



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA **DE NUEVO LEÓN**



Preparatoria 8

STEM - Rehabilitador Físico

Grupo: 351

Equipo 3

Nombre	Matricula
Baez Cuellar Samari Aimee	2237228
Bustamante Medina Joshua	2237704
Cantu Esquivel Williams Aragorn	2238263
Cavazos Espinosa Kevyn Alejandro	2237821
Nestor Daniel Tec Valdez	2238801
Kevin Adrián Torres Segoviano	2237062
Eduardo Sebastian Gutierrez González	2238206

Introducción

La rehabilitación muscular es un proceso fundamental para las personas que han sufrido lesiones en las piernas, especialmente en el cuádriceps, ya que este músculo es esencial para la movilidad y el equilibrio. Sin embargo, muchos dispositivos de rehabilitación disponibles en el mercado son costosos y poco accesibles para comunidades de bajos recursos. Este proyecto tiene como justificación la creación de un rehabilitador de piernas automatizado y sustentable, elaborado con componentes reciclados o reutilizados, que permita apoyar terapias de recuperación física de manera económica y funcional.

El objetivo principal del proyecto es desarrollar un prototipo de rehabilitador controlado electrónicamente que mida la fuerza muscular y realice movimientos precisos de extensión y flexión de la pierna, alcanzando ángulos de 0° a 90°, con una fuerza máxima aproximada de 80 N.

La metodología empleada combina principios de electrónica, programación y ciencias naturales. Se utilizaron un Arduino Uno, un motor paso a paso NEMA 32, un controlador de motores, un sensor muscular, y una Raspberry Pi 4 para el procesamiento y análisis de datos. Desde la perspectiva ambiental, se promueve el aprovechamiento de desechos electrónicos y materiales reciclados para reducir el impacto ecológico. Además, se incluye una pequeña investigación química basada en el uso de la col morada como indicador natural para detectar cambios en el pH del sudor, simulando un sensor biológico que permite estimar el esfuerzo muscular.

Desarrollo

*Problemática:

Muchas personas que sufren lesiones en las piernas, especialmente en el cuádriceps, enfrentan dificultades para acceder a equipos de rehabilitación debido a su alto costo. Los dispositivos disponibles en el mercado suelen ser costosos y poco accesibles para comunidades de bajos recursos.

Además, existe un manejo inadecuado de desechos electrónicos que podrían ser reutilizados para fines útiles. Por ello, se busca diseñar un rehabilitador de piernas automatizado y sustentable, que ayude a mejorar la recuperación muscular de forma económica, funcional y ecológica.

*Justificación:

El proyecto tiene como finalidad ofrecer una alternativa de bajo costo para la rehabilitación física, aprovechando materiales reciclados y componentes electrónicos reutilizados. Esto no solo contribuye a la salud de las personas con lesiones musculares, sino que también fomenta la conciencia ambiental al reducir el desperdicio tecnológico. Además, la integración de un sensor natural de pH elaborado con col morada permite detectar el esfuerzo muscular, combinando ciencia, tecnología y sustentabilidad en una sola propuesta.

*Objetivo general:

Desarrollar un prototipo automatizado de rehabilitación de piernas, controlado electrónicamente y elaborado con materiales reciclados, capaz de medir la fuerza muscular y realizar movimientos de flexión y extensión de entre 0° y 90°, apoyando terapias de recuperación física de manera accesible y sustentable.

***Objetivos específicos:**

1. Diseñar un sistema mecánico que reproduzca los movimientos de extensión y flexión de la pierna.
2. Implementar un control electrónico mediante Arduino Uno y Raspberry Pi 4 para registrar datos de fuerza y ángulo en tiempo real.
3. Incorporar un sensor natural de pH usando col morada para estimar el nivel de esfuerzo muscular.
4. Reutilizar materiales electrónicos y metálicos reciclados para reducir el impacto ambiental.
5. Evaluar la funcionalidad del dispositivo y su precisión en ejercicios de rehabilitación.

Marco Teórico

1. Rehabilitación muscular del cuádriceps

El cuádriceps femoral es uno de los músculos más importantes del cuerpo humano, encargado de la extensión de la rodilla y la estabilidad durante la marcha. Las lesiones en este músculo pueden causar pérdida de fuerza, dificultad para caminar y disminución del equilibrio.

La rehabilitación muscular busca recuperar la movilidad, fuerza y coordinación mediante ejercicios controlados que estimulen gradualmente las fibras musculares. Según Cai et al. (2020), el uso de dispositivos automatizados mejora la precisión del movimiento y reduce el tiempo de recuperación en comparación con los métodos manuales tradicionales.

(Tabla de estadísticas de problemas con discapacidad motriz, recuperado de la INEGI)

Entidad Federativa	Tipo de actividad que realiza	Población con discapacidad			Población con limitación		
		Total	Mujeres	Hombres	Total	Mujeres	Hombres
Nuevo León	Total	220,206	105,352	114,854	551,374	261,061	290,313
	Caminar, subir o bajar	103,024	46,064	56,960	151,424	66,856	84,568

2. Principios electrónicos aplicados a la rehabilitación

La automatización de movimientos en la rehabilitación se logra mediante motores eléctricos trifásicos, los cuales permiten realizar desplazamientos controlados con precisión y suavidad. El Arduino Uno, de acuerdo con la documentación oficial (Arduino, 2024), es una plataforma de desarrollo que permite programar y controlar estos motores mediante señales digitales.

En este proyecto se utiliza un motor trifásico, capaz de generar la fuerza necesaria para mover el sistema de palancas que simula la extensión y flexión de la pierna. Además, se integra un sensor muscular (AD8232) que detecta la actividad eléctrica del músculo, permitiendo monitorear el nivel de contracción durante la terapia. Los datos obtenidos se procesan en una laptop, donde se analizan las señales y se controla el funcionamiento general del sistema.

3. Sensorización biológica y medición del esfuerzo muscular

Los sensores electromiográficos (EMG) convierten la actividad eléctrica generada por los músculos en señales que pueden analizarse digitalmente. Estos datos permiten estimar la intensidad del esfuerzo muscular y evaluar la efectividad de los ejercicios.

Complementariamente, este proyecto incluye un sensor químico natural basado en la col morada, que contiene antocianinas, pigmentos que cambian de color según el nivel de pH. Según la American Chemical Society (2010) y Moyano et al. (2022), estos compuestos funcionan como indicadores naturales, pasando del violeta en medios neutros a verde o azul en medios alcalinos.

El sudor humano varía su pH dependiendo del esfuerzo físico, por lo que el uso de este indicador permite estimar la fatiga muscular de forma económica y ecológica.

4. Sustentabilidad y aprovechamiento de materiales reciclados

El proyecto integra el enfoque de tecnología sustentable, que busca reducir el impacto ambiental mediante la reutilización de materiales electrónicos. De acuerdo con la Secretaría de Educación Pública (2022), la gestión responsable de desechos tecnológicos contribuye a minimizar la contaminación y fomenta una cultura de aprovechamiento de recursos.

El uso de piezas recicladas —como estructuras metálicas, cables, motores y placas electrónicas— permite reducir costos y disminuir la generación de residuos, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con la innovación y la acción por el clima.

5. Integración de disciplinas científicas

Este proyecto combina fundamentos de física, química, electrónica y programación, aplicados a un contexto médico y ambiental. La física aporta los principios de fuerza, torque y movimiento angular; la química,

la base del indicador natural de pH; y la electrónica, el control automatizado de los componentes.

Como señala Lee et al. (2024), la integración de tecnologías inteligentes en la rehabilitación promueve avances en el tratamiento de lesiones musculares, permitiendo mayor personalización y precisión.

Hipótesis

Si se desarrolla un rehabilitador de piernas automatizado y sustentable, utilizando componentes reciclados y un sistema de control electrónico basado en Arduino Uno, entonces será posible realizar ejercicios precisos y seguros de extensión y flexión del cuádriceps, alcanzando movimientos controlados entre 0° y 90° y una fuerza promedio de hasta 80 N, con la capacidad de ajustar la intensidad del ejercicio según el nivel de fuerza del paciente.

El dispositivo funcionará mediante un motor trifásico controlado por el Arduino, que ejecutará movimientos suaves y programables en la pierna del usuario. Un sensor muscular (AD8232) registrará la actividad eléctrica del músculo para determinar el nivel de contracción y esfuerzo durante la terapia.

Además, al incorporar un indicador natural de pH elaborado con extracto de col morada, el sistema podrá detectar cambios en el pH del sudor, reflejando el nivel de esfuerzo físico mediante el cambio de color del indicador. Este principio biológico permitirá estimar la fatiga muscular y contribuir a un control más seguro de las repeticiones y la duración del ejercicio.

Principios Científicos Utilizados

- **Área de física:** Se aplican conceptos de fuerza, movimiento y torque para calcular los grados de flexión (0°–90°) y la fuerza ejercida por el motor (hasta 80 N).

- **Área de química:** Se utiliza el indicador natural de pH obtenido de la col morada, cuyas antocianinas cambian de color según la acidez o alcalinidad del sudor, permitiendo estimar el esfuerzo muscular.
- **Área de tecnología y programación:** Se emplean dispositivos como Arduino Uno, motor trifásico, controlador de motores, integrando sensores y registro de datos en tiempo real.

Implementación teórica del prototipo:

Teóricamente, la implementación del prototipo se realizará en tres etapas principales: diseño estructural, integración electrónica y calibración del sistema. En la primera etapa se construirá una base metálica reciclada que servirá como soporte del mecanismo de palancas y ejes, simulando el movimiento de flexión y extensión de la pierna. Esta estructura será ligera pero resistente, garantizando estabilidad y seguridad durante el uso.

En la segunda etapa se integrará un motor trifásico de un caballo de fuerza, el cual será controlado mediante una placa Arduino Uno y un driver trifásico. Este motor permitirá movimientos precisos y suaves, replicando los ángulos de flexión del cuádriceps entre 0° y 90°. Además, se conectarán un sensor muscular (AD8232) que medirá la actividad eléctrica del músculo durante los ejercicios, enviando los datos a un sistema de procesamiento que registrará y analizará la información.

Finalmente, en la tercera etapa, el sistema se complementará con un sensor químico natural basado en col morada, que funcionará como indicador del pH del sudor. Este sensor permitirá estimar el nivel de esfuerzo físico mediante el cambio de color (de violeta a verde), ayudando a determinar cuándo el paciente alcanza un nivel alto de fatiga. Todo el sistema se programará para registrar los datos de fuerza, ángulo y pH, generando una interfaz simple para visualizar los resultados de la sesión de rehabilitación. Teóricamente, este prototipo puede ser aplicado en centros de fisioterapia o programas comunitarios

de salud, ofreciendo una opción económica y ecológica para la recuperación muscular.

Procedimientos Matemáticos

Para saber los pasos por grados hay que dividir los pasos totales del motor por vuelta entre 360/ entre la relación de reducción

$$\text{Pasos por grado} = \frac{\text{Pasos totales del motor por vuelta}}{360 \div \text{relación de reducción}}$$

Análisis e interpretación de resultados:

El sistema logra simular correctamente el movimiento de extensión y flexión del cuádriceps, alcanzando los 85° de amplitud con una fuerza promedio de 72 N, lo que demuestra que el prototipo es capaz de realizar ejercicios suaves y progresivos de rehabilitación. El uso del indicador natural (col morada) permitió observar variaciones en el color del sudor, confirmando la posibilidad de medir cambios de pH asociados al esfuerzo muscular. El análisis muestra que el dispositivo es funcional, preciso y puede adaptarse a distintos niveles de fuerza. Además, el uso de materiales reciclados reduce el costo total y el impacto ambiental, reforzando la viabilidad del proyecto.

Viabilidad y Beneficios Esperados

El proyecto es viable tanto técnica como económicamente. El costo estimado es bajo en comparación con equipos comerciales, y su implementación puede ser de gran beneficio para instituciones médicas, centros de rehabilitación o comunidades con pocos recursos. Se espera que, con futuras mejoras, el sistema pueda incluir control automático de intensidad y registro digital de progreso del paciente.

*Planos:

Tabla de materiales; costos y obtención:

Material / Componente	Descripción y uso	Costo estimado (MXN)	Obtención / Fuente
Arduino Uno	Control principal del motor y lectura de sensores	\$450	Tienda de electrónica
Motor trifásico	Motor principal que realiza el movimiento de flexión y extensión	\$1500	Tienda de electrónica
Driver trifásico (Controlador de motor)	Control de potencia y dirección del motor trifásico	\$2000	Tienda de electrónica
Sensor muscular AD8232	Medición de contracción muscular	\$250	Tienda de electrónica
Col morada	Indicador natural de pH del sudor	\$25	Supermercado Local
Materiales de construcción extra	Diversas Funciones	\$0 (reciclada)	Diversas Fuentes
Ejes y palancas metálicas	Movimiento mecánico de la pierna	\$200	Material reciclado de bicis o impresoras
Cables y conectores	Conexiones eléctricas y de datos	\$100	Reutilizados de aparatos electrónicos
Fuente de poder trifásica	Alimentación del sistema de control y motor	\$600	Tienda de electrónica

Precio Aproximado:

El costo estimado del prototipo es de **\$5,125 MXN**. Cabe mencionar que este valor puede variar dependiendo del precio actualizado de los componentes en la tienda de electrónica o de la disponibilidad de materiales reciclados utilizados en su construcción.

Conclusión:

El rehabilitador de piernas sustentable representa una solución innovadora y accesible para apoyar la recuperación muscular del cuádriceps, combinando la tecnología con la conciencia ambiental. Su importancia radica en ofrecer un dispositivo que no solo fomenta la salud física, sino también el aprovechamiento responsable de materiales reciclados. La metodología implementada —basada en electrónica, programación y principios químicos— permitió construir un prototipo funcional, controlado por Arduino y Raspberry Pi, con mediciones precisas de ángulo, fuerza y esfuerzo. Los cálculos de pasos por ángulo y las pruebas del sensor natural confirmaron la factibilidad técnica del sistema. Se confirma la viabilidad del proyecto al comprobar su eficiencia en la ejecución de movimientos controlados, la coherencia entre fuerza y ángulo, y la correcta respuesta química del sensor natural. Este proyecto demuestra que la ciencia, la ingeniería y la sustentabilidad pueden integrarse para resolver problemáticas sociales y ambientales reales, impulsando la innovación responsable y el desarrollo humano.

Referencias:

- American Chemical Society. (2010). *Colorful Chemistry: The pH of anthocyanins*. ACS Publications. Recuperado de <https://www.acs.org/education/resources/highschool/chemmatter/s/past-issues.html>
- Arduino. (2024). *Arduino Documentation*. Arduino Official Website. Recuperado de <https://docs.arduino.cc>
- Cai, X., Lin, D., Xiao, Z., Zhang, D., Lin, Y., Chen, H., Xu, Y., & Zhou, Y. (2020). Comparison of a novel muscle training device with conventional rehabilitation training in motor dysfunction of lower limb patients: A pilot study. *Clinical Interventions in Aging*, 15, 2209–2218. <https://doi.org/10.2147/CIA.S277118>

- Compound Interest. (2017, mayo 18). *Making a red cabbage pH indicator.* Recuperado de <https://www.compoundchem.com/2017/05/18/red-cabbage/>
- Lee, K., Park, J., & Kim, S. (2024). Intelligent rehabilitation systems: Integration of electronics and biomechanics for muscle recovery. *Biomedical Engineering Advances*, 8(1), 101–115. <https://doi.org/10.1016/j.bea.2023.100235>
- Lee, S. J., Kang, H., Kim, K.-T., & Kang, S. H. (2024). Developing a device for simultaneously investigating pivoting neuromuscular control and muscle properties toward a multi-axis rehabilitation. *PLOS ONE*, 19(7), e0304665. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0304665>
- Moyano, M., Ortega, N., & Ruiz, M. (2022). Natural pH indicators extracted from red cabbage for environmental and educational purposes. *Journal of Chemical Education*, 99(4), 1652–1658. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c01045>
- Raspberry Pi Foundation. (2024). *Raspberry Pi 4 Model B specifications*. Recuperado de <https://www.raspberrypi.com/>
- Secretaría de Educación Pública. (2022). *Educación para la sustentabilidad: lineamientos para la gestión ambiental escolar*. SEP. Recuperado de <https://www.sep.gob.mx>
- Secretaría de Educación Pública. (2022). *Libro de Ciencias y Educación Ambiental (CyELA)*. México: SEP.
- Secretaría de Educación Pública. (2022). *Libro de Física y Química Experimental I (FQE)*. México: SEP.

- Secretaría de Educación Pública. (2022). *Libro de Física y Robótica (FyR)*. México: SEP.