

DISEÑO DE UN CAMINADOR MECÁNICO PARA ENTRENAMIENTO EQUINO

PABLO ANDRÉS LÓPEZ URIBE



INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLÍN
2024

DISEÑO DE UN CAMINADOR MECÁNICO PARA ENTRENAMIENTO EQUINO

PABLO ANDRÉS LÓPEZ URIBE

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniería Mecánica

Asesor:

MSc. VIANCY CATHERINE ISAZA ZAPATA

Institución Universitaria Pascual Bravo
Facultad de Ingeniería
Departamento de mecánica
Ingeniería Mecánica
Medellín
2024

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	5
IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	6
JUSTIFICACIÓN	6
OBJETIVOS	7
Objetivo general	7
Objetivos específicos.....	7
MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	8
BIOMECÁNICA	8
Biomecánica en los equinos.....	8
Análisis biomecánico en los equinos.....	9
Sistemas de evaluación biomecánica.....	10
Anatomía general equina	12
Anatomía del cuello del caballo.....	12
Anatomía del tronco del caballo.....	13
Anatomía de las extremidades del caballo.....	14
Músculos del caballo	14
Esqueleto del caballo	15
Nutrición y su impacto en el rendimiento y la salud equina	17
El caballo en entrenamiento	19
Necesidades de alimentación vs entrenamiento	20
Técnicas de análisis de la marcha	21
Evaluación de la condición física y el rendimiento equino.....	21
Técnicas subjetivas.....	22

Tecnología de análisis cinemático.	23
Electrogoniometría.	23
Cinematografía de alta velocidad y videografía.	24
Especialización evolutiva	27
Comparación y Síntesis.....	30
METODOLOGÍA	30
Diseño Conceptual	30
Propuestas Iniciales de Diseño y Selección de Enfoques	30
Diseño de Sistemas de Control	30
Selección de Materiales	30
RESULTADOS	31
DISEÑO CONCEPTUAL	31
PARÁMETROS GENERALES DEL CAMINADOR	33
Propuestas Iniciales de Diseño y Selección de Enfoques	36
Diseño de Sistemas de Control	37
PROPUESTA FINAL DE DISEÑO	38
Selección de materiales	40
CONCLUSIONES	41
REFERENCIAS	42

INTRODUCCIÓN

El mundo equino desempeña un papel fundamental en diversas disciplinas, desde el ámbito deportivo hasta el agropecuario, contribuyendo significativamente a la cultura y economía de las sociedades. La necesidad de optimizar el rendimiento y bienestar de los caballos ha impulsado la búsqueda de innovaciones en su entrenamiento. En este contexto, surge la necesidad de diseñar un mecanismo que permita a los estudiantes de zootecnia e interesados en la materia, aportar a los equinos una mayor eficiencia y eficacia en el entrenamiento y recuperación de estos animales.

La relación entre los humanos y los caballos ha evolucionado a lo largo de la historia, trascendiendo las fronteras del transporte y la agricultura para adentrarse en el ámbito deportivo y recreativo. En este contexto, el entrenamiento equino se erige como un pilar fundamental para potenciar la salud, resistencia y habilidades de estos animales, mejorando tanto su calidad de vida como su desempeño en diversas disciplinas. Sin embargo, la implementación de métodos efectivos y seguros para el entrenamiento equino presenta desafíos importantes en términos de recursos, lo que motiva la necesidad de explorar nuevas alternativas que vayan más allá de los métodos convencionales.

El presente proyecto, se posiciona como una respuesta innovadora a las exigencias actuales en la preparación de caballos. El enfoque en la creación de un caminador tipo carrusel responde a la necesidad de simular de manera natural el movimiento de los equinos, proporcionando un método efectivo, resistente y seguro para su entrenamiento y acondicionamiento. La importancia de esta propuesta radica no solo en la mejora de la movilidad y el comportamiento general de los caballos, sino también en la optimización del tiempo y recursos empleados por entrenadores y estudiantes de zootecnia, quienes encontrarán en este mecanismo una herramienta valiosa para alcanzar sus objetivos de manera eficiente.

La ejecución de este proyecto no solo se limita al diseño del caminador mecánico, sino que también se proyecta hacia su futura implementación en centros de entrenamiento equino y universidades, inicialmente antioqueñas y posteriormente a lo largo del país, contribuyendo así al avance y desarrollo de las prácticas equinas.

Por ello se proyecta en mejorar el rendimiento de los caballos a través de un entrenamiento efectivo y seguro. Se busca brindar a los entrenadores una herramienta que les permita trabajar con múltiples caballos a la vez, optimizando así el tiempo de entrenamiento. Además, el Caminador Mecánico tiene como propósito contribuir a la rehabilitación y prevención de lesiones en los equinos. En este trabajo se describirán las características, especificaciones, componentes y estructura del Caminador Mecánico, así como su funcionamiento y beneficios en términos de mejora del rendimiento equino, rehabilitación y optimización del tiempo de entrenamiento.

Identificación y descripción del problema

En la actualidad, el entrenamiento equino se ha convertido en una práctica esencial para mantener la salud y el rendimiento óptimo de los caballos. Uno de los componentes fundamentales de este entrenamiento es el ejercicio regular, que contribuye al desarrollo muscular, la resistencia y la mejora del rendimiento atlético de los equinos. Sin embargo, la falta de infraestructuras adecuadas y equipos especializados para el ejercicio controlado de los caballos ha llevado a la necesidad de explorar soluciones innovadoras.

Por lo anterior, esta investigación se centra para el entrenamiento equino. Actualmente, los métodos tradicionales de entrenamiento pueden resultar limitados en términos de control, eficacia y seguridad para el caballo y el entrenador. Un caminador tipo carrusel mecánico ofrece la posibilidad de proporcionar un ejercicio estructurado y controlado, permitiendo a los entrenadores monitorear y ajustar variables clave como la velocidad, la duración y la resistencia.

Justificación

El diseño de un caminador mecánico para caballos plantea desafíos técnicos y biomecánicos únicos. Se requiere una comprensión de la anatomía equina, así como consideraciones de seguridad para garantizar que el dispositivo no cause daño ni genere estrés innecesario en los animales. Además, se deben abordar cuestiones relacionadas con la durabilidad, el mantenimiento y la adaptabilidad a diferentes tamaños y niveles de condición física de los caballos. Por lo anterior, desde la visión de ingeniería mecánica genera un interés en investigar y desarrollar este tipo de dispositivos con una contribución directa al bienestar animal.

OBJETIVOS

Objetivo general

Diseñar un mecanismo de caminador tipo carrusel para el entrenamiento de caballos que permita un mejoramiento la movilidad y el comportamiento general de los equinos.

Objetivos específicos

- Identificar las necesidades específicas de entrenamiento para caballos en términos de movilidad y comportamiento, identificando las áreas clave que pueden ser mejoradas mediante el uso de un caminador tipo carrusel.
- Reconocer los tipos de caminadores de segmento carrusel, sus materiales y metodologías de diseño asociadas.
- Desarrollar un diseño técnico detallado del caminador tipo carrusel, teniendo en cuenta aspectos como la velocidad, el diámetro y la seguridad, para garantizar un entrenamiento efectivo y seguro para los caballos.

MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

BIOMECÁNICA

La biomecánica es una disciplina científica que se encarga del estudio del movimiento humano y animal, y su relación con las fuerzas que actúan sobre ellos. En el ámbito deportivo, la biomecánica se enfoca en el estudio de los movimientos y esfuerzos realizados durante la práctica deportiva, con el objetivo de mejorar el rendimiento deportivo, prevenir lesiones y desarrollar equipos deportivos más eficientes y seguros [1].

Biomecánica en los equinos

La biomecánica estudia el equilibrio del caballo en todos sus aires mediante la explicación gráfica del movimiento. El presente estudio se llevó a cabo en criaderos equinos ubicados en varias zonas del país (Antioquia, Cundinamarca, Valle, Cauca y Eje Cafetero). Se evaluaron parámetros de movimiento como los ángulos de flexión y extensión de las principales articulaciones implicadas en el apoyo y elevación de los miembros durante los cuatro andares. Los animales fueron seleccionados aleatoriamente, entre aquellos que acumularon un número significativo de puntos en exposiciones equinas avaladas por Fedequinas; 175 caballos, machos o hembras. Con el caballo en estación, se ubicaron los marcadores articulares para luego realizar el análisis de cada articulación, se grabaron videos de los caballos durante el ejercicio correspondiente [2].

Si nos imaginamos un caballo salvaje en un entorno natural con una cojera, la cojera en sí misma no sería un problema vital. Pero en una confrontación con un predador el caballo se salva gracias a su rapidez en la huida. Es el buen funcionamiento de su biomecánica que le permite esa rapidez -- se puede decir que su rapidez es el seguro de vida de un caballo salvaje.

El caballo domesticado no tiene ningún predador natural. La gran mayoría de los caballos se usan en la equitación y los deportes ecuestres, sea en el ocio, uso deportivo o cualquier exploración rentable. Los amos mantienen los caballos para disfrutar de su movilidad y potencia, en el ocio igual que en el deporte profesional. De esta manera la movilidad y los movimientos del caballo garantizan su existencia hoy en día.

En la equitación no solo pedimos rapidez a nuestros caballos sino una serie infinita de tareas mentales y físicos. El desbrave y la doma prepara la mente del caballo a la equitación y el entrenamiento y los ejercicios físicos preparan el cuerpo del caballo a la actividad física

cuando va montado. Respetando la salud mental del caballo obtendremos un equino más equilibrado emocionalmente y más seguro en la monta. Cuidando el cuerpo y la salud física del caballo no solamente aseguramos su bien estar sino además podemos prevenir lesiones, alargar su vida útil y mejorar su rendimiento. La osteopatía equina ayuda a mantener o rehabilitar el funcionamiento correcto de la biomecánica del caballo y le prepara adecuadamente para aguantar grandes esfuerzos en el deporte profesional [3] .

Análisis biomecánico en los equinos

El caballo, más allá del uso lúdico, se ha convertido en un atleta de alto rendimiento, y por tanto cada vez tienden a sufrir mayor número de lesiones en el aparato locomotor, bien sea debido a la genética, a las condiciones inadecuadas del lugar de trabajo o por un manejo incorrecto. En este sentido, encontramos entre un 53-68% de bajas en cuadras destinadas al entrenamiento de caballos de carreras, debido a cojeras, considerándose la causa más común de la disminución del rendimiento en caballos deportivos de cualquier disciplina [4].

Esto supone grandes pérdidas económicas, que hacen necesario el desarrollo de nuevas técnicas que permitan un análisis más preciso y exhaustivo de la locomoción, pudiendo aplicarlo como método preventivo o para estudio de la patología y su recuperación [5].

La revolución electrónica y la creación de tecnologías informáticas han dado la posibilidad de llevar a cabo estos análisis de la locomoción. Estas nuevas tecnologías han contribuido a hacer algunos cambios en las técnicas de diagnóstico de cojeras en el caballo, que hasta el comienzo del siglo XXI dependía en gran medida de opiniones clínicas subjetivas. Estos métodos subjetivos de la marcha han sido considerados el pilar para la detección de las cojeras clínicas, siendo realizados por un veterinario equino experimentado, donde se incluye la visualización de movimientos locales, regionales y del conjunto del cuerpo [6] [7], dando una puntuación con el uso de una escala como la escala para cojeras American Association of Equine Practitioners [8].

Varios estudios demuestran que este tipo de evaluación resulta insuficiente y a veces difícil, para la detección de caballos con cojera leve, de varios miembros, con enfermedad subclínica o cuando el observador no cuenta con la suficiente experiencia [7]. Aun contando con observadores veteranos, hay desacuerdos entre la puntuación de las cojeras, por ejemplo, cuando la cojera es leve sólo se ha observado un acuerdo del 50-60% [9].

Para superar las limitaciones inherentes de una evaluación visual subjetiva de la cojera, y ayudar a entender el movimiento del cuerpo, se han introducido análisis biomecánicos cinéticos [10] y cinemáticos en medicina veterinaria equina. En el primer caso, se investiga la causa del movimiento, que se explica a través de las fuerzas que se aplican sobre ellos, la

distribución de masa y sus dimensiones [5]; en el segundo, la cinemática, se define como la medición y estudio de las variaciones del movimiento (cambios de posición de los diferentes segmentos del cuerpo) es decir, describe el movimiento [5] [11], sin tener en cuenta la causa de este, estos movimientos son descritos cuantitativamente, con variables lineales y angulares relacionadas con el tiempo, desplazamiento, la velocidad y la aceleración [5].

Las alteraciones resultantes de las cojeras entre los miembros, así como los diferentes patrones de movimiento, han conseguido ser identificados en múltiples estudios cinemáticos, pero, las investigaciones cinéticas aún son reducidas en número. El entendimiento de los mecanismos de cambios y distribución de peso es un componente esencial para una evaluación clínica de la cojera, acentuándose cuando hablamos de animales cuadrúpedos. En ambos casos, contamos con diferentes herramientas que nos ayudan a realizar dichos estudios, cada uno con sus ventajas y desventajas, permitiéndonos hacer una evaluación objetiva que nos permita obtener medidas de referencia o discernir directamente entre animales sanos y cojos.

Sistemas de evaluación biomecánica.

Con la gran cantidad de técnicas analíticas que han surgido en los últimos años, muchos clínicos o investigadores se enfrentan al problema de tener que elegir un método que sea a la vez preciso y tener un coste razonable. El sistema ideal para el análisis del movimiento equino debería cumplir los siguientes requisitos:

- Proporcionar datos fiables y reproducibles.
- Ser lo suficientemente sensible para detectar cambios en el paso debido a la cojera.
- Ser capaz de trabajar sin tener que perder demasiado tiempo en la instalación y calibración del equipo.
- Obtener una cantidad suficiente de datos para establecer una base estadística que pueda ser utilizada con fines de comparación.
- Producir resultados rápidamente, de modo que el clínico pueda evaluar sobre el terreno.
- Producir suficientes datos para que podamos hacer un diagnóstico.

No alterar el movimiento del paciente sometido a examen. Sin embargo, hasta hoy en día, no se ha desarrollado un sistema que cumpla con todos estos requisitos. Mención aparte merece el uso complementario del treadmill o tapiz de cinta rodante, a muchas de las técnicas de análisis biomecánico que se describirán a continuación. Este instrumento ha contribuido al progreso del conocimiento en medicina del deporte, ya que proporciona la integración de datos mecánicos, bioquímicos y fisiológicos recogidos en condiciones controladas de

temperatura, humedad y carga de trabajo, todo ello en un espacio reducido de trabajo. Como ventaja adicional, permite el registro de varios pasos consecutivos. Como se ha citado anteriormente, las principales ventajas de este dispositivo son la posibilidad de colocar otros dispositivos de estudio, tanto cinéticos como cinemáticos. En los animales domésticos, esta instrumentación ha tenido múltiples usos, en pequeños animales, en concreto, en la especie canina se ha utilizado en numerosos estudios para la obtención de datos cinéticos y cinemáticos, como se cita en un artículo donde estudiaron la simetría vertical de los movimientos de la cabeza y la pelvis en perros de varias razas con cojera inducida; en esta misma línea, estos autores lo incluyeron para evaluar la cojera inducida mediante el uso de sensores inerciales.

En ambos casos, los animales tuvieron que familiarizarse con este dispositivo según pautas publicadas. En otro estudio el treadmill les ayudó a valorar las características biomecánicas de la marcha en cuatro razas de perro con diferente conformación, usando además cámaras de grabación de alta velocidad, y acoplando plataformas de fuerza bajo el treadmill. También este dispositivo ha sido utilizado en diversos estudios de caballos, como lo describen algunos autores, que usaron esta herramienta para comparar los efectos en tierra y bajo el agua en la rehabilitación de caballos con osteoartritis del carpo; otros, para la evaluación de la CSA de los tendones flexores en el ejercicio inducido con el propio treadmill, o en el estudio de la redistribución de cargas compensatorias en caballos durante la evaluación sobre este dispositivo [9]. Sin embargo, a pesar de ser una herramienta muy útil, también cuenta con algunas desventajas, pudiendo alterar en caballos, la forma de sus movimientos, además de ciertas limitaciones específicas en la evaluación de la marcha [7]. Como sucede en perros, los caballos deben ser habituados al uso del treadmill.



Figura 1. Caballo galopando en un treadmill. [4]

Anatomía general equina

La anatomía del caballo o morfología externa se divide en cabeza, cuello, tronco y extremidades.

La cabeza del caballo es la parte más expresiva de este animal. Tiene forma de pirámide cuadrangular, con base en la nuca. La posición de la cabeza con respecto al cuello debe ser de unos 90°.

En caballos de carrera la cabeza tiende a estar más horizontal, lo que facilita que el animal tome grandes bocanadas de aire a través de los orificios nasales. Los caballos de rejoneo o de tiro suelen tener la cabeza en una posición más vertical, lo que dificulta la visión. Por la posición de sus ojos, además, tienen dos puntos ciegos, uno justo detrás y otro justo enfrente.

La cabeza del caballo está dividida en varias regiones:

- **Frente o testuz:** en la parte superior de la cabeza, la frente limita con la nuca, las orejas, la ternilla y los ojos.
- **Ternilla:** es la zona alargada y rígida entre los ojos, bajo la frente y junto a los chaflanes.
- **Chaflán:** longitudinalmente junto a la ternilla, limita con el ojo y con las fosas nasales.
- **Cuencas o fosas temporales:** son dos depresiones a cada lado de la ceja.
- **Sienes:** región entre los ojos y las orejas.
- **Ojos:** separados entre sí, rodeados por la sien, la frente, el chaflán, la ternilla y los carrillos.
- **Carrillo:** parte lateral de la cabeza.
- **Barba:** comisuras de los labios.
- **Belfos:** labio inferior, engrosado y muy sensitivos.
- **Quijada:** parte lateral trasera de la mandíbula del caballo.

Anatomía del cuello del caballo

El cuello del caballo tiene forma de trapezoide, con una base más fina en su unión con la cabeza y más ancha en el tronco, aunque pueden existir variaciones según la raza. Ocurre lo

mismo con la región superior de cuello, donde se insertan las crines, puede ser recta, cóncava o convexa según la raza. Los machos suelen tener las crines más pobladas que las hembras.

A veces, el cuello puede mostrar una convexidad muy marcada cerca de la cabeza, denominándose "cuello de cisne". El cuello tiene una función muy importante en el equilibrio y actividad del caballo, según su posición con respecto a la cabeza.

Anatomía del tronco del caballo

El tronco del caballo es la región más grande de su cuerpo. Según su genética y raza, la forma y corpulencia del tronco variará, dotando al caballo de unas cualidades u otras. El tronco se divide en:

- **Cruz:** es una 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.
- **Cola:** es una región apendicular, cubierta de crines. Les sirve para comunicarse y espantar insectos molestos.
- **Anca:** junto a los lados de la grupa, sobre los muslos.
- **Pecho:** 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.

Anatomía de las extremidades del caballo

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:

- Espalda: limita con el cuello, con el costado y con la Cruz. Es una región musculosa.
- 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 piel antes del casco. Tiene un ángulo de 45° con respecto al suelo.

Las extremidades posteriores o patas traseras del caballo tienen regiones distintas a las delanteras desde la caña hacia arriba, después de la caña, las zonas son las mismas. Las regiones diferentes son:

- Muslo: zona musculosa que limita con el flanco, la babilla y el anca.
- Babilla: aquí encontramos la rodilla verdadera. Donde se une el fémur con la tibia, a través de la rótula.
- Pierna: entre la babilla y el corvejón.
- Corvejón: es la región entre la pierna y la caña. Es una zona importante porque soporta el esfuerzo de tracción o el impulso durante el trote.

Músculos del caballo

Siguiendo con la anatomía del caballo hablaremos de la musculatura del caballo. Como en el resto de animales, es, junto a los huesos, ligamentos y tendones, lo que permite al animal moverse. La musculatura está formada por músculo liso, que es el que recubre el tubo

digestivo o vísceras, músculo estriado, que son los músculos motores que pueden moverse voluntariamente y el músculo cardíaco, del que está formado el corazón.

El caballo tiene alrededor de 500 músculos en su cuerpo. Sólo en las orejas tienen 16 músculos. La región de la cabeza es muy importante, ya que es la zona por la que el caballo recibe la mayor parte de la información de su medio, además de transmitirla. Forma parte del lenguaje de los caballos. Todos los músculos que un caballo tienen en la cabeza les sirven para gesticular, mover los ojos, masticar, agarrar objetos o comida con los belfos, etc.

Por otro lado, la región de la caña apenas presenta musculatura, en su lugar tienen ocho tendones y un ligamento. Lesiones en esta región pueden producir cojeras que requerirán meses de rehabilitación.

Esqueleto del caballo

Los caballos tienen aproximadamente unos 205 huesos. De todos ellos, 46 de estos huesos corresponden a las vértebras, 7 cervicales (cuello), 18 torácicas (tórax), 6 lumbares y 15 caudales. La primera vértebra cervical es conocida como atlas. Esta vértebra se une al cráneo y corresponde con la nuca del caballo. La segunda vértebra es llamada axis, está articulada con la primera vértebra y permite al caballo mover la cabeza lateralmente.

Las vértebras torácicas son muy superficiales y, al ser donde se coloca la montura, tiene tendencia a sufrir ciertas patologías, al igual que las vértebras lumbares, donde está la grupa del caballo. Las vértebras caudales corresponden a la cola.

Los caballos tienen 36 costillas, 18 a cada lado. El esternón está formado por un hueso y el cráneo por 34, incluyendo los huesecillos del oído medio.

Los miembros torácicos y pelvianos están formados por 40 huesos cada conjunto aproximadamente. A diferencia de otras especies animales, los caballos no poseen clavículas, por lo que el miembro delantero se une directamente a las escápulas (huesos de la espalda) mediante músculos, tendones y ligamentos.

Un miembro torácico está formado por los siguientes huesos: escápula, húmero, cúbito y radio, carpo (correspondiéndose con la "rodilla delantera" del caballo, que es en realidad el hueso de la muñeca), metacarpo, primera falange, segunda falange y tejuelo (interior del casco). Los caballos, como animales ungulados perisodáctilos que son se apoyan sobre un solo dedo.

Cada miembro pelviano está compuesto por los huesos de la pelvis y la extremidad. Los huesos de la pelvis son isquion e íleon. Los huesos de la pata trasera son fémur, rótula, tibia, huesos tarsianos (tobillo), metatarsiano, sesamoideo, primera falange, segunda falange, hueso navicular y tercera falange.

Biomecánica de la locomoción equina

La articulación del tarso es uno de los componentes anatómicos con más repercusiones clínicas en la especie equina debido, sobre todo a su extrema complejidad. En ella confluyen componentes osteoarticulares, tendinoso-musculares y ligamentosos.

El talo tiene un amplio cuerpo que apoya en el hueso central del tarso por medio de su cara articular navicular, así como en el calcáneo con sus caras articulares calcáneas; medialmente encontramos un tubérculo para inserción del ligamento colateral; lateralmente también cuenta con una fosa rugosa para inserción del ligamento colateral lateral. Dorsalmente se desarrolla una gran tróclea, con dos crestas oblicuas que articulan proximalmente con la cóclea de la tibia, formando la articulación tarsocrural. El calcáneo es el hueso con mayor volumen de la articulación del tarso. En la superficie medial presenta una prolongación denominada sustentáculo talar, proyectada medialmente, la cual forma entre su cara plantar y medial un surco para el tendón flexor profundo. La superficie medial también presenta una prominencia para la inserción del ligamento colateral medial; encontrando en la cara lateral otra prominencia para el ligamento colateral lateral. Entre las caras articulares talar, de contacto con las correspondientes calcáneas del tarso, encontramos el seno del tarso, lugar de paso de los vasos tarsianos perforantes; este seno comunica dorsal y plantarmente con el canal del tarso, entre los huesos central y cuarto tarsiano. La marcada apófisis coracoidea establece otro punto de apoyo de la articulación talocalcánea, con superficies rugosas lateralmente para inserción ligamentosa. La tuberosidad del calcáneo está bien desarrollada y se prolonga ligeramente en sentido proximal, presentando además dos tubérculos para inserción de los tendones que integran el tendón calcáneo común. Distalmente articula con el cuarto tarsiano.

Entre los componentes de la fila distal, por un lado, encontramos tres huesos aplanados en el espacio talo-metatarsiano, que son el hueso central del tarso y más distal los huesos terceros tarsiano y el primero + segundo fusionados. El hueso central del tarso proporciona proximalmente apoyo articular al cuerpo del talo, distalmente articula con el primero + segundo (fusionados) y tercer hueso tarsiano, lateralmente articula con el cuarto hueso tarsiano. Respecto al primer + segundo huesos tarsianos, ocupan la cara medial y distal del tarso, articulando proximalmente con el hueso central del tarso, lateralmente con el tercer hueso del tarso y distalmente con el II y III metatarsiano, encontrando en su superficie medial un punto de inserción para el ligamento colateral medial.

El tercer hueso tarsiano articula proximalmente con el central del tarso, distalmente con el III metatarsiano, medialmente con el primero + segundo, y lateramente con el cuarto tarsiano. Por último, el hueso cuarto tarsiano, ocupando el espacio calcáneo-metatarsiano, articulando proximalmente con el cuerpo del calcáneo, y talo, distalmente con las bases de los metatarsianos III y IV y medialmente con el central del tarso y tercer tarsiano. Encontramos además una tuberosidad plantar, que da inserción al ligamento plantar largo.

Las articulaciones del tarso podríamos dividir las en:

- a) Articulación tarsocrural.
- b) Articulación intertarsiana proximal (talocalcaneocentral y calcaneocuartal).
- c) Articulación intertarsiana distal (centrodistal).

En cuanto a los ligamentos del tarso, debemos decir que su función es la de establecer vínculos entre los huesos de la articulación, dirigir los movimientos articulares y dar estabilidad a la articulación. Podemos decir que son varios los que rodean a la articulación del corvejón, encontrando un ligamento colateral largo y tres ligamentos (porciones) colaterales cortos que sirven como elementos de unión y agentes estabilizadores a cada lado del tarso del caballo. Ciertos autores citan la existencia de solo dos porciones formando los ligamentos colaterales cortos, diferenciando una porción superficial y otra profunda; incluso, algunas bibliografías lo mencionan como un único ligamento colateral corto, sin presentar divisiones. Además de estos ligamentos colaterales encontramos un ligamento plantar largo, un ligamento tarsiano dorsal y otros más pequeños que conectan los huesos del tarso y con conexiones entre el tarso y los huesos metatarsianos.

El ligamento plantar largo es fuerte y plano, originado en la superficie plantar del calcáneo extendiéndose y uniéndose al cuarto tarsiano, además de al cuarto metatarsiano

- (a) El ligamento tarsiano dorsal se abre hacia distal desde la tuberosidad distal del talo para adherirse a los huesos central y tercero tarsiano y los bordes proximales del segundo y tercero metatarsianos. En cuanto a su inserción algunos autores no contemplan la descrita anteriormente en el segundo metatarsiano, localizándola en su lugar en el cuarto metatarsiano

Como ya se ha mencionado anteriormente, la articulación tarsocrural es el componente principal de la articulación tarsiana, y donde se desarrollan los movimientos de flexión y extensión. Así, los ligamentos colaterales largos limitan la hiperextensión y los ligamentos colaterales cortos se tensan durante la flexión, siendo esta última muy amplia, pudiendo realizarse hiperflexión solo si también se encuentra flexionada la articulación femorotibiorrotuliana debido a la acción del aparato recíproco rodilla-tarso. En el caballo adquieren gran importancia los tendones flexores digitales y el ligamento suspensor, situados en la cara plantar distal de la extremidad equina capaces de soportar las articulaciones más distales del pie equino.

Nutrición y su impacto en el rendimiento y la salud equina

La alimentación del caballo, sobre todo en aquellos destinados a actividades deportivas o de ocio, se ha realizado tradicionalmente de forma bastante cerrada, debido, en gran parte, al

desconocimiento de las necesidades de los animales. La creciente afición a este tipo de actividades ha llevado a los profesionales a estudiar este tema.

Los rendimientos de un caballo están condicionados por muchos factores: genéticos, sanitarios, de manejo y nutricionales. La alimentación durante el período de crecimiento es muy importante para obtener el máximo rendimiento del animal. Una buena crianza permite un adecuado desarrollo del potro, evitando deficiencias que luego condicionarán su aptitud a las actividades que se le tengan destinadas. En esta etapa de su vida, tampoco es recomendable una sobrealimentación, pues puede llevar a un sobrepeso del animal que, al no haber terminado su crecimiento, repercute en su esqueleto y resistencia al esfuerzo. Una restricción moderada se supera gracias al crecimiento compensatorio de fases posteriores; sin embargo, si ésta es muy fuerte, ocasiona retrasos en el crecimiento a veces irrecuperables.

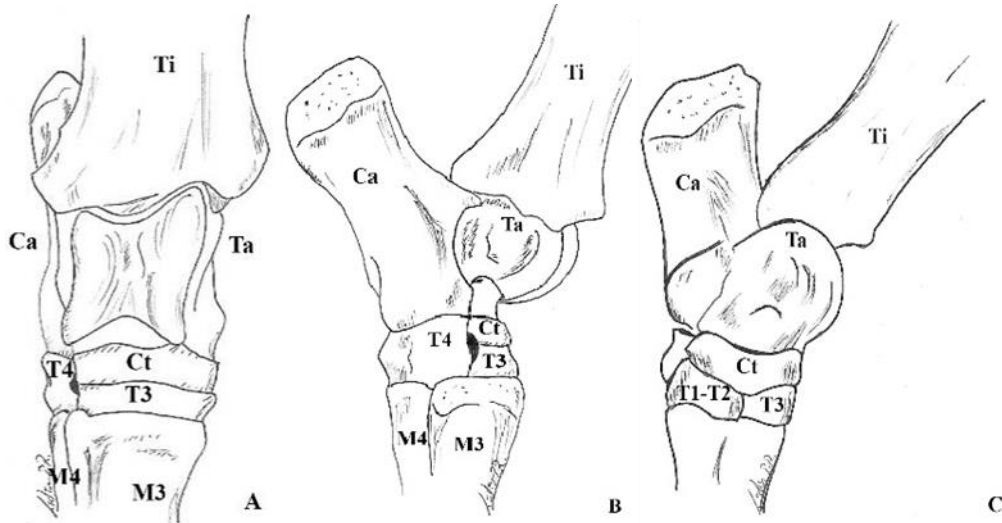


Figura 2. Tarsianos [4]

En el caso de los reproductores, la alimentación también supone un aspecto fundamental. Los caballos son considerados, en general, como animales poco fértiles (se dice que hacen falta dos yeguas para obtener un potro al año). Aunque esta afirmación está, en parte, justificada, mediante una alimentación y un manejo adecuados de los reproductores pueden mejorarse los índices reproductivos, como ocurre con todas las explotaciones zootécnicas. Los problemas más frecuentes suelen deberse a estados carenciales, aunque animales demasiados engrasados también presentan problemas de fertilidad. Parece importante, por tanto, mantener el ganado en buen estado corporal, permitiendo unas variaciones del peso vivo en ciertos momentos de su ciclo productivo, pero evitando que pasen ciertos límites que posteriormente puedan comprometer sus rendimientos productivos.

El caballo en entrenamiento

El caballo en entrenamiento es un animal que desarrolla un trabajo, lo que supone un consumo de energía. Para realizar este trabajo, hacen falta unas reservas energéticas. Según Pagan (1992) las reservas de un caballo de 500 kg están constituidas por triglicéridos de los tejidos adiposos (40000 g) y muscular (1400-2800 g) y el glucógeno del tejido muscular (3150-4000 g) y hepático (90-220 g).

La obtención de esta energía se realiza por la oxidación del ATP, elemento escaso y que hay que regenerar rápidamente. Existen dos vías de obtención de ATP, la fosforilación oxidativa, donde intervienen lípidos e hidratos de carbono en presencia de oxígeno, y el glicolisis, donde se hidroliza el glucógeno y de la glucosa se obtiene ácido láctico por vía anaeróbica. En general, se acepta que los animales que realizan esfuerzos cortos pero muy intensos obtienen energía por glicolisis, mientras que los que hacen pruebas de resistencia trabajan por fosforilación oxidativa. La razón de esto se ha buscado en el tipo de fibras musculares que actúan y en que el glicolisis, aunque menos eficaz, es un sistema más rápido para la obtención de ATP que la oxidación de los lípidos. El primer tipo de esfuerzos produce acumulación de ácido láctico en el músculo, disminuyendo el pH y produciendo fatiga. En el segundo caso, ésta se produce por agotamiento de las reservas de glucógeno.

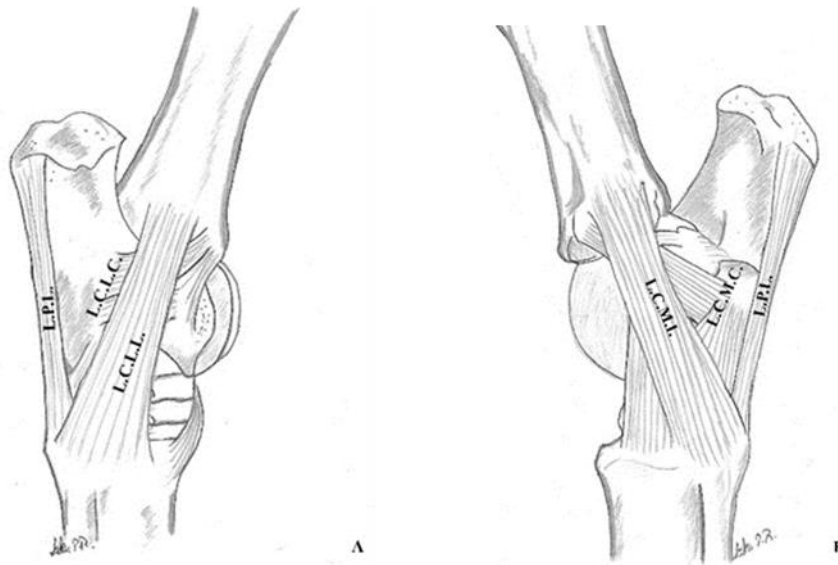


Figura 2. Diagrama ligamentos equinos [4]

Necesidades de alimentación vs entrenamiento

Como es de suponer, el trabajo supone un gasto variable, pero importante, de energía. Las necesidades energéticas aumentan a medida que la intensidad del trabajo se eleva. Así, INRA ha estimado el coste del trabajo en 0,2-0,5 UFC/h para un esfuerzo ligero, coste que se incrementa hasta 1,5-2,0 en trabajo medio y 2,5-3,0 si éste es intenso. Sin embargo, estas necesidades no solo dependen de la intensidad (velocidad y tiempo). Otros factores influyen, tales como el terreno y su pendiente, el peso del animal, el nivel de entrenamiento, la habilidad del jinete, las condiciones ambientales (humedad y temperatura), etc.

Las necesidades proteicas no se ven modificadas con el trabajo respecto a las de mantenimiento, cuando se refieren a la concentración energética de la dieta. El aumento de la densidad energética de la dieta cuando se realiza un trabajo, suele verse acompañado de un mayor nivel de proteína. De hecho, conviene vigilar excesos importantes de proteína que pueden perjudicar los rendimientos del animal.

Las necesidades de minerales se ven poco afectadas, salvo el caso del sodio y en ocasiones, el calcio y el magnesio. Durante el trabajo se pierde sodio en cantidades importantes por el sudor, por lo que es conveniente vigilar el aporte de este elemento. Las necesidades en calcio y magnesio pueden verse modificadas de forma indirecta al aumentar el esfuerzo, la dieta se concentra (más cereales) pudiendo darse un exceso de fósforo que compita con la absorción de los cationes.

Algunos oligoelementos (hierro, cobre, cinc, selenio) y vitaminas son necesarios reforzar cuando se alimenta a animales atletas. Las alteraciones de la marcha en el caballo son comunes en la práctica de la medicina veterinaria equina y sus causas son variadas, teniendo un efecto negativo considerable sobre el rendimiento del caballo y la capacidad de éste para participar en los entrenamientos y las competiciones, causando grandes pérdidas de tiempo y dinero. Estas alteraciones se manifiestan en forma de cojeras, asimetrías, incoordinación o ataxia, y también en grado variable, pudiendo ser imperceptibles y no poder ser diagnosticadas a través del examen clínico de rutina. Los médicos veterinarios dedicados a equinos se enfrentan a un gran desafío cuando deben identificar y diagnosticar una de estas alteraciones, debiendo hacerlo de manera temprana, rápida y precisa para disminuir las pérdidas ya mencionadas, y para ello cuentan con diversas técnicas de análisis de la marcha. Estas técnicas varían en precisión y confiabilidad, de acuerdo a la experiencia y los conocimientos del clínico, y a la técnica utilizada, dándole un carácter subjetivo u objetivo al resultado obtenido. Las técnicas subjetivas de análisis de la marcha se basan en el examen clínico tradicional mediante la percepción visual y la observación. Las técnicas objetivas se fundamentan en el análisis del movimiento a través del estudio biomecánico de la locomoción, utilizando para ello equipos que cuantifican las fuerzas que interactúan y la aceleración producida sobre un cuerpo. Las bondades y la utilidad de cada una de las técnicas

son conocidas, así como sus desventajas, por lo que su uso es opcional, según las posibilidades y necesidades que tengan el veterinario y el caballo. Razones éstas que destacan la importancia del conocimiento por parte del médico veterinario sobre las técnicas de análisis de la marcha del caballo y su aplicabilidad

Técnicas de análisis de la marcha

Son muchos los factores que pueden modificar el esquema general de la marcha, extrínsecos e intrínsecos, fisiológicos o patológicos, físicos o psíquicos, y las modificaciones que producen en el patrón de marcha pueden ser transitorias o permanentes. Es por ello que su estudio ha interesado desde tiempos remotos y los métodos para su evaluación han mejorado, perfeccionando y simplificando las técnicas para su análisis, desarrollándose nuevos métodos, los cuales permiten, entre otras cosas, valorar los distintos parámetros de la marcha de forma objetiva y eficaz, apreciar los factores que pueden modificarla, diagnosticar alteraciones del patrón de la marcha en diversas patologías y lesiones traumáticas, realizar el control y seguimiento de los pacientes para observar la evolución de los mismos, y valorar la efectividad del tratamiento y la recuperación tras una intervención quirúrgica. Además, en los caballos el análisis de la marcha también se utiliza en los procesos de selección y entrenamiento de los equinos, a fin de determinar las características de las variables de la zancada, relacionadas éstas con el rendimiento y la capacidad del ejemplar para un determinado deporte ecuestre, así como para establecer el patrón de la marcha de las diferentes razas equinas. En este sentido, existen diferentes técnicas para el análisis del patrón de la marcha, las cuales se han clasificado de acuerdo a la interpretación de los resultados obtenidos en subjetivas y objetivas.

Evaluación de la condición física y el rendimiento equino

La evaluación del rendimiento de los caballos deportivos es cada vez más importante dentro de la medicina veterinaria. Si bien los caballos de carreras han sido el objeto principal de investigación durante muchos años, este tipo de estudio está cada vez más extendido y solicitado por los propietarios dentro de todas las modalidades de deportes de competición equina introduciendo pequeñas variantes. El rendimiento atlético resulta de la coordinación y funcionamiento adecuado de la mayoría de los sistemas del organismo, principalmente el cardiovascular, hematológico, respiratorio y músculo-esquelético; La función óptima de las rutas metabólicas que proporcionan energía para generar fuerza muscular durante el ejercicio depende de la interacción compleja de esos sistemas corporales. Además, el rendimiento máximo requiere que esos sistemas trabajen muy cerca de sus límites fisiológicos. Cualquier anomalía que afecte a esos aparatos puede resultar en una disminución del rendimiento atlético, pudiendo aparecer varias alteraciones a la vez; De hecho, muchos autores coinciden en que la etiología del descenso de rendimiento deportivo en la mayoría de los casos es multifactorial. Debemos tener en cuenta que un porcentaje alto de los caballos que nos

presentan para examen van a presentar muy pocos hallazgos anormales en la exploración, o incluso ninguno. Otros casos pueden presentar anomalías en el examen físico o en algunos tests diagnósticos, pero puede resultar complicado demostrar que son esas alteraciones las que están causando el descenso en el rendimiento del animal. En cualquier caso, llegar a un diagnóstico definitivo preciso, puede ser extremadamente dificultoso, añadido el hecho de que en bastantes ocasiones los problemas pueden presentarse solamente en el trabajo a altas velocidades. En el campo, la evaluación básica va a empezar por la obtención de una historia clínica precisa, la realización de un examen físico general y clínico detallado, examen de cojera completo, la evaluación clínico-patológica de muestras biológicas y la exploración individual de los sistemas en reposo. Después vamos a considerar el uso de técnicas y métodos diagnósticos complementarios y tests de ejercicio de campo. Además de los análisis laboratoriales, radiología, ecografía, gammagrafía, resonancia magnética etc., tenemos procedimientos modernos cada vez más a nuestro alcance o presentes en los centros de referencia, como son, por citar algunos, el uso de la cinta rodante de alta velocidad (treadmill), la video endoscopia dinámica, la electrocardiografía telemétrica del ejercicio y la ecocardiografía de estrés, que añaden una nueva dimensión al estudio el descenso del rendimiento deportivo.

Técnicas subjetivas

La evaluación subjetiva del caballo en movimiento ha sido el estándar en la práctica de la detección y evaluación de las cojeras en el caballo, y las técnicas para esta evaluación subjetiva, son aprendidas en la escuela de veterinaria y posteriormente son desarrolladas mediante la transferencia de conocimientos entre colegas, los textos de medicina veterinaria y por la experiencia. Tradicionalmente, la evaluación e identificación de las cojeras se basa en un procedimiento que consiste en primer lugar en la observación de los movimientos asimétricos de las extremidades o del cuerpo, asociándolo con la marcha simétrica normal (trote y ambladura) del animal. En segundo lugar la localización de la fuente de la cojera, lo cual se logra acentuando la severidad de ésta mediante la manipulación física (ej. test de flexión y extensión articular) y la insensibilización (bloqueos anestésicos diagnósticos y anestesia intraarticular) y finalmente, en determinar la naturaleza de la lesión o lesiones que podrían estar causando la cojera, para ello se utilizan técnicas complementarias de diagnóstico, tales como radiología convencional y digital, ultrasonografía diagnóstica, scintigrafía nuclear, resonancia magnética, tomografía axial computarizada y artroscopia diagnóstica; y una vez evaluada la anomalía de la marcha y/o la cojera, ésta se califica según un sistema de calificación clínica basado en una escala numérica oficial e internacionalmente aceptada por la Asociación Americana de Practicantes Equinos (siglas en inglés: AAEP), que es expresada en grados de acuerdo con las alteraciones observadas, desde 0 grados (sin anomalías observadas) hasta 5 grados (alteración o cojera severa). Es importante resaltar que

para llevar a cabo estos procedimientos e interpretar los resultados obtenidos, el médico veterinario requiere conocimientos detallados de anatomía y comprender la cinemática de los movimientos del animal, así como conocer los diseños geométricos del cuerpo y las fuerzas resultantes. En este sentido, se ha demostrado que el análisis subjetivo presenta fallas en vista de que no parece haber un alto grado de concordancia entre los clínicos observadores al momento de evaluar los caballos de manera individual, y principalmente entre los clínicos menos experimentados y en forma general, al evaluar las extremidades posteriores; pudiéndose decir que este tipo de análisis de la marcha, basado en el juicio de un observador, lleva todos los riesgos inherentes a la subjetividad. Adicionalmente, en algunos casos la ubicación anatómica de la cojera no permite que ésta sea localizada a través de los abordajes convencionales, así como en los casos de cojeras subclínicas, cojeras que solo son evidentes en marchas rápidas o cojeras que resultan de lesiones con múltiples localizaciones, obteniéndose resultados poco óptimos mediante el uso de los métodos convencionales para el diagnóstico de cojeras; aunado a esto, la evaluación clínica de las irregularidades sutiles de la marcha en el caballo y su interpretación, son a menudo delicadas o complejas, conllevando inclusive a desacuerdos entre los clínicos más calificados, determinándose que en los caballos con una claudicación leve, la evaluación subjetiva de la cojera no es muy confiable.

Tecnología de análisis cinemático.

Gracias a los avances tecnológicos, hoy en día contamos con varias herramientas que nos permiten realizar análisis cinemáticos cada vez más precisos. En este capítulo describiremos los dispositivos más utilizados en la clínica equina.

Electrogoniometría.

La electrogoniometría es un método para medir las variaciones angulares de las articulaciones durante la locomoción. Ha sido usada en múltiples estudios en humana, también encontramos estudios en pequeños animales y en caballos. El aparato consta de un potenciómetro conectado a dos varillas que puede girar con respecto a un eje. Las barras se fijan mediante cintas de forma que el centro del aparato, donde se encuentra el potenciómetro, esté sobre el centro de rotación de la articulación. Este método proporciona un indicador cualitativo y cuantitativo del movimiento de la articulación como la velocidad angular y la aceleración. La mayor dificultad que presenta esta técnica es la localización precisa de los ejes de rotación de las articulaciones; además, el número de articulaciones accesibles para la colocación del dispositivo es bastante baja.

Cinematografía de alta velocidad y videografía.

El uso de técnicas cinematográficas es, hoy en día, el método más utilizado para el análisis cinemático del movimiento del caballo, como se puede ver en múltiples estudios, que han usado esta tecnología. Como se ha citado anteriormente, por motivos prácticos y logísticos, la mayor parte de los estudios biomecánicos del movimiento equino viene realizada con la ayuda del treadmill. Los datos puramente mecánicos más importantes que se pueden obtener parten de la medición de las velocidades angulares y de las variaciones de los ángulos articulares, llegando incluso a calcular las modificaciones en el centro de gravedad del animal. Además, también se pueden obtener datos lineares como la amplitud del tranco, así como otros de tipo temporal como la duración de las distintas fases del tranco. Los métodos principales para la adquisición de datos relativos a los ángulos de flexión y extensión consisten en la aposición de marcadores visuales compuestos de pequeños puntos blancos o semiesferas que reflejan la luz y se pegan a la piel en ubicaciones anatómicas específicas (centros de rotación). Dado que la piel se mueve durante el movimiento normal del caballo, se pueden generar algunos artefactos, sobre todo cuando los marcadores se colocan en las articulaciones más proximales del caballo entre las metodologías cinemáticas y cinéticas, se encuentra la denominada Dinámica inversa, la cual ha sido aplicada en las especies canina y equina.

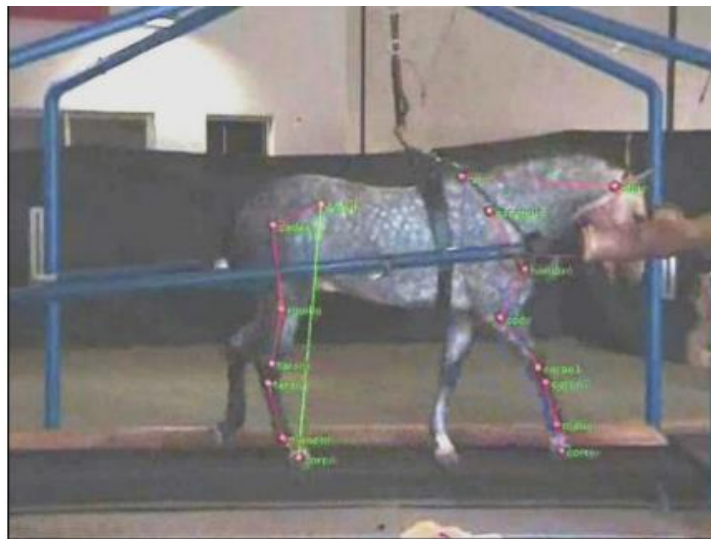


Figura 4. Videografía de alta velocidad en un caballo al paso sobre un treadmill.

[4]

Ésta combina técnicas cinemáticas, morfométricas, así como datos cinéticos (fuerza) en modelos segmentales del cuerpo, incluido los miembros. De este modo, se puede obtener

información sobre los momentos netos en los territorios articulares en 2 o 3 dimensiones, así como patrones de la carga, momentos de inercia, y de fuerza, que se puede definir como la fuerza aplicada a la articulación que produce movimiento (flexión o extensión) efectivo. Estos parámetros y patrones son muy similares en los humanos, y tienen gran tendencia a ser homogéneos en aquellos pacientes con patologías neuromusculares. Si el individuo se evalúa a diferentes velocidades, solo las amplitudes son modificadas. Sin embargo, estas variables se han determinado muy diferentes en cuadrúpedos, cuando lo que se comparan son razas diferentes especialmente en los periodos críticos como el apoyo, despegue, o fase de vuelo. Por ejemplo, cuando se compararon perros de razas golden retriever y greyhounds se encontraron considerables diferencias en los momentos y patrones de fuerza en las articulaciones de la rodilla el tarso y metatarso falangiana. La cinética nos permite estudiar las causas del movimiento, a través de las fuerzas aplicadas para que éste se produzca. En este punto adquieren gran importancia el análisis de las fuerzas de reacción del suelo (GRF), que nos permitirá calcular el centro de presión (COP); por ello, es importante antes de comenzar a describir las herramientas que nos permiten obtener estos parámetros, clarificarlos:

1. El Centro de masas (COM) o, por simplificación del concepto, centro de gravedad (CG) se define como el sumatorio de las trayectorias de todos los segmentos que componen el cuerpo en ambos planos (antero/posterior o cráneo/caudal en cuadrúpedos; y latero/medial). Por tanto, la señal del COM expresa un movimiento real (el balance del péndulo invertido).
2. El centro de presión (COP), el cual podríamos definir como el punto de localización del vector de las fuerzas verticales de reacción del suelo (GRF). Representa el promedio de todas las presiones que están en contacto con el suelo y es independiente del COM, aunque por simplificación se suele decir que el COP es la proyección vertical del COM en el plano de apoyo (suelo); así, podemos decir que la señal del COP no define un movimiento si no una fuerza aplicada en un área determinada.
3. Modelo mecánico de un caballo, compuesto de segmentos articulados. Es posible calcular el centro de gravedad (CG) y momento de inercia de cada segmento (i) del cuerpo. Como se observa, la proyección del CG en el suelo se corresponde con el COP.

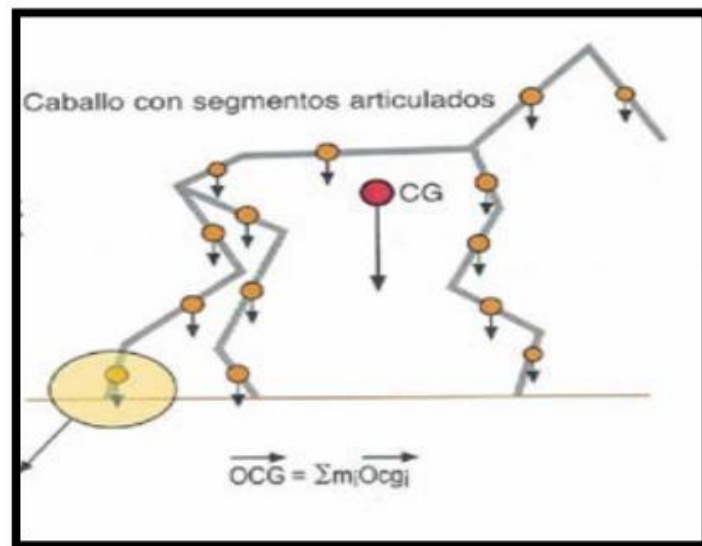


Figura 5. Segmentos articulados de un caballo [4]

Estudios sobre caminadores para entrenamiento equino.

Los caminadores mecánicos son ampliamente utilizados en equinos de diferentes disciplinas deportivas, las ventajas de usarlo no se limitan a mejorar el rendimiento de los caballos de deporte, ya que varios autores han descrito los efectos benéficos del ejercicio sobre el comportamiento del equino. Las respuestas y adaptaciones fisiológicas durante el ejercicio han sido estudiadas en caballos atletas que compiten en varias disciplinas deportivas, lo cual ha permitido generar programas de entrenamiento acordes a la capacidad física de diferentes razas. No ha sucedido esto con el Caballo Criollo Colombiano que se desempeña en competencias de pista. El objetivo del presente estudio fue establecer protocolos según el sexo para determinar el tiempo y la velocidad ideal de ejercicio en caminador mecánico en caballos criollos colombianos mediante la medición de la frecuencia cardiaca, frecuencia respiratoria consumo de oxígeno (VO₂) y lactato. El estudio se realizó en el municipio de Rionegro, Antioquia con caballos alojados en Asdesilla y registrados en Fedequinas, mayores de tres años, y activos deportivamente. De esta población se tomó una muestra de 37. Se estudiaron las variables fisiológicas y la actitud hacia el caminador mecánico durante un ciclo de cuatro meses, dividido en dos períodos, un período inicial de acondicionamiento y uno posterior de mantenimiento. Con base en las mediciones se encontró que los valores de las variables no tuvieron variaciones estadísticamente significativas y se determinó posibles protocolos de entrenamiento para sesiones recreativas, de alto rendimiento y mantenimiento de la condición corporal en animales adultos.

Especialización evolutiva

El caballo moderno (*Equus caballus*) evolucionó a partir de su ancestro del género *Hyracotherium*, quien vivió hace 50 millones de años en el eoceno. Era un animal de talla pequeña de unos 50-60 cm de alzada que poco se parecía a un caballo. Poseía lomo arqueado, cuello, nariz y miembros cortos y una larga cola. Probablemente, correteó de matorral a matorral como un pequeño ciervo, solo que más lento, y no tan ágil. Era polidáctilo no ungulígrado. Las estructuras precursoras de las pezuñas eran semejantes a las unas, pero encerraban a las falanges distales que se ponían en el suelo tal como lo hace el tapir moderno.

La estructura y funciones de la pezuña son un reflejo directo de esta influencia. En la forma del caballo moderno hay un equilibrio entre las exigencias de llevar el peso del tracto digestivo voluminoso, la capacidad para la velocidad y la resistencia en la locomoción. Debido a que el movimiento de la espalda está restringido (en comparación con el movimiento de los carnívoros cuando corren) la mayoría de las especializaciones adaptativas se encuentran en las extremidades. Un factor de suma relevancia en la evolución fue la optimización del gasto de energía mientras se desplaza a gran velocidad o cubre grandes distancias. El caballo logró que la ecuación resultante del consumo energético requerido para accionar la oscilación craneocaudal de las extremidades durante cada zancada, la desaceleración y aceleración repetidas de las extremidades, resultara positiva a favor del caballo.

Los miembros del caballo se encuentran diseñados para economizar energía. La evolución del caballo incluyó el desarrollo de miembros largos, con mayor énfasis en la extremidad distal. El segmento distal es relativamente ligero ya que se encuentra conformado mayoritariamente por huesos, tendones y el casco. Por otra parte, los tercios proximales de las extremidades resultaron en mayor peso y volumen. En esa posición oscilan arcos más cortos, por lo que se mueven más lentamente y no necesita aceleraciones y desaceleraciones rápidas. El costo de mover el miembro es bajo si la masa se concentra cerca del punto de pivote en las articulaciones de la cadera u hombro. El costo sería elevado si el mismo peso se desplazase sobre el pie, como sucede en los plantígrados.

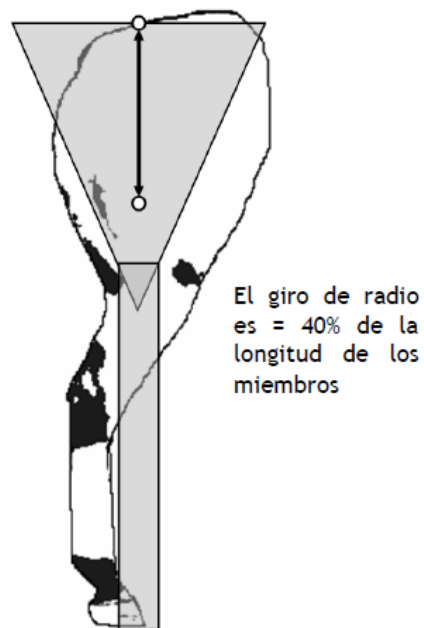


Figura 6. Peso del miembro posterior de un caballo [4]

El peso se concentra en un punto del elevador del miembro como se observa en la figura. Esta concentración reduce el radio de giro del miembro (flecha) que es la distancia desde el punto del pivote en el centro de la cadera al centro de la oscilación, y sin embargo reduce su resistencia a la aceleración rápida y desaceleración durante la marcha a velocidad.

El entrenamiento deportivo es esencial para mantener la salud y el rendimiento de los caballos, especialmente en disciplinas deportivas. Los caminadores para equinos son dispositivos que permiten un ejercicio controlado y seguro, mejorando la condición física de los animales. Este estado del arte revisa las tecnologías actuales, los materiales y diseños utilizados, y las innovaciones recientes en el campo de los caminadores para entrenamiento equino.

Los caminadores para equinos se pueden clasificar principalmente en tres tipos: caminadores circulares, caminadores rectos y caminadores subacuáticos.

- **Caminadores Circulares:** Estos dispositivos permiten a los caballos caminar en un círculo cerrado. Son populares por su capacidad para ejercitar varios caballos simultáneamente. Ejemplos incluyen el EuroXciser y el Kraft Horse Walker.
- **Caminadores Rectos:** Diseñados para simular una pista de carreras, estos caminadores permiten movimientos lineales. Aunque son menos comunes, son útiles para entrenamiento específico de carreras.

- Caminadores Subacuáticos: Combinan la resistencia del agua con el movimiento, proporcionando un entrenamiento de bajo impacto. Ejemplos notables incluyen AquaPacer y HydroHorse.

Materiales y Diseño

Los materiales utilizados en los caminadores para equinos varían según el tipo y el propósito del dispositivo. Comúnmente se utilizan aceros galvanizados y aluminio para la estructura, debido a su durabilidad y resistencia a la corrosión. Las superficies de caminata suelen estar cubiertas con materiales antideslizantes para prevenir lesiones.

Beneficios y Limitaciones

- Beneficios: Los caminadores mejoran la condición cardiovascular, aumentan la resistencia y ayudan en la rehabilitación de lesiones. Los caminadores subacuáticos, en particular, ofrecen una reducción del impacto en las articulaciones.
- Limitaciones: Los costos iniciales de instalación pueden ser altos. Además, el mantenimiento regular es esencial para garantizar la seguridad y el funcionamiento adecuado.

Normativas y Estándares

El diseño y uso de equipos para entrenamiento equino están regulados por normativas de bienestar animal que varían según la región. Es importante cumplir con estándares internacionales como los establecidos por la Federación Ecuestre Internacional (FEI) y otras organizaciones de bienestar animal.

Innovaciones y Tendencias Recientes

Nuevas Tecnologías

- Sensores y Monitoreo: La integración de sensores permite monitorear la frecuencia cardíaca, la velocidad y la distancia recorrida por los caballos en tiempo real. Esto proporciona datos valiosos para ajustar los programas de entrenamiento.
- Tecnología de Rehabilitación: Nuevas tecnologías, como la terapia de frío/calor y las vibraciones controladas, se están integrando en los caminadores para mejorar la recuperación de lesiones.

Estudios de Caso

Instalaciones como el Kentucky Equine Research Center han implementado caminadores subacuáticos avanzados, demostrando mejoras significativas en la rehabilitación de caballos de alto rendimiento.

Comparación y Síntesis

La comparación de diferentes diseños de caminadores revela que, aunque los caminadores subacuáticos ofrecen beneficios únicos para la rehabilitación, las caminadoras circulares son más prácticos para el ejercicio diario de varios caballos. Los avances en la tecnología de monitoreo están impulsando una evolución hacia dispositivos más inteligentes y personalizados.

METODOLOGÍA

Para desarrollar este proyecto se llevó a cabo la siguiente metodología:

Diseño Conceptual

- Se realizaron investigaciones sobre caminadores de caballos existentes y necesidades específicas de los caballos en términos de ejercicio y movimiento.
- Se definieron los parámetros del caminador, como la capacidad de ajuste de velocidad, resistencia y seguridad.

Propuestas Iniciales de Diseño y Selección de Enfoques

- Evaluación diferentes enfoques de diseño, como la disposición de los compartimentos para los caballos, el sistema de movimiento y la estructura general.
- Selección del enfoque más adecuado en función de consideraciones como el espacio disponible, el presupuesto y la eficacia para proporcionar ejercicio equino seguro y efectivo.

Diseño de Sistemas de Control

- Identificar los parámetros de control necesarios para regular la velocidad, la resistencia y la seguridad del caminador.
- Seleccionar sensores apropiados para monitorear la velocidad del carrusel, la resistencia del ejercicio y la seguridad de los caballos.
- Seleccionar un sistema de control para las condiciones de uso.

Selección de Materiales

- Evaluar las características de los materiales disponibles en términos de resistencia, durabilidad y seguridad para su uso en el caminador.
- Seleccionar materiales resistentes a la intemperie y de bajo mantenimiento que cumplan con los estándares de bienestar animal

RESULTADOS

DISEÑO CONCEPTUAL TIPOS DE CAMINADORES

– Caminador circular EQUIBOAR (horse walker):

Es un equipo que posibilita el entrenamiento controlado del caballo de deporte. Básicamente es un equipo compuesto de una torre central motorizada con hasta 8 brazos giratorios, 10 a 20 metros de diámetro, panel electrónico de comando. Sistema de electro estimulación en las mallas (opcional). Sistema de aspersión de agua en la pista (opcional) ventajas del caminador Con el caminador circular equiboard es posible entrenar caballos que están en actividad deportiva, potros jóvenes siendo preparados para subasta o para inicio de actividad deportivo, Minimiza la mano de obra. El caminador circular trabaja hasta 8 animales al mismo tiempo. Los caballos son ejercitados en el protocolo de ejercicio deseado. Los potros jóvenes se tornan más calmados y sociables después del entrenamiento en el caminador Equiboar Condicionamiento físico y aumento de masa muscular.



Figura 7. Caminador de caballo redondo EQUIBOAR [12]

– Caminador para caballos redondo TEXAS:

Internamente lo hemos llamado el "bricolaje"; Es la mejor solución para aquellos que buscan eficiencia, flexibilidad, versatilidad y resistencia. Se trata de un vallado perfectamente circular compuesto por paneles cóncavos de 3.14 metros extremadamente fáciles de montar y desmontar. Sólo es necesario disponer de una superficie plana y a nivel para su instalación. No hay necesidad de asentarlos sobre una base de hormigón ni tampoco de soterrarlos ya que

los paneles Texas se mantienen gracias a su eficaz estructura oval y plana. Tal y como nuestro caminador de caballos, este cerramiento, está 100% construido con acero galvanizado en caliente. Esto significa: resistencia a la oxidación y a la corrosión, así como a otras inclemencias del tiempo y el agua. Además, no presenta perfiles afilados o conectores peligrosos que dañen a los equinos.

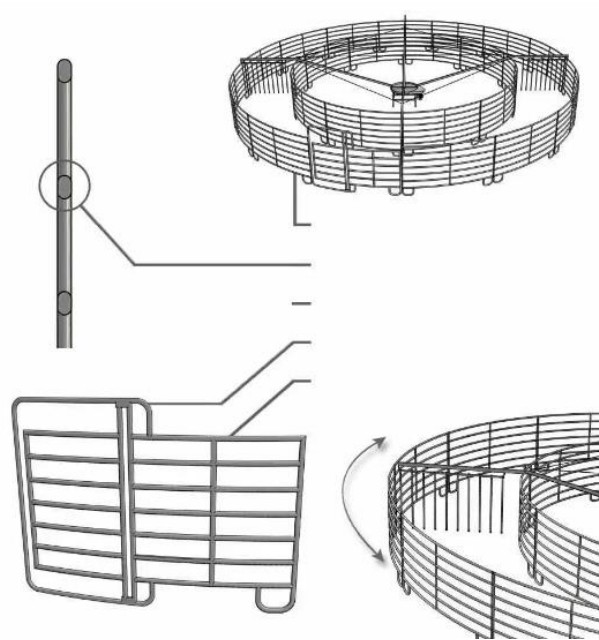


Figura 8. Caminador de caballo redondo TEXAS [12]

– **Caminador para caballos por railes:**

El caminador por railes, accionado por vagones deslizantes por railes, puede ser oval o circular según las preferencias del cliente. Dado que permite al usuario elegir sus medidas y trazado, se ha convertido en uno de los más populares entre los amantes de los caballos. Este caminador para caballos redondo u ovalado es significativamente más resistente que otros disponibles en el mercado. El motivo es porque utilizamos un doble raíl sobre el cual los vagones con las pantallas de empuje “se deslizan”. Gracias a este uso del raíl doble, nuestro caminador es muy estable, generando menos balanceo de las pantallas de empuje y un movimiento más fluido, lo cual es fundamental para ofrecer a los caballos un entorno de trabajo donde puedan focalizar su atención. Además, al emplear este doble raíl, podemos colgar pantallas de empuje, desde las más ligeras hasta las más robustas.



Figura 9. Caminador de caballo por railes [12]

Los vagones de este caminador son impulsados por al menos dos motores, lo que proporciona un mayor agarre y fuerza, y, por lo tanto, reduce la posibilidad de fallos. Los beneficios se asan en la opción de añadir una cubierta a su caminador para caballos. Esta puede construirse solo sobre el callejón para proteger a los caballos de las quemaduras del sol o de la lluvia y la nieve durante los meses fríos. Pero también es posible construir una cubierta completa, donde los caballos seguirían protegidos, y además se obtendría una zona adicional cubierta. El caminador para caballos cumple igualmente su función, pero con la ventaja de contar con espacio interior para trabajo a la cuerda o la monta, así como espacio de almacenamiento de materiales debajo de la cubierta.

PARÁMETROS GENERALES DEL CAMINADOR

Capacidad de Ajuste de Velocidad

Velocidad de Calentamiento	3 km/h.
Propósito	Permite a los caballos comenzar sus sesiones de entrenamiento de manera gradual, evitando lesiones musculares y preparando el sistema cardiovascular.
Velocidad de Reacondicionamiento	6 km/h.
Propósito	Ideal para mantener una velocidad constante y moderada que ayuda en el reacondicionamiento físico de los caballos sin causar un esfuerzo excesivo.

Velocidad Máxima	20 km/h.
Propósito	Utilizada para las rutinas de entrenamiento intensivo. Permite variar la velocidad, el tiempo y el sentido de giro, simulando condiciones de carrera o situaciones específicas de entrenamiento.

Tabla 1. Velocidad de ciclo de funcionamiento

Resistencia

El caminador debe permitir el ajuste de resistencia para simular diferentes tipos de terreno y condiciones de entrenamiento. Esto podría lograrse mediante sistemas de fricción ajustables o mediante superficies de rodadura con resistencia variable. La resistencia ajustable puede ayudar a mejorar la fuerza y resistencia de los caballos, preparándolos mejor para diferentes escenarios de competencia.

Seguridad

Para tener un dispositivo seguro, se deberán tener en cuenta los siguientes elementos:

- **Sistemas de Seguridad:** Incorporación de sistemas de emergencia que puedan detener el caminador inmediatamente en caso de comportamiento inesperado del caballo.
- **Barandillas y Arnés de Seguridad:** Barandillas adecuadas y arneses de seguridad para evitar caídas o accidentes.
- **Sensores de Monitoreo:** Sensores para monitorear la posición y comportamiento del caballo, con alertas para el operador en caso de movimientos bruscos o inusuales.
- **Superficie Antideslizante:** El área de caminata debe tener una superficie antideslizante para prevenir resbalones y caídas.
- **Sistema de Refresco de Aire:** Ventilación adecuada para mantener una atmósfera fresca y cómoda durante el entrenamiento.

Rutinas de Entrenamiento

Las rutinas deben incluir cambios en la velocidad, tiempo y sentido de giro, con un total de 10 rutinas diferentes.

Rutina 1: Calentamiento Básico y Sprints Cortos	Rutina 2: Aumento Progresivo de Velocidad
<ol style="list-style-type: none"> 1. Calentamiento: 10 minutos a 3 km/h. 2. Intermitente: 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Calentamiento: 10 minutos a 3 km/h. 2. Intermitente:

<p>A. 2 minutos a 6 km/h. B. 1 minuto a 15 km/h. C. Repetir 5 veces.</p>	<p>A. 3 minutos a 6 km/h. B. 2 minutos a 10 km/h. C. 1 minuto a 18 km/h. D. Repetir 4 veces.</p>
<p>Rutina 3: Intervalos Largos</p> <p>1. Calentamiento: 15 minutos a 3 km/h. 2. Intermitente: A. 5 minutos a 8 km/h. B. 3 minutos a 16 km/h. C. 2 minutos a 6 km/h. D. Repetir 3 veces.</p>	<p>Rutina 4: Alta Intensidad</p> <p>1. Calentamiento: 10 minutos a 3 km/h. 2. Intermitente: A. 1 minuto a 20 km/h. B. 3 minutos a 6 km/h. C. Repetir 6 veces.</p>
<p>Rutina 5: Resistencia y Velocidad</p> <p>1. Calentamiento: 15 minutos a 3 km/h. 2. Intermitente: A. 4 minutos a 10 km/h. B. 2 minutos a 16 km/h. C. 1 minuto a 20 km/h. D. 3 minutos a 6 km/h. E. Repetir 3 veces.</p>	<p>Rutina 6: Variación de Sentido</p> <p>1. Calentamiento: 10 minutos a 3 km/h (cambio de sentido cada 5 minutos). 2. Intermitente: A. 3 minutos a 12 km/h (sentido 1). B. 3 minutos a 6 km/h (sentido 2). C. 2 minutos a 18 km/h (sentido 1). D. Repetir 4 veces.</p>
<p>Rutina 7: Sprints y Recuperación Activa</p> <p>1. Calentamiento: 10 minutos a 3 km/h. 2. Intermitente: A. 30 segundos a 20 km/h. B. 3 minutos a 6 km/h. C. Repetir 8 veces.</p>	<p>Rutina 8: Ritmo Variable</p> <p>1. Calentamiento: 15 minutos a 3 km/h. 2. Intermitente: A. 2 minutos a 10 km/h. B. 1 minuto a 18 km/h. C. 2 minutos a 8 km/h. D. 1 minuto a 16 km/h. E. 2 minutos a 6 km/h. F. Repetir 4 veces.</p>
<p>Rutina 9: Aceleraciones Progresivas</p> <p>1. Calentamiento: 10 minutos a 3 km/h. 2. Intermitente: A. 1 minuto a 8 km/h. B. 1 minuto a 12 km/h. C. 1 minuto a 16 km/h. D. 1 minuto a 20 km/h.</p>	<p>Rutina 10: Combinación Completa</p> <p>1. Calentamiento: 10 minutos a 3 km/h. 2. Intermitente: A. 2 minutos a 6 km/h. B. 1 minuto a 12 km/h. C. 2 minutos a 8 km/h. D. 1 minuto a 18 km/h.</p>

E. 2 minutos a 6 km/h. F. Repetir 5 veces.	E. 2 minutos a 10 km/h. F. 1 minuto a 20 km/h. G. Repetir 4 veces.
---	--

Tabla 2. Rutinas de Entrenamiento para Caballos

Estas rutinas proporcionan una mezcla de calentamiento, ejercicio de velocidad intermitente y recuperación, asegurando un entrenamiento completo y efectivo para los caballos.

La capacidad de programar y ajustar las rutinas para adaptarse a las necesidades específicas de cada caballo hace de estos dispositivos un factor diferenciador que los manejados manualmente. Así mismo, el registro y análisis de datos para evaluar el desempeño y progreso del caballo durante las sesiones de entrenamiento.

Estos parámetros aseguran que el caminador proporcione un entorno seguro, eficiente y adaptable para el entrenamiento equino, maximizando los beneficios del ejercicio y minimizando el riesgo de lesiones.

Propuestas Iniciales de Diseño y Selección de Enfoques

Para la selección del enfoque más adecuado en función de consideraciones como el espacio disponible, el presupuesto y la eficacia para proporcionar ejercicio equino seguro y efectivo, se tuvieron en cuenta las siguientes variables.

- **Velocidades Ajustables:** Configuraciones de calentamiento (3 km/h), reacondicionamiento (6 km/h) y entrenamiento intensivo (hasta 20 km/h).
- **Resistencia Básica:** Ajustes manuales o mecánicos para simular diferentes terrenos.
- **Seguridad Esencial:** Superficie antideslizante y sistemas de parada de emergencia básicos.
- **Rutinas de Entrenamiento Simples:** Incorporar algunas de las rutinas mencionadas anteriormente que se adapten a la configuración del caminador.
- **Control Electrónico de Velocidad:** Ajustes precisos para velocidades de calentamiento, reacondicionamiento y entrenamiento intensivo.
- **Resistencia Ajustable Electrónicamente:** Simulación precisa de diferentes terrenos y condiciones.
- **Características de Seguridad Avanzadas:** Sensores de monitoreo, superficies antideslizantes, arneses de seguridad y sistemas de parada de emergencia avanzados.
- **Programación de Rutinas:** Capacidad para programar y ajustar rutinas de entrenamiento variadas y complejas.

Diseño de Sistemas de Control

Para el uso adecuado del caminador mecánico tipo carrusel es requerido un sistema de control basado en los siguientes elementos:


ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS	FOTO
Controlador de velocidad del motor multifuncional	Voltaje: 220 V Frecuencia de potencia: 50/60Hz Salida del motor: 400 W	
Sensor de proximidad infrarrojo	Distancia sensorial: 7-30cm Voltaje de funcionamiento: DC 6-36V Potencia: 5W Frecuencia de respuesta: 2ms Grado impermeable: IP65 Tipo de salida: NPN (normalmente abierto)	
Sistema de parada de emergencia	Módulo XPSAV Parada de emergencia 24 V DC retardo de tiempo 0...300 s	
Sensores de temperatura del motor, de cambio de velocidad y otros.	Sensor capacitivo XT1 cilíndrico M18 latón -Sn 5mm - cable 2m	
Panel de control	 <p>Panel de control con pantalla táctil que permite tanto operación manual como operación automática con rutinas de ejercicios programables.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pantalla táctil de 7 pulgadas. • Memoria con capacidad para 10 rutinas de ejercicios automáticas, cada una con 7 pasos donde se juega con velocidad, tiempo y sentido de giro. • Incluye manual de operación del panel de control. 	

Tabla 3. Elementos del sistema de control.

PROPUESTA FINAL DE DISEÑO

La propuesta de diseño mecánico para la máquina de entrenamiento equino se ha concebido con el objetivo de garantizar la seguridad y eficacia del proceso de entrenamiento. La máquina, representada en la figura 10, consta de varios elementos clave. En primer lugar, se destacan los 4 compartimientos diseñados para alojar a cada caballo individualmente, proporcionando un espacio seguro y cómodo para el animal durante el ejercicio. Además, el sistema incluye un módulo de movimiento que integra un motor con un sistema de acople a los brazos y una transmisión de potencia eficiente. Este módulo no solo impulsa el movimiento de la máquina, sino que también asegura una interacción suave y controlada con los equinos durante el entrenamiento. Para respaldar toda la maquinaria, se han incorporado robustos soportes que garantizan su estabilidad y funcionamiento óptimo. El sistema eléctrico y electrónico integrado permite una manipulación precisa y programable de la máquina, lo que facilita la adaptación a diferentes niveles de entrenamiento y necesidades específicas de los equinos. Finalmente, se han instalado barras de seguridad estratégicamente ubicadas para prevenir cualquier interferencia por parte de los caballos con el movimiento de la máquina, así como para proteger al operario de posibles peligros durante su funcionamiento. Este diseño integral garantiza un entorno seguro y eficiente para el entrenamiento equino, proporcionando una herramienta versátil y confiable para los profesionales del sector.

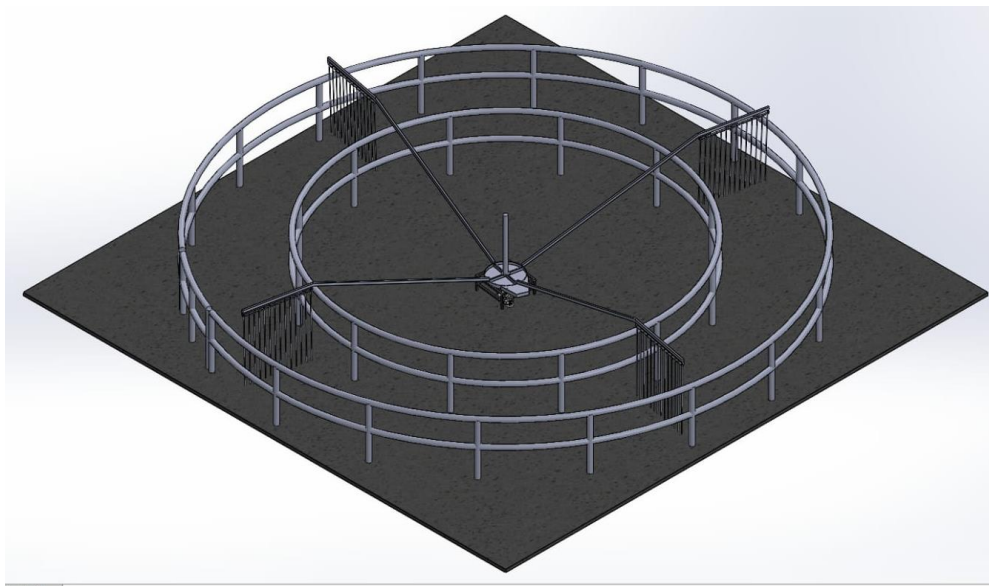


Figura 10. Propuesta de diseño caminador para entrenamiento equino

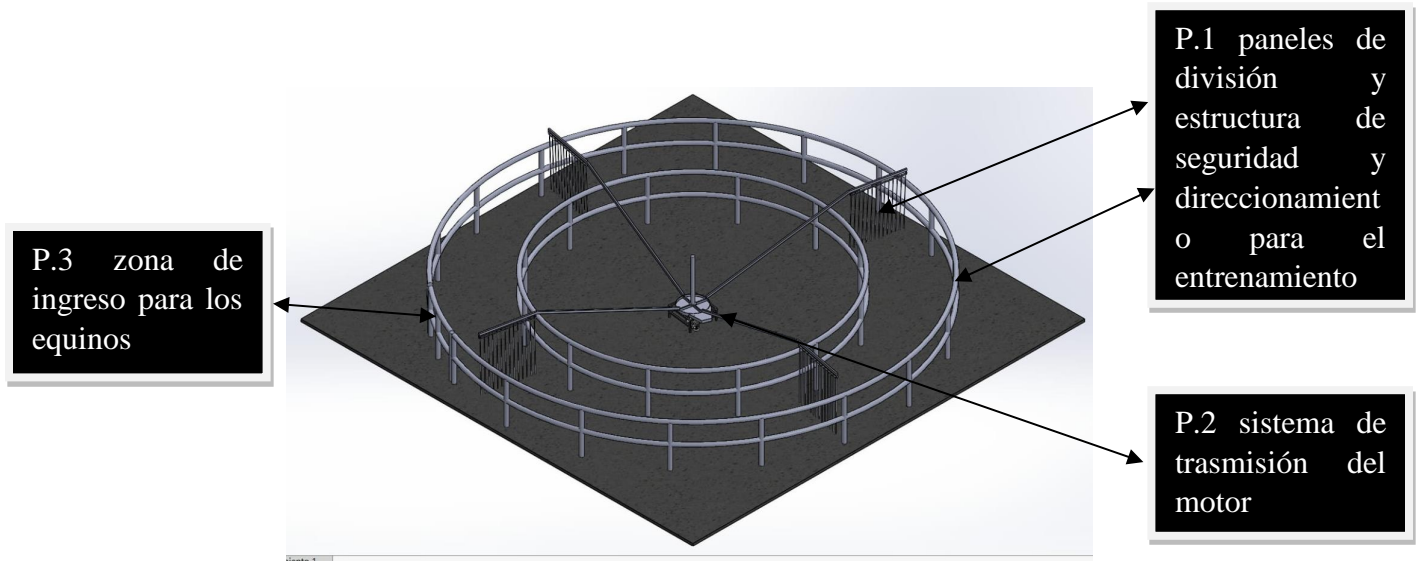


Figura 11. Puntos esenciales del caminador equino.

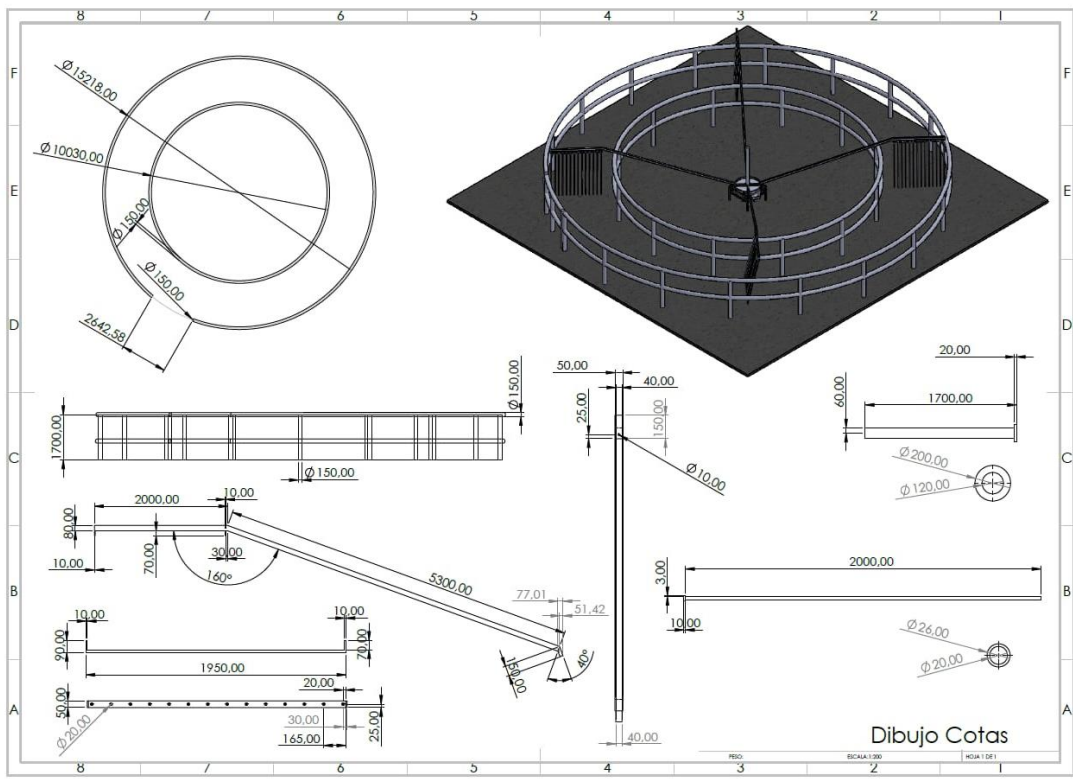


Figura 12. Planos de componentes diseño general

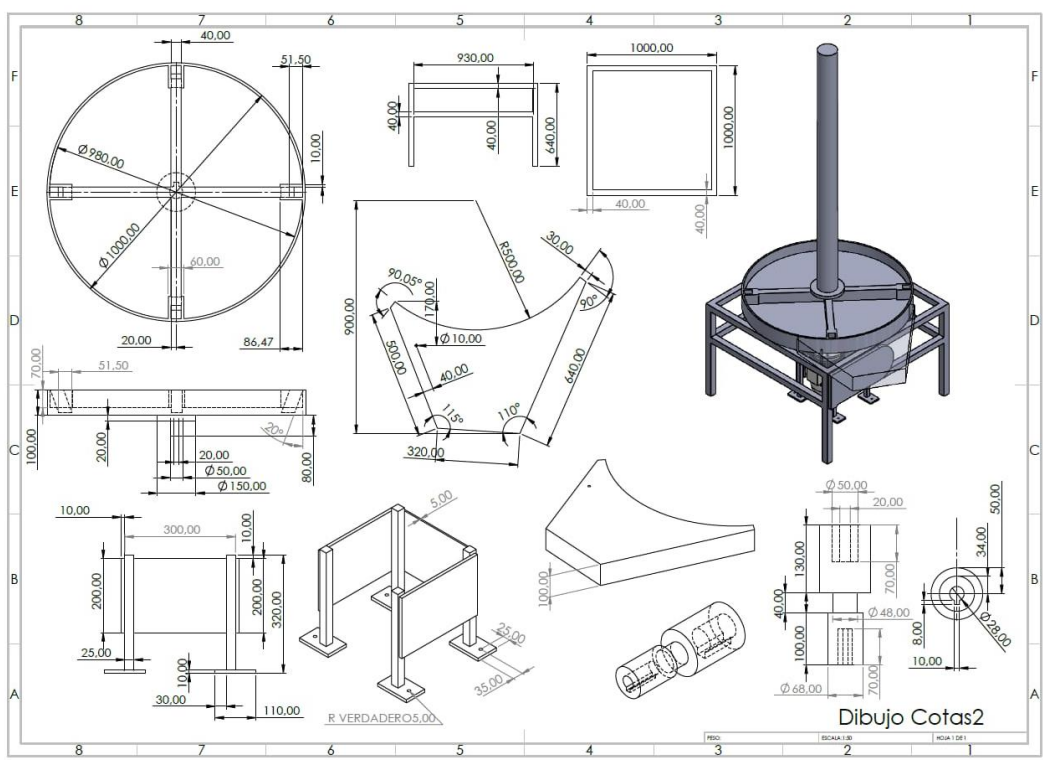


Figura 13. Planos de los componentes zona central de movimiento

Selección de materiales

PARTES	MATERIAL	CANTIDAD	DIMENSIONES			DIÁMETRO	
			Long.	ancho	alto	Int.	Ext.
Tubos de seguridad	Acero inoxidable con pintura epoxica	2 horizontales	10030	150	1700	-	150
		31 verticales					
Paneles eléctricos	Acero inoxidable y plástico	4	1950	50	90	-	20
Motor	Acero	1	-	50	270	28	50
Mesa central	Acero inox	1	-	300	320	-	-

Cilindro centro	Acero inox	1	-	40	20	980	1000
Protector de rueda	Acero inox	1	-	320	640	-	10

CONCLUSIONES

La propuesta de diseño mecánico ofrece una solución integral para mejorar la eficacia del entrenamiento equino. La inclusión de cuatro compartimientos individuales asegura que cada caballo pueda ejercitarse de manera segura y cómoda, permitiendo un enfoque individualizado en su desarrollo físico y habilidades. Esto no solo mejora el bienestar de los animales, sino que también optimiza el tiempo y los recursos invertidos en el proceso de entrenamiento.

La integración de un módulo de movimiento con un sistema de acople preciso y una transmisión de potencia eficiente garantiza un control total sobre el movimiento de la máquina durante el entrenamiento. La incorporación de un sistema eléctrico y electrónico permite una manipulación precisa y programable, lo que facilita la adaptación a diferentes niveles de entrenamiento y necesidades específicas de los equinos. Además, las barras de seguridad estratégicamente ubicadas aseguran la protección tanto de los animales como del operario, minimizando el riesgo de accidentes y garantizando un entorno seguro para el desarrollo del entrenamiento.

Este diseño mecánico no solo ofrece seguridad y eficacia en el entrenamiento equino, sino que también proporciona una herramienta versátil y confiable para los profesionales del sector. La capacidad de adaptación a diferentes niveles de entrenamiento y la facilidad de manipulación hacen de esta máquina una opción ideal para centros de entrenamiento equino, hipódromos, y otros entornos donde se requiera un entrenamiento efectivo y seguro para los caballos. Su diseño robusto y su enfoque centrado en la seguridad garantizan un rendimiento óptimo y una inversión duradera en el ámbito equino.

REFERENCIAS

- [1] F. D. C. D. L. SALUD, «Universidad Isabel I,» 13 Septiembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.ui1.es/blog-ui1/que-es-la-biomecanica>.
- [2] M. P. Arias y F. Jaramillo, «Caracterización de las bases biomecánicas de los caballos criollos colombianos de diferentes andares mediante análisis de movimiento,» *Medicina Veterinaria y Zootecnia* , vol. 669, pp. 1-5, 2018.
- [3] S. Lenk, «Educacion Equina,» Enero 2020. [En línea]. Available: <https://educacionequina.com/anatomia-en-movimiento/>. [Último acceso: Marzo 2024].
- [4] L. d. P. Pitti Ríos, «Biometría en équidos,» UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIAS , Arucas, 2018.
- [5] E. K. Birks, M. M. Durando y B. B. Martin , «Pruebas de ejercicio clínicas: Evaluación del atleta de bajo rendimiento,» de *Medicina y cirugía en los equino de deporte* , Buenos Aires , Editorial Intermedica (Argentina), 2007, p. 1616.
- [6] S. A. MAY y . G. WYN-JONES, «Identification of hindleg lameness,» *EQUINE VETERINARY JOURNAL*, vol. 19, n° 3, pp. 185-188, 1987.
- [7] H. H. Buchner, . H. H. Savelberg, H. C. Schamhardt y A. Barneveld, «Limb movement adaptations in horses with experimentally induced fore- or hindlimb lameness,» *Equine Vet J*, vol. 28, n° 1, pp. 63-70, 1996.
- [8] A. A. o. E. Practitioners, Guide for veterinary service and judging of equestrian events, Lexington: AAEP, 1991.
- [9] K. G. Keegan, D. A. Wilson, D. J. Wilson, B. Smith y E. M. Gaughan, «Evaluation of mild lameness in horses trotting on a treadmill by clinicians and interns or residents and correlation of their assessments with kinematic gait analysis,» *Am J Vet Res*, vol. 59, n° 11, pp. 1370-1377, 1998.
- [10] A. Ishihara, . A. L. Bertone y P. J. Rajala-Schultz, «Association between subjective lameness grade and kinetic gait parameters in horses with experimentally induced forelimb lameness,» *Am J Vet Res*, vol. 66, n° 10, pp. 1805-1815, 2005.
- [11] . K. Keegan, . J. Kramer, Y. Yonezawa , . H. Maki y P. Pai , «Assessment of repeatability of a wireless, inertial sensor-based lameness evaluation system for horses.,» *American Journal of Veterinary Research*, vol. 72, n° 9, pp. 1156-1163, 2011.

[12] V. E. GROUP, *Caminador para caballos redondo EQUIBOARD*, Sao pablo :
VIRTUAL EXPO GROUP, 2023.