

Planteamiento del Diseño de un Emulador de Equinoterapia para la Rehabilitación de Pacientes con Parálisis Cerebral Infantil

D. Real Sánchez^{1*}, E. Méndez Palos², P. M. Gómez Rodríguez²

¹Estudiante, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México

²Profesor, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México.

*david.real2918@alumnos.udg.mx

Abstract— Nowadays, animal-assisted therapies are becoming more common in the rehabilitation field, one of the most outstanding is equine therapy or horse-assisted therapy, whose simple principles serve as an effective treatment for patients with infantile cerebral palsy conforming to various studies. Due to the conditions that are particularly necessary to maintain this type of therapy center, it tends to come at a high price, thus limiting its access to different patients. For this reason, a new alternative is presented that provides the same effects as equine therapy, designing an emulator so that this procedure is more affordable and can benefit a substantial number of people. For the outline of the prototype was realized an analysis of the equine gait to create a record and control of data, also a sketch of the electromechanical and monitoring system that will allow recreating the movements of the gait using the data collected. To corroborate the correct implementation of the therapy by checking the output variables, as well as protecting the physical integrity of the patients by verifying the limits and ranges allowed for the main blocks of the system. By comparing the operating principle on which the prototype proposal is based with the fundamentals of conventional therapy with animals, a new alternative could be composed for this procedure that would only require a study that proves its validity once developed.

Palabras clave—Equinoterapia, Parálisis Cerebral Infantil, Rehabilitación, Terapia.

I. INTRODUCCIÓN

En la búsqueda de mejores desenlaces en pacientes con Parálisis Cerebral Infantil (PCI) existe una tendencia hacia el uso de las llamadas terapias coadyuvantes, dentro de las cuales sobresale la terapia con caballos o equinoterapia, una técnica antigua que ha demostrado dar buenos resultados en la habilitación y rehabilitación de pacientes con discapacidad de origen neurológico, sobre todo a quienes presentan trastornos motores espásticos, como es el caso de la PCI espástica [1].

La palabra equinoterapia describe las terapias que utilizan el movimiento de los caballos a fin de mejorar el control postural y la movilidad [1]. La equinoterapia se basa en tres principios básicos y fundamentales: transmisión de calor corporal, transmisión de impulsos rítmicos (dorso del caballo al cuerpo del paciente) y transmisión de un patrón de

locomoción equivalente al patrón fisiológico de la marcha humana.

Transmisión de calor corporal. El valor fisioterapéutico del calor corporal radica en que la temperatura corporal de un caballo es de 37.5 – 38.5°C y puede incrementar después del movimiento hasta 41.5°C, al ser mayor que nuestra temperatura se utiliza como instrumento calorífico para distender y relajar la musculatura y ligamentos, así como para estimular la sensopercepción táctil. [2].

Transmisión de impulsos rítmicos. El valor fisioterapéutico está dado por los impulsos que transmite el caballo por medio del movimiento de su dorso al cinturón pélvico, a la columna vertebral y a los miembros inferiores del paciente [2].

Al caminar en paso se transmiten de 90 a 120 impulsos por minuto a la pelvis. El propósito de la fisioterapia consiste en proporcionar estímulos fisiológicos para regularizar el tono muscular y desarrollar el movimiento coordinado. El ritmo regular de los impulsos es sumamente importante, en especial para la regulación del tono muscular y el desarrollo de la simetría corporal [3].

Transmisión de locomoción tridimensional equivalente al fisiológico de la marcha humana. La equinoterapia ofrece el patrón fisiológico de la marcha en forma sentada, sin requerir el uso de las piernas; se podría decir que el paciente camina sentado. Esto permite trabajar con personas que carecen de la facultad de caminar, pero pese a ello, podrían desarrollar la coordinación y estabilización del tronco y de la cabeza [4].

En la actualidad ya se han realizado distintos estudios acerca de los efectos de la equinoterapia en niños con PCI, pero estos resultados tienen como fundamento únicamente la repetición del patrón preciso, rítmico y repetitivo de movimiento, similar a la marcha humana, dejando de lado los otros conceptos clave a pesar de ya se ha comprobado anteriormente de los beneficios que estos también aportan [5,6,7].

Distintas revisiones sistemáticas han analizado la evidencia existente de diversos estudios experimentales acerca de equinoterapia en el tratamiento de la PCI en los que se demuestran los efectos positivos de esta terapia en la simetría muscular del tronco y la cadera [5,8,9,10].

La equinoterapia implementada por medio de simuladores, puede ayudar a mejorar el control postural de los niños con parálisis cerebral siempre y cuando cumpla con las especificaciones requeridas para esta terapia [11].

Actualmente ya se han desarrollado distintos sistemas que permitan emular el paso del equino los cuales proclaman obtener los mismos resultados que la terapia tradicional [12,13,14], sin embargo, estos aún se basan en medidas subjetivas o el diseño implementado aún carece de los requisitos metodológicos necesarios para considerarse como válidos en la rehabilitación de la PCI, por lo que actualmente no existe el emulador definitivo que pueda afirmar como efectivo, dejando el campo abierto a la búsqueda de nuevas alternativas.

A pesar de que la equinoterapia es una de las técnicas de rehabilitación más completas, su mantenimiento no menor a ocho mil pesos mensuales, la coloca como una opción poco accesible para llevarse a cabo en organismos civiles y centros terapéuticos [15].

Por el anterior motivo, se plantea el diseño de un sistema emulador de equinoterapia como un auxiliar en el tratamiento de la PCI que pretende brindar los mismos beneficios que la terapia asistida por caballos y propone diversas ventajas con su implementación.

II. METODOLOGÍA

A. Obtención de Datos.

Para fines de este diseño se analizaron caballos entrenados específicamente en equinoterapia y que no formaran parte de otras actividades como labores de campo, transporte o carreras, ya que estos factores pueden intervenir con el paso del caballo.

Las grabaciones utilizadas en la metodología del análisis de video fueron realizadas bajo las mismas condiciones de tiempo y lugar en las que normalmente se llevaría a cabo una terapia, esto con el objetivo de garantizar que no hubiera un cambio de comportamiento en los caballos al realizar las grabaciones.

El protocolo para las grabaciones se realizó respetando los lineamientos preestablecidos para el análisis de video en cuanto las características de las cámaras utilizadas y la posición a la que se tenían que ubicar permitiendo capturar un ángulo de visión más completo y preciso que evitara las distorsiones de dimensión [16].

B. Análisis de la Marcha.

Previo a la realización del análisis se investigó el ciclo de la marcha equina para definir las fases que la constituyen y la posición en la que se deben encontrar cada una de sus extremidades por fase como se muestra en la **Error! Reference source not found.** A partir de esto se plantearon 8 fases de la marcha equina, comenzando por las fases 1 a 4 del lateral derecho seguidas de las fases 1 a 4 del lateral izquierdo pero centrandose en lateral derecho para continuar

el ciclo de las 8 fases, esto debido a que se alternan por

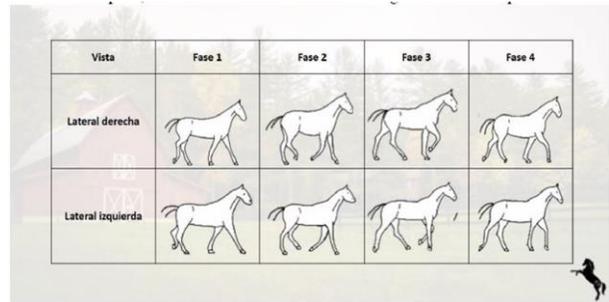


Figura 2: Fases de la marcha equina.

ciclos de 4 fases el lateral izquierdo y derecho.

Se dividieron los videos en distintos fotogramas (uno por cada fase de la marcha) de los que se obtuvieron 15 fotogramas por fase como muestra a utilizar para el análisis.

Mediante el uso de softwares como ImageJ y Kinovea, utilizando marcadores digitales colocados en los puntos articulares de las extremidades anteriores y posteriores del caballo [17], se encontraron distintas variables cinemáticas tales como las coordenadas espaciales de dichos puntos, la longitud de los segmentos corporales de las extremidades, así como los ángulos internos formados por éstas: A) falange distal-metatarso, B) metatarso-tibia, C) tibia-fémur, D) fémur-pelvis para la extremidad posterior; E) falange distal-metacarpo, F) metacarpo-radio, G) radio-húmero, H) húmero-escápula para la extremidad anterior, a lo largo de la marcha [18]. Estos ángulos sirvieron como guía para la



Figura 1: Ángulos obtenidos.

colocación de los marcadores digitales, **Error! Reference source not found.**

Posteriormente con los ángulos adquiridos que se usaron para recrear la marcha se realizó un análisis estadístico donde se obtuvo la media del ángulo de cada articulación por fase de la muestra.

C. Análisis digital de la marcha equina.

Para corroborar la correcta obtención de los vectores angulares durante el análisis de video se realizó una simulación por computadora utilizando dichos datos [19].

Por medio de MATLAB se recreó un esqueleto para representar al caballo utilizando la longitud de los de los segmentos corporales encontradas previamente de manera

que se lograra una representación más realista. Con la ayuda de los vectores angulares se calcularon las nuevas coordenadas de los puntos articulares tras el desplazamiento de estas al realizar la marcha mediante el uso de matriz de rotación aplicadas en los ejes correspondientes de movimiento, tomando en cuenta tanto los desplazamientos horizontales por la longitud del paso, como los desplazamientos verticales que sufren las extremidades a lo largo de la marcha.

Al agregar el ambiente gráfico como los ejes, títulos y guías de movimiento, además de los valores angulares de cada articulación conforme se va efectuando la marcha, se realizó una comparación cualitativa entre la simulación realizada, **Error! Reference source not found.**, y las grabaciones de la marcha. De esta forma se comprobó que la simulación cumplía como una representación apegada a la marcha equina por lo que los datos obtenidos son confiables.

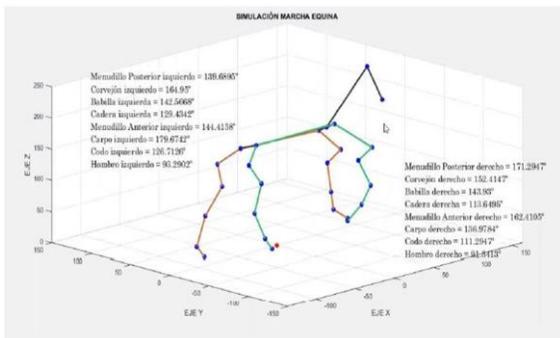


Figura 3: Análisis de la marcha equina.

D. Emulador Electromecánico.

El diagrama a bloques se dividió según los principios básicos de la equinoterapia.

Para la simulación del calor corporal transmitido por el caballo, se utilizarán placas Peltier colocadas de manera estratégica en una pieza que representaría el lomo del caballo. La temperatura óptima debe mantenerse entre los 37.5 °C-38.7 °C y se incrementarán hasta los 41.5 °C como dicta la terapia [20].

Por otro lado, la transmisión de los impulsos rítmicos se llevará a cabo emulando el paso del caballo por medio de segmentos corporales que representarán las extremidades, en las cuales, irán montados motores a pasos de imán permanente bipolares en cada una de las articulaciones, programados por un microcontrolador para moverse de acuerdo con los vectores angulares que se obtuvieron. [21].

E. Sistema de Monitoreo.

Para garantizar el funcionamiento del emulador, se busca el implementar también un sistema de monitoreo el cual, por medio de comunicación serial del puerto del microcontrolador [22], mostrará en una interfaz en Matlab la temperatura a la que se encuentran las placas durante la terapia, de esta forma si la temperatura llega a sobrepasar los

límites establecidos por medio de una etapa de potencia conectada a la placa, se activará un sistema de emergencia que indicará que la temperatura se encuentra fuera de rango y redireccionará el flujo de corriente de la placa para que entre en modo de enfriamiento hasta que la temperatura regrese nuevamente en su estado inicial.

Así mismo, en la interfaz también se mostrará los ángulos en los que se encuentra cada motor durante su fase de la marcha. Así, se comparará cada uno con los valores que se obtuvieron en los análisis de video y computadora de tal forma que, si alguno de los motores sale de los límites establecidos, podrá ser detectado inmediatamente y ser avisado al usuario evitando así posibles caídas o que la terapia no se realice de manera efectiva. El diagrama hipotético final de cómo se conformaría el prototipo se puede observar en la **Error! Reference source not found.**

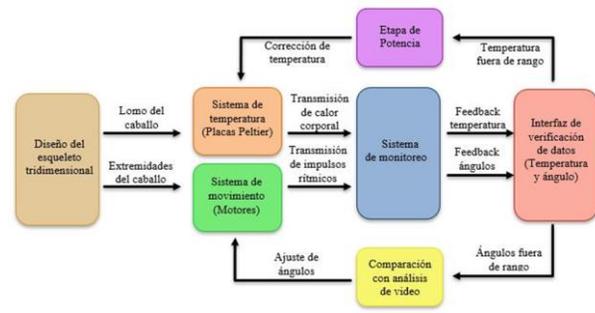


Figura 4: Diagrama a bloques del diseño sugerido.

III. RESULTADOS

Tras haberse realizado el análisis de la marcha se obtuvo la media de los valores angulares por fase en las articulaciones señaladas en la figura 2 del lateral derecho, como se puede observar en las tablas 1 y 2. Para el lateral izquierdo debido a la naturaleza de la marcha equina observada en la figura 1. Se utilizaron los mismos valores comenzando de la fase 5 a 8 seguido de las fases 1 a 4 ya que estas fases se van alternando entre ambos laterales. Dichos ángulos registrados se utilizaron para recrear la simulación de la marcha por computadora.

Tabla 1: Media de los ángulos obtenidos extremidades traseras.

Fase/Articulación	A	B	C	D
Fase 1	146.38	136.77	127.38	125.69
Fase 2	171.40	149.88	142.00	111.13
Fase 3	157.20	153.80	146.40	119.80
Fase 4	154.00	158.40	147.00	114.20
Fase 5	146.60	155.40	145.60	124.20
Fase 6	139.78	164.33	147.56	128.33
Fase 7	139.47	166.93	146.67	131.93
Fase 8	155.33	169.00	146.47	130.47

Finalmente se obtuvo una propuesta para un prototipo que sería capaz de llevar a cabo la terapia de la misma forma

que si se utilizara el caballo, pues se respetan los puntos clave que la sustentan. Además, de ser implementados como se propone en el diagrama a bloques estos podrían ser modificados en caso de alguna condición específica de un paciente.

Tabla 2: Medida de los ángulos obtenidos extremidades delanteras

Fase/Articulación	E	F	G	H
Fase 1	138.46	181.00	140.38	96.38
Fase 2	167.38	145.75	18.13	87.88
Fase 3	149.00	117.40	97.20	98.60
Fase 4	179.80	134.80	89.40	95.40
Fase 5	158.80	174.80	114.60	93.60
Fase 6	144.67	180.56	127.00	94.33
Fase 7	143.80	179.27	125.87	91.07
Fase 8	141.20	177.07	126.47	88.13

IV. DISCUSIÓN

La rentabilidad de esta propuesta que se pretende implementar radica en que no se necesitaría de instalaciones específicas, en cambio un centro de equinoterapia convencional se requiere de espacios lo suficientemente amplios donde puedan mantenerse los caballos, lo que provoca que estos centros se encuentren en ubicaciones remotas. Con la propuesta de este prototipo los centros de rehabilitación podrán ser ubicados en puntos estratégicos con mayor accesibilidad.

Esta propuesta para la aplicación de la equinoterapia se plantea como más accesible y económica sin perder los beneficios que aporta la terapia convencional.

Esta alternativa se postula como funcional en el campo de la equinoterapia, por lo que, una vez que se implemente el prototipo y se realicen las pruebas correspondientes, como lo son un análisis comparativo cuantitativo entre el caballo y el sistema propuesto, será posible establecer este diseño como un nuevo método de equinoterapia que podría beneficiar a una gran cantidad de pacientes con PCI.

V. CONCLUSIONES

La hipótesis propuesta es nueva alternativa a esta modalidad de terapia que reproduce las mismas características habituales en la equinoterapia de forma innovadora con base en sus fundamentos principales que la destacan, manteniendo en todo momento como prioridad a los pacientes.

Dicho diseño marca un parteaguas en la exploración de las terapias asistidas con animales en el campo de la rehabilitación permitiendo que llegue a un mayor número de personas que puedan aprovechar sus beneficios sin las dificultades que estás pueden llegar a tener al trabajar con animales, pero manteniendo su fundamento científico.

REFERENCIAS

- [1] V. K. Miguel Ángel P. L. Ricardo, "Utilidad de la Hipoterapia en parálisis cerebral infantil," *Revista Mexicana de Pediatría*, vol. 84, no. 4, pp. 131-133, Julio-Agosto, 2017.
- [2] Fourmantin, "Utilización de la equinoterapia como instrumento terapéutico en el tratamiento de niños con parálisis cerebral" 2012
- [3] T. K. Tuba, A. Hilmi, "What is therapy? The indications and effectiveness of hippotherapy," *Northern Clinics of Istanbul*, vol. 2, no. 3, pp. 247-252, Enero, 2016.
- [4] N. W. Cara, C. S. Jane "Therapeutic effects of horseback riding therapy on gross motor function in children with cerebral palsy: A systematic review," *Taylor and Francis online*, vol.32, no. 3, pp. 229-242, 2012.
- [5] E. L. Helga, et al, "The effect of hippotherapy on spasticity and on mental well-being of persons with spinal cord injury," *Arch phys med and rehabili*, vol. 82, no. 10, pp. 1241-1248, October, 2007.
- [6] E. L. Helga, et al, "The short-term effect of hippotherapy on spasticity in patients with spinal cord injury," *Spinal cord*, vol. 41, no. 9, pp. 502-505, 2003.
- [7] J. Albert, N. R. María, "Evaluación de la evidencia científica," *Med clin*, vol. 105, no. 19, pp. 740-3, 1995
- [8] D. Dorothee, C. Colin, G. Catherine "An exploration of german and British physiotherapist's view on the effect of hippotherapy and their measurement," *Physiotherapy teorice and practice*, vol. 21, no. 4, pp. 219-242, 2005.
- [9] S. John, "Does horseback riding therapy or therapist-directed hippotherapy rehabilitate children with cerebral palsy?," *Development medicine and child neurology*, vol. 49, no. 1, pp. 68-73, 2007.
- [10] O. L. Mario, et al, "Capsulitis adhesive de hombro: una revision sistemática," *Fisioterapia*, vol. 32, no. 5, pp. 229-235, 2010.
- [11] H. G. Pablo, "Estudio de los efectos terapéuticos de un simulador de movimiento equino en niños con parálisis cerebral infantil," Ph.D. tesis, Dept. Fisiatria y enfermeria, Univ. Zaragoza, Zaragoza., España, 2012.
- [12] M. H. Nancy, et al, "Immediate and long-term effects of hippotherapy on symmetry of adductor muscle activity and functional ability in children with spastic cerebral palsy," *Arch phys med of rehabili*, vol. 90, no. 6, pp. 966-974, 2009.
- [13] E. Davis, et al, "A randomized controlled trial of the impact of therapeutic horse riding on the quality of life, health and function of children with cerebral palsy," *Development medicine and child neurology*, vol. 51, no. 2, pp. 111-119, 2009.
- [14] R. M. Joyce, et al, "A study of therapeutic effects of horseback riding for children with cerebral palsy," *Physical and occupational therapy in pediatrics*, vol. 15, no. 1, pp. 17-34, 1995.
- [15] V. Rubí, "La equinoterapia es efectiva pero poco accesible," *Novedades Quintana Roo.*, Quintana Roo, Mexico, 2016.
- [16] G. Paul, et al, "Sport, exercise and biomechanics,," New York, (only U.S. State), New York: Taylor and Francis group, 2007 sec. F1, pp. 295-305.
- [17] A. Escobar, T. Tadich, "Caracterización biocinemática, al paso guiado a la mano, del caballo fino chilote," *Archivos de medicina veterinaria*, vol. 38, no. 1, pp. 53-61, Abbrev. 2006.
- [18] V. M. Adriana, G. G. Eduardo, P. M. Juan Carlos, "Consideraciones para el análisis de la marcha humana. Técnicas de videogrametría, electromiografía y dinamometría," *Revista ingeniería biomédica*, vol. 2, no. 3, pp. 16-26, 2008.
- [19] B. C. Leonardo, O. T. Julián Alfonso, T. V. Luis Fernando, "Análisis biomecánico de marcha humana a través de técnicas de modelaje," *Entre ciencia e ingeniería*, vol. 6, no. 12, pp. 29-35, 2012.
- [20] M. A. Gianluca, L. Vincenzo, B. Valerio, "Peltier cells as temperature control elements. Experimental characterization and

modeling,” *Applied Thermal engineering*, vol. 63, no. 1, pp. 234-245, 2014.

- [21] G. H. Baluta, M. Coteata “Precision microstepping system for bipolar stepper motor control,” *Int Aeg Conf El Mach and Pow Elec*, pp. 291-296, 2007.
- [22] D. Graciela Elisabeth, *et al*, “Mecanismos de visualización de estructuras de un sistema operativo en ejecución a través de la comunicación serial,” 2019.