cerrado. En la práctica, los términos control realimentado y control en lazo cerrado se usan indistintamente. En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (que puede ser la propia señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales), con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término control

en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema, el sistema de lazo cerrado que se propone se muestra en la figura 2.1. [19]

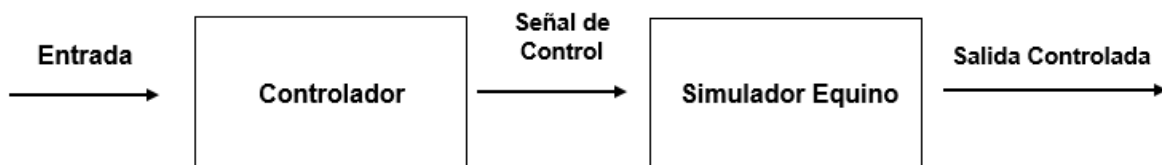


**Fig. 2.1.** Sistema de Control de lazo Cerrado

### **2.3.4 Sistema de control de lazo abierto**

Los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control se denominan sistemas de control en lazo abierto. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. Un ejemplo práctico es una lavadora. El remojo, el lavado y el centrifugado en la lavadora operan con una base de tiempo. La máquina no mide la señal de salida, que es la limpieza de la ropa. En cualquier sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia. Así, a cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fija; como

resultado de ello, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada. En la práctica, el control en lazo abierto sólo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas. Es evidente que estos sistemas no son de control realimentado. Un sistema de control en lazo abierto se muestra en la figura 2.2 [18].



**Fig. 2.2** Sistema de Control de Lazo abierto

### **2.3.5 Estructura del caballo**

Una de las partes del caballo que más transmite energía y calor a los pacientes de equinoterapia es el tronco, el cual es la región más grande de su cuerpo. Según su genética y raza, la forma y corpulencia del tronco variará, dotando al caballo de cualidades específicas.

El tronco se divide en:

- Cruz: es la región alta y musculosa, justo al terminar el cuello y la inserción de las crines. La altura de un caballo se mide desde este punto hasta el suelo.

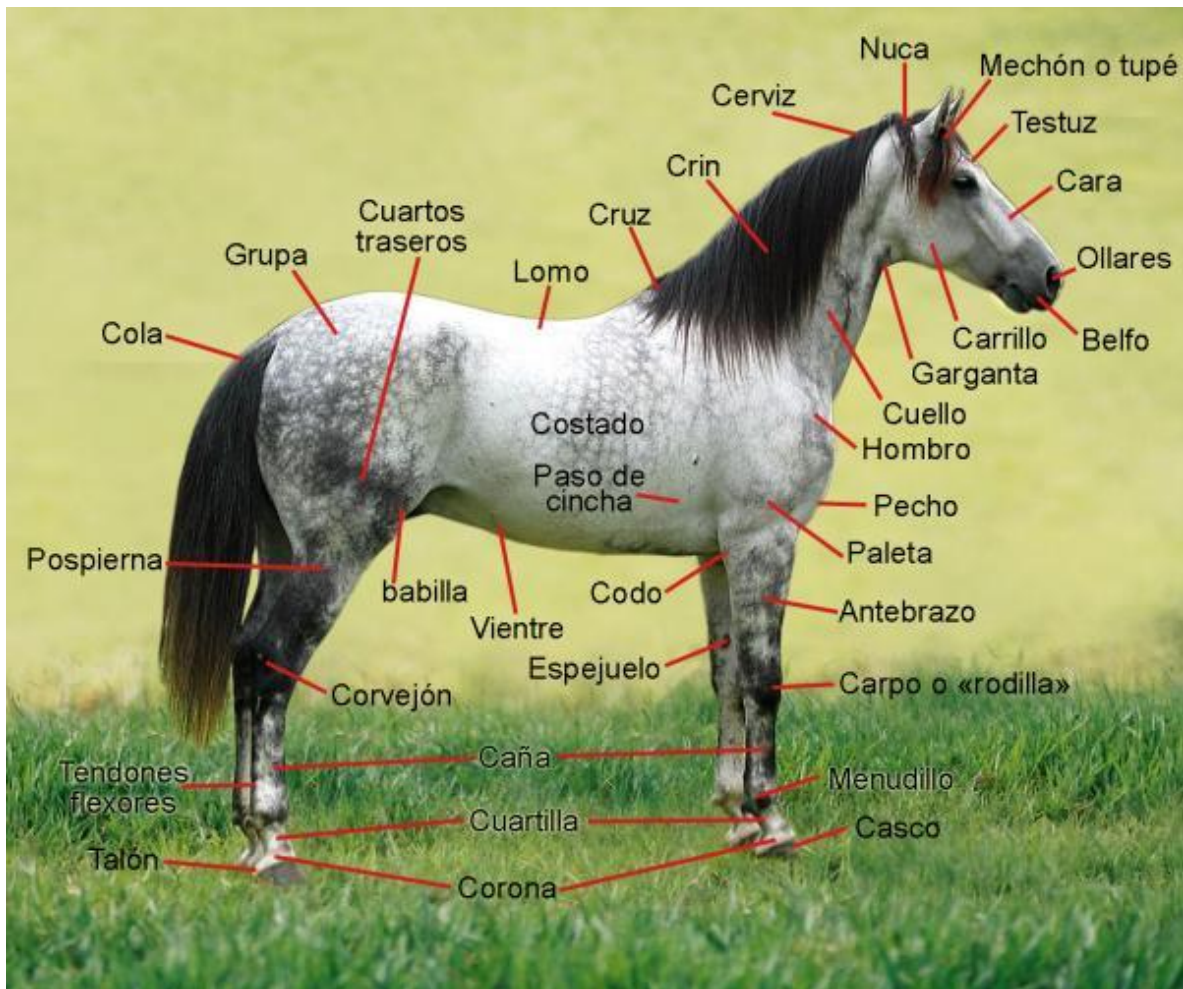


- Dorso: es la región que limita con la cruz por delante, los costados por ambos lados y el lomo por detrás.
- Lomo: es la región de los riñones, limita con el dorso y con la grupa.
- Grupa: es la zona más posterior de la espalda, limita con la cola, el lomo y lateralmente con las ancas.
- Anca: es la zona junto a los lados de la grupa, sobre los muslos (parte trasera de las piernas).
- Pecho: se encuentra bajo el cuello, tiene una línea medial vertical que separa dos grandes músculos.
- Axilas: zona bajo las patas delanteras.
- Cinchera: es donde se coloca la cincha, limita por delante con las axilas, por detrás con el vientre y, lateralmente, con los costados.
- Vientre: debe ser poco voluminoso, no colgante. El vientre varía según el sexo, la edad, el ejercicio físico, etc.
- Costados: es la zona de las costillas.
- Flancos o ijares: es la zona tras los costados, sobre el vientre y anterior a las ancas.

La anatomía de las extremidades del caballo está diseñada para aguantar el peso del animal, sobre todo las patas delanteras. Éstas son las que aguantan la mayor parte del peso corporal, las regiones principales de estas extremidades son:

- Hombro: es la zona donde se une la escápula con el húmero.

- Brazo: limita con la espalda y con el antebrazo. Es la primera región de la extremidad.
- Codo: es la articulación húmero-radio-cubital.
- Antebrazo: se encuentra limitado por arriba con el brazo y el codo, y por debajo con la "rodilla".
- Rodilla: Es una de las zonas más importantes del caballo, puede sufrir muchas lesiones. A pesar de llamarse rodilla, en realidad, es la región de la muñeca.
- Caña: zona entre la "rodilla" y el menudillo del caballo. Esta región crece hasta que el caballo tiene dos años. Limita por abajo con el tendón.
- Tendón: por aquí pasan los principales tendones y ligamentos de la pata. Limita por abajo con el menudillo del caballo.
- Menudillo: se localiza entre la caña y la cuartilla. Por la zona posterior está el apéndice córneo, vestigio de dedos primitivos.
- Cuartilla: es la zona de la piel antes del casco. Tiene un ángulo de 45° con respecto al suelo [20].



**Fig. 2.3** Anatomía del Caballo recuperado de

[\[https://www.expertoanimal.com/anatomia-del-caballo-24179.html\]](https://www.expertoanimal.com/anatomia-del-caballo-24179.html)

### 2.3.6 Sistema de alimentación de energía

El sistema de alimentación de energía es un conjunto de elementos que tiene como fin generar, transformar, transmitir, distribuir y consumir la energía de tal forma que se logre la mayor calidad al menor costo posible. [21]

### **2.3.6.1 Mecánica de Fluidos**

La Mecánica de Fluidos es la rama de la ciencia que estudia el equilibrio y el movimiento de los fluidos, esto es, líquidos y gases. En los fluidos, puede producirse un movimiento relativo de las moléculas y átomos que forman parte de la estructura interna tanto en movimiento como en reposo, situación que no se produce nunca en los sólidos. [22]

Dentro de la mecánica de fluidos se encuentra, la hidráulica que es la ciencia que comprende la transmisión, regulación de fuerzas y movimientos por medio de los líquidos. Cuando se escuche la palabra “hidráulica” hay que remarcar el concepto de que es la transformación de la energía, ya sea de mecánica o eléctrica en hidráulica para obtener un beneficio en términos de energía mecánica al finalizar el proceso.

#### **Sistema de potencia Hidráulico**

A continuación, se definen los cilindros hidráulicos de movimiento lineal utilizados comúnmente en aplicaciones donde la fuerza de empuje del pistón y su desplazamiento son elevados. Los cilindros hidráulicos de movimiento giratorio pueden ser de pistón-cremallera piñón y de dos pistones con dos cremalleras en los que el movimiento lineal del pistón es transformado en un movimiento giratorio mediante un conjunto de piñón y cremallera y el cilindro de aletas giratorias de doble efecto para ángulos entre  $0^\circ$  y  $270^\circ$ . Como ejemplo se muestra la figura 2.4 que ejemplifica a un cilindro hidráulico usado en los simuladores en la figura [23].



**Fig. 2.4.** Fotografía de cilindros hidráulicos (pistones) utilizados en algunos simuladores equinos recuperada de [ <https://www.cilindrosneumaticos.com.mx/>]

### **Sistema de potencia Eléctrico**

Un sistema eléctrico de potencia es una herramienta de conversión y transporte de energía. Está compuesto por todas las máquinas, aparatos, redes, procesos y materiales utilizados para la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. El manejo de la energía eléctrica en los sistemas de potencia se hace principalmente en la forma conocida como corriente alterna. [24]

### 2.3.7 Software

La mayoría de los simuladores equino desarrollados por universidades no ocupan un software, sino que se apoyan de sistemas de control como botoneras para el control de velocidad y calor.

Algunas empresas dedicadas al desarrollo de simuladores crearon su propio software de control

ControlDesk Desarrollador 2.5.6 y Matlab 7.0 / Simulink con las extensiones Interfaz en tiempo real y taller en tiempo real.

## 2.4 Máquina de estados finita (funcionamiento, símbolos)

Las máquinas de estado finito son una herramienta muy útil para especificar aspectos relacionados con el tiempo real, dominios reactivos o autónomos, computación reactiva, protocolos, circuitos, arquitecturas de software, etc.

El modelo de FSM (Finite State Machine) es un modelo que posee sintaxis y semántica formales y que sirve para representar aspectos dinámicos que no se expresan en otros diagramas. [25]

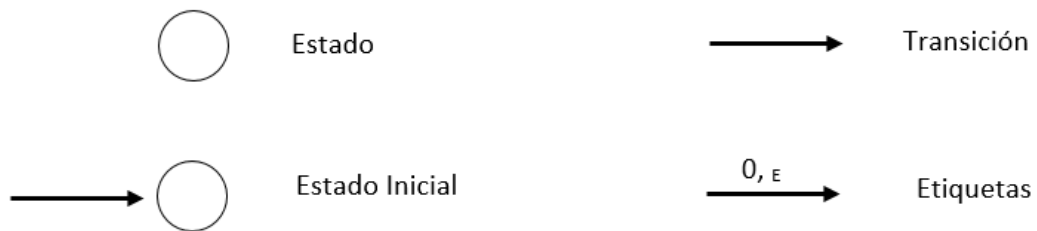
Las máquinas de estado finito se definen como una tupla [26].  $\{S, \Sigma, A \subseteq S \times \Sigma \times S, Sk\}$  donde:

- $S = \{ S_1, S_2, \dots, S_n \}$  es un conjunto finito de nodos.

- $\Sigma$ : es un alfabeto finito de etiquetas.
- $A$ : es un conjunto finito de aristas etiquetadas que unen nodos.
- $sk \in S$ : es el estado inicial.

En la fig. 5 mostramos la simbología de las máquinas de estados finitas

### Simbología Maquinas de Estados



**Fig. 2.5** Máquinas de estados finitas





## **Capítulo 3: Características del sistema**

### **3.1 Características ideales del sistema**

El prototipo tiene como objetivo simular la estructura y caminata de un caballo, que se utilizará como herramienta de apoyo a los fisioterapeutas que trabajan con pacientes que presentan problemas motrices, cognitivos, emocionales y sociales. El prototipo deberá contar con una estructura equina, un sistema de control de posicionamiento-velocidad y secuencias de movimientos programables.

### **3.2 Diseño de estructura Equina**

La estructura será de madera ya que es un material liviano, maleable y resistente. Se ocupan piezas de acero como eslabones de unión en toda la estructura debido a las características de dureza, fusión, maleabilidad, compresión y tensión.

El muslo fue implementado en metal (acero galvanizado calibre 22) lo que brinda mayor dureza al prototipo ya que servirá para incrustar 3 ligamentos fundamentales del prototipo, en la figura 3.1 se muestra la pieza realizada.



**Fig. 3.1** Muslo de la estructura equina

El pie es esencialmente importante para que el prototipo pueda moverse, en esta pieza se incrustan los dos ligamentos delanteros que, al mismo tiempo van ensamblados al muslo, además un ligamento largo que va incrustado en el cuerpo del prototipo en la figura 3.2 se muestra la pieza realizada.



**Fig. 3.2** Pie de la estructura equina

Los ligamentos frontales son los encargados de unir al muslo con el pie, estos también sirven para emular la caminata, se realizaron con madera de pino estufada y cepillada, las medidas en centímetros son: 2 de espesor, de 3 ancho y 20 de largo. En la figura 3.3 se muestran las piezas realizadas de los ligamentos.



**Fig. 3.3** Ligamentos frontales derecho e izquierdo realizados en madera de pino.

Los ligamentos largo y corto van incrustados al cigüeñal del prototipo, los cuales se encargan de generar el movimiento, estas piezas fueron realizadas en madera de pino estufado y cepillado. El ligamento largo se realizó con las medidas en centímetros de: 2 de espesor, 3 de ancho y 31 de largo. Las medidas del ligamento corto son: 2 de espesor, 3 de ancho y 25 de largo. En la figura 3.4 se muestran las piezas de los ligamentos realizados, el ligamento corto se encuentra encima del ligamento largo.



**Fig. 3.4** Ligamentos largo y corto realizados en madera de pino

El cuerpo del prototipo tiene ensamblada la biela que se va a encargar de generar el movimiento de las patas, en la biela van ensamblados los ligamentos largo y corto, el cuerpo fue realizado en madera de pino estufada y cepillada con medidas en centímetros de: 2 de espesor, 10 de ancho y 45 de largo, en la figura 3.5 se muestra la pieza la realizada

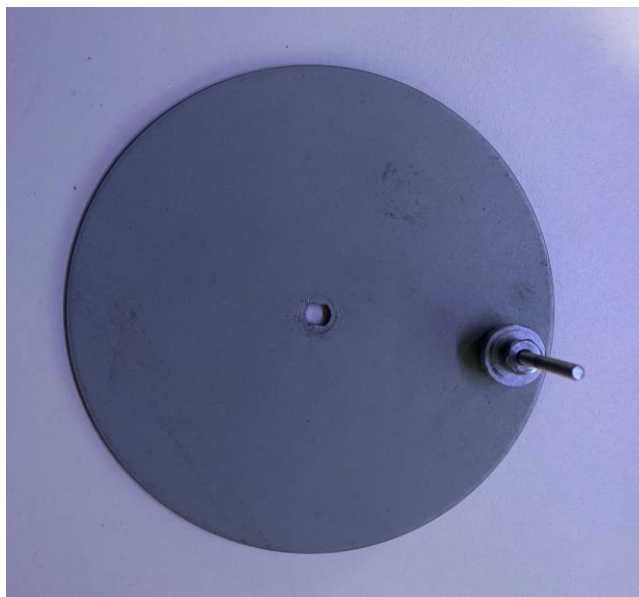


**Fig. 3.5** Biela del prototipo

Este elemento en apariencia simple cumple una función primordial en el funcionamiento del prototipo. La biela es algo así como el cuerpo de un pedal de bicicleta, que va fijado al eje de los platos por un lado e incorpora el pedal por el otro. Por tanto, permite que la fuerza que ejercemos sobre el pedal sea transmitida al eje y sus engranajes, posibilitando el movimiento de las ruedas.

La biela del prototipo en esencia, es lo mismo, ya que conecta el cigüeñal con el pistón que es la parte del prototipo que hace girar la biela. Por tanto, se puede definir la biela como el elemento mecánico que, mediante tracción o compresión, transmite el movimiento a través de la articulación de otras partes de una máquina o motor.

El cigüeñal se encarga de transmitir mediante un movimiento circular el movimiento de las patas o viceversa. En este caso se conectará un motor eléctrico rotatorio en el cigüeñal y este se encargará de transmitir el movimiento a las extremidades para emular la caminata equina. El cigüeñal implementado en lámina galvanizada calibre 22 se muestra en la figura 3.6



**Fig. 3.6** Biela central del Simulador Equino

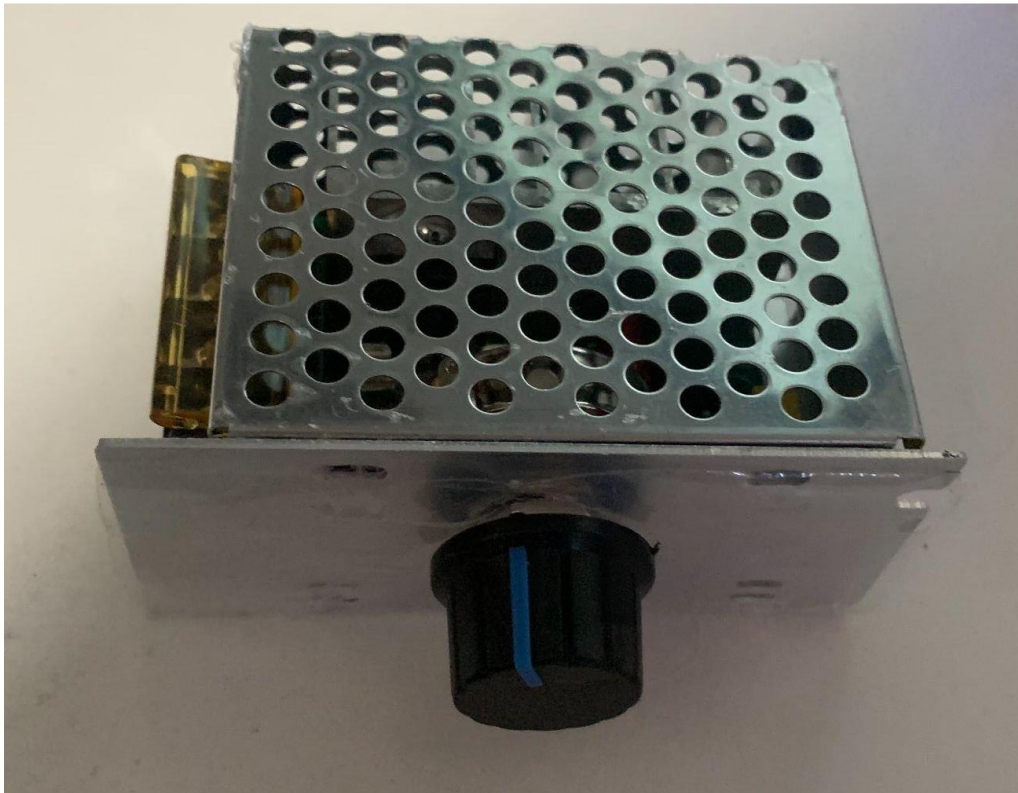
### **3.3 Diseño del sistema eléctrico-electrónico**

#### **3.3.1 Sistema empotrado (Microcontrolador PIC16F877A)**

Es un dispositivo programable que se compone de una computadora digital, una unidad de memoria de datos, una unidad de memoria de programa, puertos de entrada y salida en un circuito integrado, funciona como un controlador de periféricos en un sistema mínimo. El microcontrolador depende de una alimentación de al menos 5v y 0v en sus entradas de Vdd y Vss respectivamente para su operación, requiere de una señal de reloj que le indique la frecuencia de trabajo, esta señal la introducimos a través de un oscilador de cristal de cuarzo, y una alimentación al pin MCLR (Master Clear), que es un pin de reset que activa al microcontrolador. El funcionamiento del microcontrolador está determinado por un programa almacenado en su memoria Flash ROM y puede programarse más de una vez para cambiar su estado y su comportamiento, lo que convierte al microcontrolador en una pieza esencial en el rápido desarrollo de aplicaciones electrónicas.

### 3.3.2 Dimmer

También conocido como regulador de voltaje o atenuador de intensidad, un dimmer es un pequeño dispositivo eléctrico que permite bajar o potenciar la corriente. Generalmente tiene forma de botón o rueda y se conecta al sistema eléctrico junto al interruptor de corriente.



**Fig. 3.7** Dimmer del Simulador Equino



### **3.3.3 Motoreductor**

Se utilizarán motorreductores ya que tienen la potencia necesaria para hacer los movimientos del prototipo al mismo tiempo que son los más apropiados para controlar la velocidad de los movimientos.

## **3.4 Diseño de máquina de estados**

### **3.4.1 ID de Microchip**

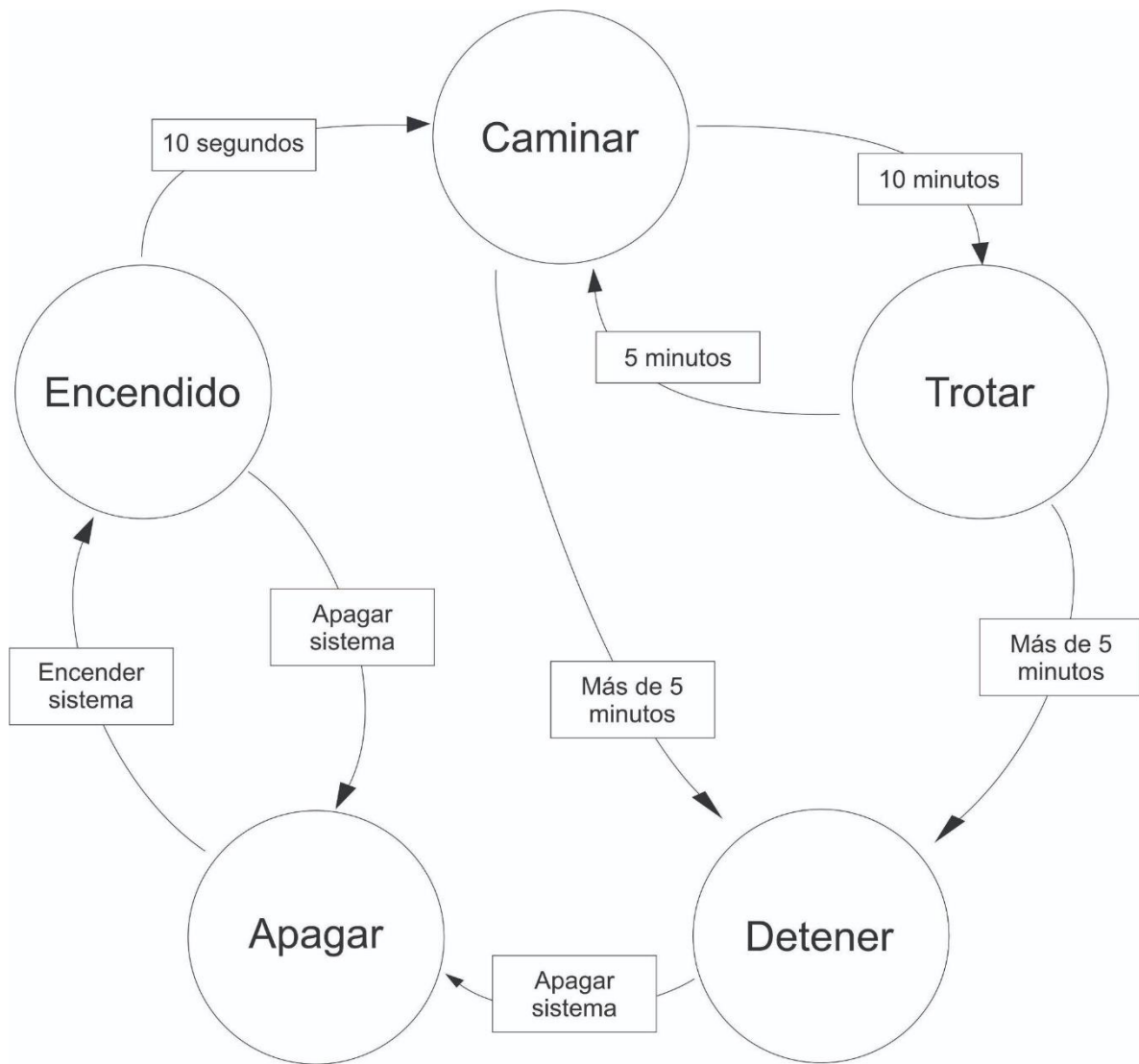
Es un editor IDE gratuito, destinado a productos de la marca Microchip. Este editor es modular, permite seleccionar los distintos microcontroladores soportados, además de permitir la grabación de estos circuitos integrados directamente al programador.

Es un programa que corre bajo Windows, Mac OS y Linux. Presenta las clásicas barras de programa, de menú, de herramientas de estado, etc. El ambiente MPLAB® posee editor de texto, compilador y simulación (no en tiempo real). Para comenzar un programa desde cero.

### **3.4.2 Descripción de máquina de estados**

Las máquinas de estados se definen como un conjunto de estados que sirven de intermediarios en esta relación de entradas y salidas, haciendo que el historial de señales de entrada determine para cada instante, un estado para la máquina de forma tal, que la salida depende únicamente del estado y las entradas actuales.

El diagrama es una representación gráfica que consta de cinco círculos conectados por flechas, representando los estados y las transiciones del sistema respectivamente. Los estados son: “Encendido”, “Caminar”, “Trotar”, “Detener” y “Apagar”. Desde el estado “Encendido”, hay una transición etiquetada como “Encender sistema” que lleva al estado “Caminar” después de 10 segundos. El estado “Caminar” se conecta al estado “Trotar” después de 10 minutos, y viceversa después de 5 minutos. Desde el estado “Trotar”, hay una transición a “Detener” si pasa más de 5 minutos. Tanto los estados “Detener” como “Encendido” tienen transiciones etiquetadas como “Apagar sistema” que llevan al estado final, que es “Apagar”.



**Fig. 3.8** Máquina de estados para el control del Simulador Equino

### **3.5 Diseño de hardware**

Este diseño a bloques muestra un sistema de control para regular la velocidad de un motor de corriente alterna (AC) usando un microcontrolador y un dimmer. El sistema consta de cuatro bloques principales:

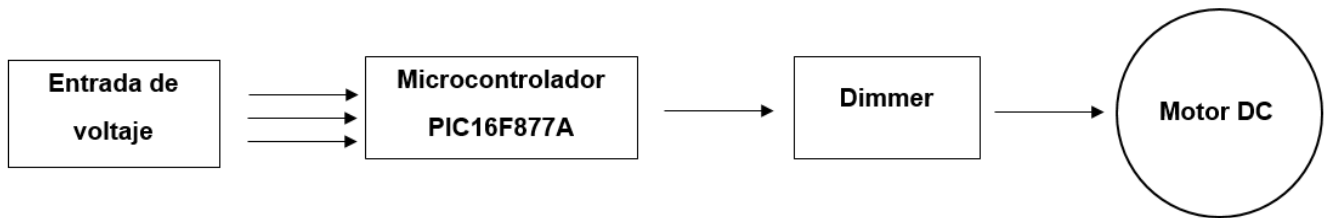
**Entrada de voltaje:** Es el punto inicial del sistema, donde se proporciona la señal de voltaje que se desea aplicar al motor.

**Microcontrolador PIC16F877A:** Es el cerebro del sistema, que recibe la señal de la entrada de voltaje y la procesa mediante un programa almacenado en su memoria. El microcontrolador envía instrucciones al dimmer para ajustar la potencia entregada al motor.

**Dimmer:** Es el dispositivo que modula la potencia que se suministra al motor, variando el ángulo de disparo de un triac. El dimmer recibe las instrucciones del microcontrolador y las ejecuta mediante un circuito de control.

**Motor AC:** Es el actuador del sistema, que convierte la energía eléctrica en energía mecánica. El motor gira a una velocidad proporcional a la potencia que recibe del dimmer.

El diagrama 3.9 muestra el flujo de información o energía entre cada par de bloques mediante flechas direccionales, indicando el sentido de la transmisión.



**Fig. 3.9** Diagrama a Bloques del sistema de Hardware



## Capítulo 4: Implementación, experimentación, recopilación y análisis de datos

### 4.1 Implementación

Una vez terminado el diseño en el software SOLIDWORKS, el cual sirvió como referencia para dimensionar las piezas y verificar posibles colisiones, se procedió a la implementación física del prototipo, utilizando los materiales que se presentan en la tabla 1.

**Tabla 1.** Materiales para construcción del Prototipo Equino.

<b>Material</b>	<b>Dimensiones</b>
Tabla de pino	espesor de 2cm, largo de 2 m y ancho de 15cm.
Soportes laterales	espesor de 2cm, largo de 1 m y ancho de 15 cm.

Soporte (lámina galvanizada)	inferior	acero galvanizado calibre 22
Soporte (lámina galvanizada)	superior	acero galvanizado calibre 22
Manivela (lámina galvanizada)	circular	acero galvanizado calibre 22
Bote de pintura negra		1 litro
Tornillos cabeza de gota		1.5" de largo y 0.11" de diámetro.
Tornillos redondos		5.66" de largo y 0.27" de diámetro.
taladro Makita		710 Vatios de potencia, 3200 RPM
pulidora Bosch		2200 W de potencia, Velocidad máxima de rotación de 6500 rpm



mesa cuadrada	1.5 m de ancho por 1.5 m de largo.
masa de velocidades SHIMANO	8 velocidades.
motor magnético monofásico	120v ac, 60Hz a 2700 RPM

La construcción se realizó en el domicilio particular ubicado en Calle Defensores de la República No.43 San Nicolás San Pablo del Monte Tlaxcala, debido a la contingencia médica provocada por la COVID-19, en la figura 4.1 y figura 4.2 se muestran fotografías del espacio de trabajo y de los soportes de lámina galvanizada junto con los eslabones móviles de madera.



**Fig. 4.1** Corte de piezas



**Fig. 4.2** Ensamble de las piezas.

Como parte del proceso de construcción se cortaron las partes metálicas, se pulieron para garantizar que no tenga óxido en algún punto y por último se pintaron para prolongar el tiempo de vida útil y contar con todas las piezas necesarias para ensamblar el prototipo como se muestra en las figuras 4.3 y 4.4. Se muestra la fotografía donde el alumno Ricardo Tezmol Pícen corta una pieza de lámina galvanizada con una sierra tipo pulidora y se muestra una versión del prototipo que trabaja con un motor magnético monofásico respectivamente.



**Fig. 4.3** Pulido de las piezas



**Fig. 4.4** Rearmado del prototipo



**Fig. 4.5** Prototipo armado

## 4.2 Experimentación

### Experimento 1

Se colocó el motor magnético de 24 Voltios de AC y 2700 RPM en el centro de masa como eje central del mecanismo, y se corroboró que los movimientos del prototipo se realizaron sin colisiones, lo cual corrobora el trabajo diseñado en software (geogebra, solidworks), como se muestra en la figura 4.6.



**Fig. 4.6** Mecanismo terminado del prototipo



**Fig. 4.7** Mecanismo terminado del prototipo tapizado con manta color café.



**Fig. 4.8** Mecanismo terminado del prototipo tapizado con manta costado Izquierdo.

## Experimento 2

Se programó la máquina de estados en conjunto con la tesis del alumno Eduardo Pícen Acevedo titulada Desarrollo de simulador equino como herramienta para la equinoterapia y se corroboró que los movimientos de galope, se realizaron correctamente en el prototipo, en la figura 4.8 se muestra captura de pantalla de del entorno de desarrollo del software utilizado.

```

1  #INCLUDE <16f887.h>
2  #fuses XT,NOPROTECT,NOWDT,NOBROWNOUT,PUT,NOLVP
3  #use delay(clock=4000000,crystal)//Crystal Externo 4MHz
4  #byte PORTB=6
5  #byte PORTC=7
6  #define SW PORTC,0
7
8  INT CONT;
9  byte const HORARIO[4] = { 0b1100,
10                          0b0110,
11                          0b0011,
12                          0b1001};
13
14  byte const ANTIH[4] ={ 0b1001,
15                       0b0011,
16                       0b0110,
17                       0b1100};
18
19  void main()
20  {
21      SET_TRIS_C(0b11111111);           //Configura el puerto C
22      SET_TRIS_B(0b00000000);         //Configura el puerto B
23      WHILE(TRUE)
24      {
25          IF(BIT_TEST(SW))             // Pregunta si SW esta encendido
26          {
27              CONT=0;                  //Se pone Cont en cero
28              WHILE((CONT<4)&&(BIT_TEST(SW))) //Mientras que cont sea menor a 4
29                  //y SW=1(encendido)
30                  {
31                      PORTB=(HORARIO[CONT]); //Envie al puerto B la información //de
32                                              //la tabla de horario
33                      DELAY_MS(100);        //Retardo de 100 milisegundos
34                      CONT++;              //Incremente la variable cont
35                  }
36          }
37          ELSE                          //de lo contrario
38          {
39              CONT=0;                  // la variable cont =0
40              WHILE((CONT<4)&&(!BIT_TEST(SW))) //Mientras que cont sea menor a 4
41                  //y SW=0(apagado)
42                  {
43                      PORTB=(ANTI[CONT]);   //Envie al puerto B la información de
44                                              //la tabla de antihorario
45                      DELAY_MS(100);        //Retardo de 100 milisegundos
46                      CONT++;              //Incremente la variable cont
47                  }
48          }
49      }
50  }

```

```

1  #INCLUDE <16f887.h>
2  #fuses XT,NOPROTECT,NOWDT,NOBROWNOUT,PUT,NOLVP
3  #use delay(clock=4000000,crystal)//Crystal Externo 4MHz
4  #byte PORTB=6
5  #byte PORTC=7
6  #define SW PORTC,0
7
8  INT CONT;
9  byte const HORARIO[4] = { 0b1100,
10 |                         | 0b0110,
11 |                         | 0b0011,
12 |                         | 0b1001};
13
14 byte const ANTIH[4] = { 0b1001,
15 |                       | 0b0011,
16 |                       | 0b0110,
17 |                       | 0b1100};
18

```

```

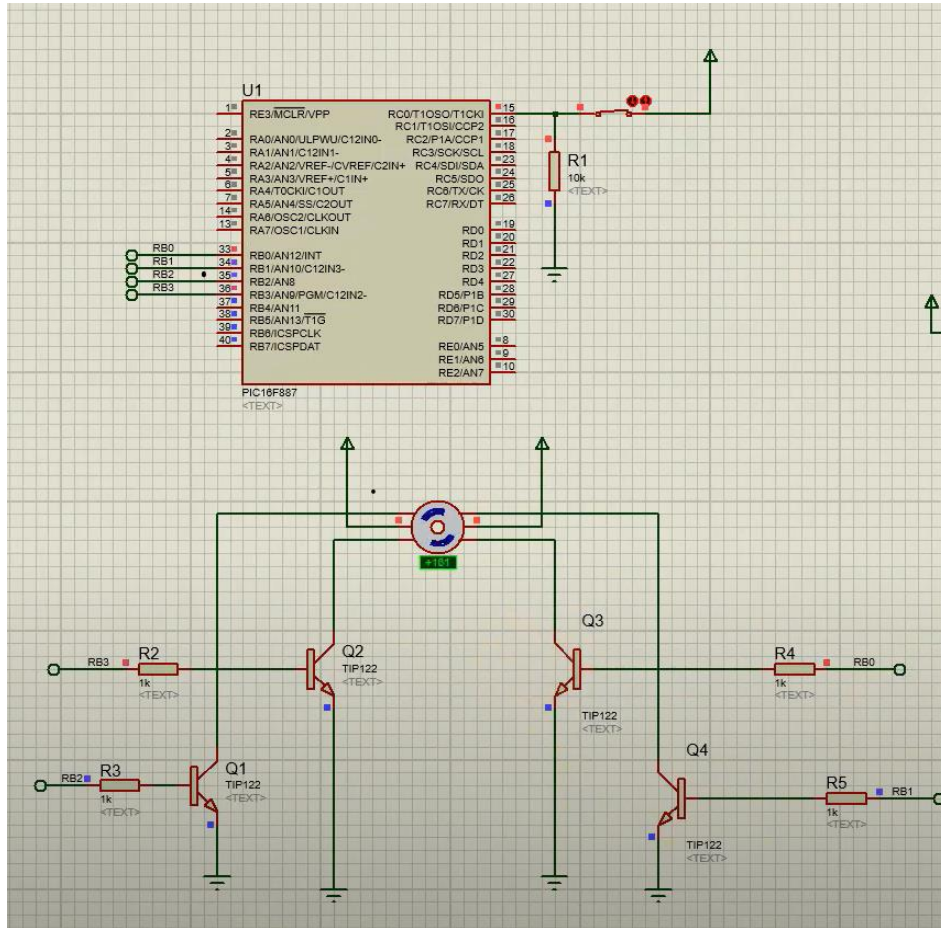
void main()
{
  SET_TRIS_C(0B11111111);           //Configura el puerto C
  SET_TRIS_B(0B00000000);           //Configura el puerto B
  WHILE(TRUE)
  {
    IF(BIT_TEST(SW))                 // Pregunta si SW esta encendido
    {
      CONT=0;                         //Se pone Cont en cero
      WHILE((CONT<4)&&(BIT_TEST(SW))) //Mientras que cont sea menor a 4
      //y SW=1(encendido)
      {
        PORTB=(HORARIO[CONT]);        //Envíe al puerto B la información //de
        //la tabla de horario
        DELAY_MS(100);                //Retardo de 100 milisegundos
        CONT++;                        //Incremente la variable cont
      }
    }
    ELSE                               //de lo contrario
    {
      CONT=0;                         // la variable cont =0
      WHILE((CONT<4)&&(!BIT_TEST(SW))) //Mientras que cont sea menor a 4
      //y SW=0(apagado)
      {
        PORTB=(ANTIH[CONT]);          //Envíe al puerto B la información de
        //la tabla de antihorario
        DELAY_MS(100);                //Retardo de 100 milisegundos
        CONT++;                        //Incremente la variable cont
      }
    }
  }
}

```

Fig. 4.8 Captura de pantalla de del entorno de desarrollo CCS Compiler



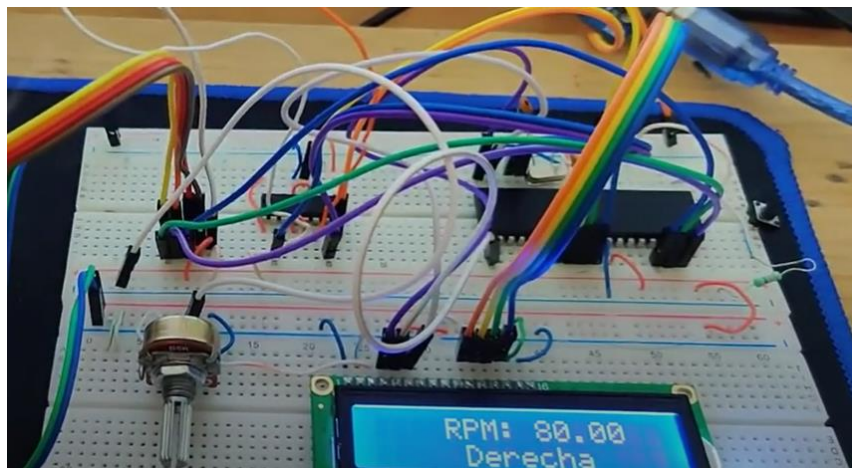
Se realizó la simulación en proteus del diseño del hardware para comprobar el funcionamiento de la programación como se muestra en la figura 4.9



**Fig. 4.9** Simulación del sistema hardware en proteus

La señal de voltaje que proviene del tacómetro es el punto inicial del sistema, donde se proporciona la señal que va hacia el microcontrolador.

El microcontrolador PIC16F877A, que es el componente principal del sistema, procesa esta señal y la convierte en bits. Luego, muestra la velocidad del motor en el display.



**Fig. 4.10** Fotografía del control de velocidad del motor.

### **Experimento 3**

De acuerdo a las características y el estudio del software se determinó que el peso máximo que puede soportar el prototipo es de 10 kg, como se muestra en la figura 4.11. Se colocaron pesos de 11 a 15 kilogramos, pero el funcionamiento

del motor ya no era el óptimo y para prevenir fallos irreversibles, se desconectó, mediante un botón de paro.



**Fig. 4.11** Fotografía del prototipo con paciente 3 años de edad y peso 10kg

### 4.3 Recopilación y análisis de datos

Las herramientas empleadas para obtener los datos que se presentan en la tabla 4.2 fueron las siguientes:

- Una báscula mecánica para medir el peso del prototipo y las cargas aplicadas
- Los resultados de los experimentos previamente descritos se registraron en la tabla 2.

**Tabla 2.** Registro de medición de parámetros

<b>Parámetro</b>	<b>Valor ideal</b>	<b>Valor registrado</b>
<b>velocidad</b>	<b>100 RPM</b>	<b>80 RPM</b>
<b>número de colisiones</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
<b>Peso máximo</b>	<b>10kg</b>	<b>8kg</b>
<b>Peso mínimo</b>	<b>0</b>	<b>1k</b>
<b>Número de estados programados</b>	<b>5</b>	<b>5</b>



## **Capítulo 5: Conclusiones y trabajo a futuro**

### **5.1 Conclusiones**

La equinoterapia es una técnica terapéutica que utiliza el caballo como herramienta para ayudar a mejorar la salud y el bienestar de las personas. Esta técnica terapéutica se basa en la interacción entre el paciente, el terapeuta y el caballo, y se enfoca en la relación entre ellos para lograr objetivos terapéuticos específicos. La equinoterapia se enfoca en mejorar la calidad de vida del paciente, mejorar la función motora, la coordinación y el equilibrio, mejorar la comunicación y la interacción social, y reducir los síntomas emocionales y conductuales negativos.

La intervención en equinoterapia se adapta a las necesidades específicas de cada paciente y se enfoca en el uso del caballo como herramienta terapéutica para ayudar al paciente a alcanzar sus objetivos terapéuticos. La evaluación y el diagnóstico son fundamentales en la equinoterapia para determinar la adecuación del paciente y el caballo, establecer objetivos terapéuticos específicos y evaluar el progreso del paciente durante el tratamiento.

La equinoterapia ha demostrado ser efectiva en el tratamiento de una amplia variedad de trastornos y problemas de salud, como problemas neurológicos, discapacidades físicas, trastornos del espectro autista, problemas emocionales y problemas de conducta. La equinoterapia también puede ayudar a mejorar la autoestima y la autoconfianza, promoviendo la sensación de bienestar.

En resumen, la equinoterapia es una técnica terapéutica innovadora que utiliza el caballo como herramienta para ayudar a mejorar la salud y el bienestar de las personas. La equinoterapia se enfoca en mejorar la calidad de vida del paciente, mejorar la función motora, la coordinación y el equilibrio, mejorar la comunicación y la interacción social, y reducir los síntomas emocionales y conductuales negativos. La intervención en equinoterapia se adapta a las necesidades específicas de cada paciente y se enfoca en el uso del caballo como herramienta terapéutica para ayudar al paciente a alcanzar sus objetivos terapéuticos. La equinoterapia ha demostrado ser efectiva en el tratamiento de una amplia variedad de trastornos y problemas de salud, como problemas neurológicos, discapacidades físicas, trastornos del espectro autista, problemas emocionales y problemas de conducta.

El campo de la Ciencias de la computación permite el desarrollo de prototipos tecnológicos de software/hardware que suponen un reto para áreas como el control, la programación, la electrónica, las matemáticas, la mecánica, entre otras. En concreto, se concluye que actualmente existen diversos prototipos de simuladores equinos basados en tecnologías neumáticas, hidráulicas, eléctricas, así como algoritmos de implementación y simulación.

Tras utilizar software como Proteus y el lenguaje de programación C, se concluyó que eran la solución perfecta para construir, visualizar y simular tanto componentes independientes como el sistema completo. La simulación es una herramienta que cambia los paradigmas y permite prevenir errores antes incluso de que se produzcan físicamente. Se pueden especificar todo tipo de valores eléctricos y comportamientos de los componentes mientras se visualiza todo el sistema como

un todo coordinado, verificando en última instancia la viabilidad del diseño propuesto.

Este proyecto supuso un reto personal, ya que requirió una amplia investigación para refrescar, reforzar y aplicar conceptos de lógica de programación. Me adentré en el uso del compilador CCS C, que es fundamental para la compilación de código C enfocado al desarrollo de hardware. Mientras creaba el prototipo de simulación equina, me encontré con varios retos, como el diseño detallado y el análisis de cada componente. A veces, incluso tuve que revisar los diseños originales. Sin embargo, estos obstáculos sólo sirvieron para mejorar mi capacidad de resolución de problemas y profundizar en mi comprensión del proyecto. En general, esta experiencia me permitió ampliar mis conocimientos y experiencia en programación y simulación electrónica.

Se alcanzaron todos y cada uno de los objetivos específicos, lo que permitió la asimilación de conocimientos y la adquisición de nuevas habilidades en investigación y autoaprendizaje. En general, la experiencia en la simulación de sistemas hardware/software ha proporcionado oportunidades de desarrollo y comunicación con diversos dispositivos que, en el futuro, podrán interpretar, procesar y diagnosticar tendencias de uso y mejoras en pacientes reales.

Sin embargo, debido a la pandemia de COVID-19 que comenzó a principios de 2020, no fue posible seguir perfeccionando y probando este trabajo con pacientes reales.



## 5.2. Trabajo a futuro

De cara al futuro, nuestro plan es seguir realizando pruebas funcionales, explorar materiales mecánicos y electrónicos novedosos y superiores y, por último, rediseñar este prototipo basándonos en los datos adquiridos de pacientes reales.

En nuestro afán por mejorar esta tecnología, nos comprometemos a realizar pruebas rigurosas para garantizar que nuestro dispositivo sea totalmente funcional. El desarrollo de proyectos de investigación busca constantemente materiales innovadores que puedan mejorar el rendimiento, la durabilidad y la fiabilidad del prototipo.

Además, nos entusiasma explorar la posibilidad de rediseñar este prototipo basándonos en los comentarios y datos que recojamos de pacientes reales. Creemos que este enfoque nos permitirá crear un dispositivo más fácil de usar y eficaz que pueda transformar la vida de las personas que más lo necesitan.

A medida que avanzamos, seguimos dedicados a superar los límites de lo posible y a crear soluciones de vanguardia que puedan marcar una diferencia real en el mundo. Con nuestro compromiso inquebrantable con la excelencia y la innovación, confiamos en poder alcanzar nuestros objetivos y aportar soluciones en el campo de la fisioterapia.



## Referencias

- [1] Rahbar, Mohammad & Salekzamani, Yaqhoub & Jahanjou, Fatemeh & Eslamian, Fariba & Niroumand, Alireza & Dolatkah, Neda. (2018). Effect of hippotherapy simulator on pain, disability and range of motion of the spinal column in subjects with mechanical low back pain: A randomized single-blind clinical trial. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*. 31. 1-10.
- [2] Lee, W., So, B.-R., Lee, Y., & Moon, C. (2018). A new robotic horseback-riding simulator for riding lessons and equine-assisted therapy. *International Journal of Advanced Robotic Systems*. <https://doi.org/10.1177/1729881418784433>
- [3] Kang, Seung-Rok & Yu, Changho & Kwon, Tae Kyu. (2012). Effect on exercise instrument of horseback riding indoor for basic fitness evaluation (ICCAS 2012). *International Conference on Control, Automation and Systems*. 1558-1561.
- [4] Eskola, Roope & Handroos, Heikki. (2013). Novel horseback riding simulator based on 6-DOF motion measurement, a motion base, and interactive control of gaits. *Advanced Robotics*. 27. 1249-1257. 10.1080/01691864.2013.824134.
- [5] Lee, Chae-Woo & Kim, Seong-Gil & Na, Sang. (2014). The Effects of Hippotherapy and a Horse Riding Simulator on the Balance of Children with Cerebral Palsy. *Journal of physical therapy science*. 26. 423-5. 10.1589/jpts.26.423.
- [6] Temcharoensuk, Peeraya & Lekskulchai, Raweewan & Akamanon, Chanut & Ritruetchai, Pattama & Sutcharitpongsa, Sureelak. (2015). Effect of horseback riding versus a dynamic and static horse riding simulator on sitting ability of children with

cerebral palsy: A randomized controlled trial. Journal of physical therapy science. 27. 273-7. 10.1589/jpts.27.273.

[7] INEGI. (s.f.). Nueva estructura económica de México: Estrategia nacional para un mejor conocimiento de la economía. Recuperado de [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvini/inegi/productos/nueva\\_estruc/702825094409.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvini/inegi/productos/nueva_estruc/702825094409.pdf)

[8] Bender, R. (2018). Hipoterapia: El caballo en la rehabilitación. Santiago, Chile: Ediciones UC.

[9] López-Roa, L. M., & Moreno-Rodríguez, E. D. (2015). Hipoterapia como técnica de habilitación y rehabilitación. Revista Universidad y Salud, 17(2), 271-279.

[10] SiCN La Ciencia es Noticia & Fundación Española para la Ciencia y Tecnología. (2011, 22 marzo). *Desarrollan un simulador equino con calor sustituto de la hipoterapia*. Agencia SINC. <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Desarrollan-un-simulador-equino-con-calor-sustituto-de-la-hipoterapia>

[11] Lee, W., So, B.-R., Lee, Y., & Moon, C. (2018). A new robotic horseback-riding simulator for riding lessons and equine-assisted therapy. International Journal of Advanced Robotic Systems. <https://doi.org/10.1177/1729881418784433>

[12] Improve Your Show Jumping. (2016, April 22). El simulador equino: No se bota, no se asusta. Improve Your Show Jumping. <https://www.improveyourshowjumping.com/single-post/2016/04/22/El-simulador-equino-no-se-bota-no-se-asusta>

[13] Equicizer. (n.d.). Key benefits. Retrieved June 26, 2024, recuperado de <https://equicizer.com/pages/key-benefits>

[14] Agencia SINC. (n.d.). Desarrollan un simulador equino con calor sustituto de la hipoterapia. Recuperado el 26 de junio de 2024, de <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Desarrollan-un-simulador-equino-con-calor-sustituto-de-la-hipoterapia>

[15] HBM. (n.d.). ¿Qué es un sensor de presión? Recuperado de <https://www.hbm.com/es/7646/que-es-un-sensor-de-presion/>

[16] Sensores de medida. (n.d.). Sensores de ángulo y rotación. Recuperado el 26 de junio de 2024, de <https://sensores-de-medida.es/medicion/sensores-y-transductores/sensores-de-angulo-y-rotacion/>

[17] Mundo del Motor. (n.d.). Sensor de temperatura. Recuperado el 26 de junio de 2024, recuperado de <https://www.mundodelmotor.net/sensor-de-temperatura/#:~:text=Podemos%20definir%20como%20sensor%20de,los%20RTD%20y%20los%20termopares.>

[18] Mendoza, G., Mario, J., Molina, J., Joel, H., Panteul, P., Miguel, A., Alvarado, R., & Cifuentes, J. (2015). Ingeniería Mecánica: Instrumentación e Ingeniería de Control.

[19] Carrillo Rosero, C. M., & Caiza Lema, L. F. (2015). Sistemas de control de lazo abierto y cerrado de voltaje para determinar el error en estado estable a diferentes pulsos de entrada en el Laboratorio de Control y Automatización de la FICM.

Universidad Técnica de Ambato. Recuperado de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/13426>

[20] Experto Animal. (n.d.). Anatomía del caballo. Recuperado el 26 de junio de 2024, de <https://www.expertoanimal.com/anatomia-del-caballo-24179.html>

[21] Viqueira, J. L. (2004). *Redes Eléctricas* (Tomo I). México: UNAM, Facultad de Ingeniería.

[22] Martín, I., Salcedo, R., & Font, R. (2011). Tema1. Flujo interno de fluidos incompresibles y compresibles. En MECÁNICA DE FLUIDOS (p. 3). Creative Commons.

[23] Autoridad Internacional de Educación. (n.d.). Sistemas hidráulicos y neumáticos: Tema 1. Recuperado el 26 de junio de 2024, de <http://cursos.aiu.edu/Sistemas%20Hidraulicas%20y%20Neumaticos/PDF/Tema%201.pdf>

[24] Sulbarán, H. (2021). Modelación de sistema eléctrico de potencia mediante software de ingeniería eléctrica. Universidad Politécnica Santiago Mariño. Recuperado de [https://www.academia.edu/80750808/TESIS\\_MODELACION\\_DE\\_SISTEMA\\_ELCTRICO\\_DE\\_POTENCIA\\_MEDIANTE\\_SOFTWARE\\_DE\\_INGENIERIA\\_ELCTRICA](https://www.academia.edu/80750808/TESIS_MODELACION_DE_SISTEMA_ELCTRICO_DE_POTENCIA_MEDIANTE_SOFTWARE_DE_INGENIERIA_ELCTRICA)

[25] Minsky, M. L. (1967). *Computation: Finite and Infinite Machines*. Prentice-Hall.

[26] Cheng, A. (2002). *Real-Time Systems-Scheduling Analysis and verification*. John Wiley & Sons, USA.