



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD

ESCUELA DE KINESIOLOGÍA

**FACTIBILIDAD DE DISEÑAR Y CONSTRUIR UN EQUINO MECÁNICO TIPO
EXOESQUELETO QUE SIMULE LA ACTIVACIÓN MUSCULAR QUE SE
GENERA EN LA HIPOTERAPIA**

Trabajo de título para optar al grado de Licenciado en Kinesiología

ALUMNAS:

YOEL ARIEL DÍAZ FRIZ

CAROLINA ANDREA ORMAZÁBAL LABARCA

CATHERINE NICOLE RAMÍREZ ROJAS

PROF. GUIA: VALESKA FABIOLA GATICA ROJAS

PROF.CO GUIA: EDITH ELGUETA CANCINO

Octubre 2020

Talca, Chile

CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su unidad de procesos técnicos certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Talca, 2021

©2020, Yoel Diaz Friz, Carolina Ormazábal Labarca, Catherine Ramírez Rojas

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica que acredita al trabajo y a su autor.

Para nuestras familias, por el apoyo y amor
incondicional.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a nuestras familias por el esfuerzo que realizan día a día, por nunca rendirse, por lograr animarnos a completar esta etapa universitaria y ser las profesionales que soñamos.

Gracias a cada uno de los participantes que hicieron posible este proyecto, por asistir, por su tiempo y por vivir la experiencia de montar un toro mecánico con una finalidad distinta.

Agradecemos también al equipo multidisciplinario del Centro Tecnológico de Telerehabilitación y Neurociencias en el Movimiento Humano (CTTN) y a Edith Elgueta Cancino por compartir sus conocimientos y disponibilidad para trabajar en cada momento.

Por último, agradecemos a nuestra profesora guía Valeska Gatica, por creer en nosotras desde el primer minuto, por apoyarnos en una idea que creíamos no sería posible realizar, y por acompañarnos en este largo camino.

Un abrazo a cada uno de ustedes.

TABLA DE CONTENIDOS

Derechos de autor.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Tabla de contenido.....	v
Índice de tablas.....	vi
Índice de Ilustraciones.....	vii
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
Introducción.....	1
Estado del Arte.....	4
Pregunta de investigación.....	21
Objetivo general.....	22
Objetivos específicos.....	23
Metodología de investigación	
Diseño del prototipo.....	24
Mediciones y estudio in situ.....	26
Resultados.....	31
Discusión.....	34
Conclusión.....	39
Referencias Bibliográficas.....	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Presupuesto estándar mensual de un caballo.....	6
Tabla 2. Presupuesto de equipamiento para montar a caballo.....	7
Tabla 3. Presupuesto de la creación del prototipo.....	10

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Diagrama de los componentes del diseño para el prototipo robótico.....	25
Figura 2. Ubicación de sensor en músculo de la espalda (inferior) multifido.....	28
Figura 3. Ubicación de sensor en músculo transverso del abdomen.....	29
Figura 4. Electrodo de referencia.....	29
Figura 5. Experiencia con ojos cerrados, velocidad caminata.....	30
Figura 6. Velocidad caminata, ojos abiertos.....	32
Figura 7. Velocidad caminata, ojos cerrados.....	33

RESUMEN

Objetivo general: Evaluar las posibilidades kinésicas e ingenieriles para diseñar y construir un equino mecánico tipo exoesqueleto. **Metodología:** Se diseñó un 1/4 del prototipo pseudo robótico, en base a un análisis ingenieril de la cinética y cinemática del equino. **Medición in situ:** Fueron 20 participantes jóvenes sanos de entre 18-25 años, en donde se evaluaron los músculos transversos del abdomen y multífidus bilateralmente, a través de electromiografía de superficie sobre un toro mecánico en tres velocidades, con la modalidad ojos abiertos y ojos cerrados. **Resultados:** Se observó una activación muscular del transverso abdominal y multífidus bilateralmente, con predominio en el hemicuerpo dominante de cada sujeto. **Conclusión:** Se establece que es factible implementar la Hipoterapia en centros médicos, a partir del diseño-construcción de un equino mecánico tipo exoesqueleto, siendo una iniciativa económica e innovadora, que brindaría un abordaje complementario e integral, en relación a la calidad de vida de las personas.

Palabras claves: Hipoterapia, Control postural, Equino robótico, Toro mecánico, Electromiografía.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the therapeutic and engineering feasibility to design and build a mechanical horse exoskeleton type. **Methodology:** A 1/4 of the pseudo-robotic prototype was designed, based on an engineering analysis of the kinetics and kinematics of the horse. In situ measurement: There were 20 healthy young participants between 18-25 years old, were assessed. The transversus abdominis muscles and lumbar multifidus were evaluated bilaterally with, surface electromyography while ridding a mechanical bull at three speeds, with open eyes and closed eyes. **Results:** Muscle activation of the transverse abdominal and multifidus bilaterally was observed, with predominance of the dominant side of each subject. **Conclusion:** It is established that it is feasible to implement Hippotherapy in medical centers, based on the design-construction of a mechanical horse exoskeleton type. This affordable and innovative initiative, would provide a complementary and wholesome approach, to improve the quality of life of people.

Keywords: Hippotherapy, Postural control, Robotic horse, Mechanical bull, Electromyography.

INTRODUCCIÓN

En Chile, dentro del área de la rehabilitación encontramos múltiples técnicas encaminadas a mejorar la funcionalidad de los pacientes con discapacidad, ya sea motora, psicomotriz, comunicativa y/o cognitiva. Y es en esta búsqueda por otorgar nuevas propuestas terapéuticas, que encontramos una nueva tendencia de la rehabilitación llamada Hipoterapia.

Actualmente sabemos que:

La Hipoterapia es una modalidad asistida con animales, que utiliza al caballo como medio facilitador en la rehabilitación o habilitación de deficiencias a nivel motor, senso-perceptivo, cognitivo, comunicativo y social. En donde se aprovecha el paso, el carácter, la voluntad, la anatomía del animal y la planeación de ejercicios terapéuticos sobre este para que el fisioterapeuta los convierta en elementos fundamentales en el proceso de restablecimiento de la funcionalidad del paciente (López & Moreno, 2015).

Es así, como con el paso del tiempo se han logrado conocer los distintos beneficios que dicha terapia coadyuvante ofrece, dentro de ellos, mejorar el control postural a través de las adaptaciones musculares que realiza el paciente sujetas al movimiento continuo del caballo, la mayor independencia en la deambulación, cadencia y la velocidad de la marcha; así como también facilitar la normalización del tono mediante el estímulo de co-contracción entre músculos agonistas-antagonistas, y estimular la inervación recíproca durante el proceso de monta, para lograr un mejor alineamiento corporal.

Sin embargo, dichas terapias solo se llevan a cabo en Centros de Rehabilitación Equestres de Hipoterapia, lugares que actualmente no son fáciles de financiar, considerando las barreras económicas y ambientales que existen, como por ejemplo: contar con una infraestructura adecuada para los equinos, y con un equipo especializado en el cuidado, higiene y alimentación. Otro factor importante es la

exposición de los usuarios a las condiciones climáticas, y los costos asociados al traslado hacia los centros de Hipoterapia y al elevado valor económico de cada sesión (20 -30 USD). Es por esto, que surge la interrogante: ¿Cómo implementar la Hipoterapia en una clínica o en algún centro médico?

Si bien la Hipoterapia es una técnica antigua, actualmente existen prototipos de exoesqueletos robóticos que simulan los movimientos reales del caballo en los distintos planos, a través de múltiples sistemas de conexión.

Dentro de ellos el robot de Hipoterapia más innovador es IM-Irob utilizado en un ensayo clínico en pacientes con bajo control del tronco de diferentes etiologías del Hospital Hochzirl, en 2011, en donde se evidenció una mejor estabilidad de tronco e inclinación de pelvis y una mejor activación de la musculatura de espalda (erectores espinales, trapecio medio, paravertebrales y cervicales).

Por otro lado, en Texas en el 2018 se creó a Stewie. Este robot fue diseñado por estudiantes de ingeniería mecánica de Rice University, para ayudar a las personas que se someten a Hipoterapia. Dicho prototipo se basa en un concepto denominado plataforma Stewart, que funciona a partir de 6 motores controlados por una computadora, unidos a patas de metal que permiten seis grados de movimiento (latitud, longitud, vertical, cabeceo, balanceo y guiñada).

Y en el año 2018, el sistema robótico HPOT (FORTIS-102; Daewon Foris, Hanam, Corea del Sur), se utilizó en el estudio de Innovative robotic hippotherapy improves postural muscle size and postural stability during the quiet stance and gait initiation in a child with cerebral palsy: A single case study de los autores Ji-Ho Park and Joshua (Sung) H. You, demostrando que su uso puede ser una opción de tratamiento importante para mejorar el tamaño de los músculos posturales (transverso del abdomen, multífidos, oblicuos externos e internos) y la estabilidad postural en estados estáticos y dinámicos.

Debido a lo anteriormente dicho, al analizar el movimiento que genera el equino real, se observa que los movimientos que ejecuta son en la dirección anteroposterior, medio-lateral y rotacional; algo muy similar a lo que logra realizar el toro mecánico en velocidades bajas y controladas manualmente, que se producen por el funcionamiento mecánico interno que posee.

A partir de esto, es relevante preguntarse si es posible que un toro mecánico logre imitar la activación muscular que se genera cuando se monta a caballo; ya que esta hipótesis global desencadenaría el proceso de creación de un sistema pseudo robótico de Hipoterapia que sea de fácil uso, intuitivo, económico y transferible hacia los usuarios en cuanto a su uso.

Una idea que apoya lo anterior, es la cantidad de niños y niñas en situación de discapacidad que hay en el país, según SENADIS en Chile el 16,7% la población de 2 y más años se encuentra en situación de discapacidad, y según la encuesta Casen (2019), el 24,8% de las personas con discapacidad se encuentran en situación de pobreza multidimensional, impactando directamente sobre un ecosistema sociocultural y económico en las familias del país.

En primer término, no ofrecer alternativas distintas de rehabilitación a estos niños y niñas afecta en su desempeño entre pares de la misma edad, y los limita a alcanzar sus capacidades plenas, educativas y sociales, y en segundo término, la diversidad de terapias apunta a generar una mayor posibilidad en la rehabilitación y alcanzar una inclusión para favorecer una fuerza laboral emergente incluida en nuestro país.

Dado estos antecedentes es importante evaluar las posibilidades kinesiológicas e ingenieriles para diseñar y construir un equino mecánico tipo exoesqueleto.

ESTADO DEL ARTE

Como hemos mencionado anteriormente, nuestro problema radica en las limitaciones con las que nos encontramos en un centro de Hipoterapia, como por ejemplo, la construcción o arriendo de establos, el costo de alimentación, higiene y cuidados médicos del equino, lo que incluye la contratación de veterinarios y personal que cuide de ellos.

Además, debemos recordar que durante el invierno en Chile el clima es muy frío, limitando la realización de este tipo de actividades al aire libre tanto en adultos y niños con algún tipo de discapacidad, esto se ve reflejado en un estudio realizado por Correal et al., 2015, deja en evidencia que los climas fríos y lluviosos de la ciudad de Bogotá producen un aumento en los casos de enfermedades respiratorias, siendo aquellas más comunes las infecciones virales, seguidas de infecciones bacterianas como las causadas por neumococo, pudiendo relacionarse con lo que sucede en Chile, ya que, las estaciones climáticas son bastantes similares. Si bien, este estudio no habla de las enfermedades respiratorias específicas en personas con discapacidad, se conoce que ellos presentan factores de riesgo que los predisponen a tener un estado inmunológico propenso a desarrollar enfermedades.

Por otra parte, en Chile, el costo de la Hipoterapia no es accesible para toda la comunidad. Son escasos los centros que brindan terapias gratuitas, razón por la cual, no es posible encontrar este tipo de rehabilitación terapéutica en todas las regiones de nuestro país. Sin embargo, en aquellas regiones en que si se encuentran, las distancias que se deben recorrer para llegar hasta los centros de Hipoterapia son extensas, ya que normalmente se encuentran alejados de las ciudades, lo que supone un costo de traslado adicional para las familias.

Tener un caballo conlleva una gran responsabilidad y un gran costo económico (Tabla 1), debido a que por su gran envergadura necesitan de mucho espacio para vivir, grandes cantidades de comida y de un entrenamiento diario para mantenerse

en forma. En la alimentación de un caballo varían muchos factores, entre ellos, el tamaño, el peso, la raza, la edad y la actividad física que realice. Un caballo debe comer en promedio 2 a 3 veces por día, lo que equivale entre 9 a 10 kilos de alimento; en relación con la cantidad de agua que pueden beber, varía entre los 25 a 55 litros de agua diaria. Se debe considerar también que, a este tipo de animal, cada cierto tiempo se le deben suministrar suplementos alimenticios, principalmente fuentes ricas en sales minerales y electrolitos, que son fundamentales para su recuperación post actividad física.

En general, el caballo necesita de muchos cuidados básicos para mantener un buen estado físico, uno de los más importantes es prestar atención a los cascos (parte externa del pie), ya que es una zona muy sensible, que si no se cuida de forma adecuada puede ocasionar algún tipo de infección o provocar la aparición de hongos en las pezuñas, razón por la cual, se debe mantener una limpieza constante de las herraduras. Otro aspecto básico en el cuidado del caballo es cuidar de su pelaje, es ideal que puedan ser cepillados todos los días, contar con elementos especiales para el equino, tanto como abrillantador, shampoo y cepillos especiales para la crin del caballo. Por último, el entrenamiento físico como cuidado básico es esencial, ya que, como mínimo un equino necesita ejercitarse dos horas al día, con una frecuencia de cuatro veces por semana, teniendo en consideración que esto varía dependiendo de la raza del equino, la edad y la actividad física diaria.

Por otro lado, un elemento de suma importancia es contar con un lugar donde el caballo pueda descansar, lo ideal es un establo o servicios de pupilajes completos, en los cuales se asegura el buen estado del animal. Dentro de los requisitos para tener un establo, es relevante contar con una persona capacitada en el cuidado personal del animal, que mantenga limpio el establo, remueva y cambie temporalmente el material de la cama, además de ventilar el lugar y asear el comedero.

El caballo al ser un animal de sumo cuidado se recomienda que tenga visitas esporádicas de un veterinario, donde se revise su estado de salud, se administren vacunas, elementos desparasitantes y examine la dentadura del equino. Todos estos elementos son necesarios para que el animal pueda contar con el seguro de inscripción obligatorio, que debe realizarse anualmente, con el objetivo de que el equino se encuentre acreditado en la Federación Ecuestre de Chile (FEN) y que así todas las actividades que realice, ya sean competencias o en este caso para realizar Hipoterapia, tengan un respaldo legal.

Tabla 1. Presupuesto estándar mensual de un caballo

Área	Elemento	Valor por unidad	Consumo mensual	Valor mensual
Alimentación	Alfalfa	5.500	15	82.500
	Heno	4.000	12	48.000
	Agua	5.000	10.000 metros ³	5.000
	Suplementos	5.000	4	20.000
	Otros (verduras)	2.500	30	75.000
Veterinaria	Veterinario	40.000	2	80.000
	Vacunas	40.000	*Es cada dos meses: 20.000	20.000
	Desparasitantes	35.000	*Es cada dos meses: 17.500	17.500
	Elementos de odontología	15.000	1	15.000
	Gastos extras	40.000	----	40.000
Cuidado físico equino	Herraduras N° 3	20.000	4 *Se cambian cada dos meses	40.000
	Shampoo	8.500	3	25.500
	Abrillantador pelaje	5.000	2	10.000
	Elementos de cepillado	6.500	1	6.500
	Elementos de pupilaje	12.000	2	24.000
	Elemento de entrenamiento o juego	60.000	1	60.000
Establo	*Arriendo de un establo	120.000	1	120.000
Personal de trabajo	Cuidador para el caballo	480.000	1	480.000
Seguro	seguro de inscripción	120.000	1 *Valor de pago anual	12.000

Total del gasto mensual	\$1.181.000
-------------------------	-------------

Considerar que en este presupuesto estándar mensual los gastos son fijos, es decir, mes a mes el gasto económico total se mantiene y no debería presentar variaciones. El hecho de ahorrar en cualquiera de los cuidados básicos supone un mal cuidado hacia el equino y a su vez un maltrato animal, por ende, todos los cuidados descritos anteriormente, son fundamentales para el caballo.

Aparte de lo mencionado con anterioridad, se deben tener en cuenta los elementos básicos para montar (Tabla 2). Uno de los aspectos más importantes para tener un buen equipo de monta y garantizar la seguridad del jinete son: el casco de equitación, considerándose como el elemento de mayor protección en caso de sufrir alguna caída. La montura, pues ayuda a mantener el equilibrio, otorga comodidad durante la monta del animal, permitiendo a su vez cuidar la anatomía del equino, debido a que la montura es un medio de separación entre el golpe directo que se produce entre la pelvis del humano y la columna vertebral del equino. Y por último, considerar los elementos que se utilizan para guiar o direccionar el caballo, tales como las riendas, cincha, bozal y estribos.

Finalmente, recalcar que todos estos elementos son necesarios para las diversas prácticas de monta; en el caso de la Hipoterapia y según sea el tipo de Hipoterapia que se realice, es relevante brindar la máxima protección y seguridad, tanto para los usuarios como para los equinos.

Tabla 2. Presupuesto de equipamiento para montar a caballo

Equipo para montar	Montura	500.000	1	500.000
	Almohadilla para la montura	40.000	1	40.000
	Estribo y riendas	120.000	1	120.000
	Cincha	60.000	1	60.000
	Bozal	30.000	1	30.000
	Protectores	14.000	4	56.000
	Casco de equitación	120.000	1	120.000
	Gasto total			\$926.000

A pesar de las dificultades económicas y climáticas, debemos tener en cuenta los grandes beneficios que logra la Hipoterapia en las personas, como por ejemplo, mejorar tanto la estabilidad como la actividad muscular de estabilizadores de tronco y de miembros inferiores (MMII), mejorar el equilibrio y aumentar el tamaño de músculos que participan del control postural, entre otros. López & Moreno, 2015 deja en evidencia cómo los movimientos del caballo en los diferentes planos, se encargan de estimular el sistema vestibular, el fortalecimiento articular y muscular del paciente, al provocar la disociación de la cintura pélvica y escapular, mejorando su postura y tono, optimizando el equilibrio, la orientación espaciotemporal, así como también la coordinación neuromotora, la atención y concentración, brindando un importante impacto en la calidad de vida de las personas que pueden realizarla.

Según el estudio *Hippotherapy as a technique of habilitation and rehabilitation* del año 2015, la Hipoterapia se basa en tres principios básicos que rigen los argumentos válidos de por qué el caballo y no otro animal puede aportar a la rehabilitación de pacientes con deficiencias de origen cerebral central o periférico y algunos de tipo cardiopulmonar.

El primer principio se refiere a la transmisión del calor corporal, que logra estimular la sensopercepción táctil y aumentar el flujo sanguíneo hacia el sistema circulatorio, de manera que beneficia la función fisiológica de órganos internos.

El segundo principio se denomina transmisión de impulsos rítmicos del lomo del caballo al cuerpo del jinete, dicho movimiento provoca una elevación alterna de la grupa y de la musculatura lumbar del caballo, impulsando el cinturón pélvico del paciente generando movimientos de anteversión y retroversión pélvica.

Por último, el movimiento tridimensional del caballo proporciona ciertos movimientos al jinete en el plano sagital (adelante- atrás), en el plano frontal (arriba- abajo), en el plano horizontal o transversal y movimientos de rotación.

Lo anteriormente descrito condice a pensar en la creación de un sistema pseudo robótico que logre imitar los movimientos reales de un equino, de tal forma que su fabricación permita implementar la Hipoterapia en clínicas o centros médicos, de forma fácil, económica y transferible hacia los usuarios en cuanto a su uso.

Para ello, se realizó un presupuesto considerando sólo $\frac{1}{4}$ de la creación total de un prototipo equino robótico (Tabla 3), en donde aún no se incluyen gastos de despacho y mano de obra, no obstante, nos entrega un indicativo de la inversión total.

El principal objetivo de la creación-construcción de este prototipo equino robótico es lograr una terapia económica y transferible, desestimando aquellas barreras financieras que limitan realizar la Hipoterapia con equinos reales.

La principal ventaja que tendría la fabricación de este prototipo sería permitir que las familias puedan ahorrar dinero en transporte y en medicamentos, ya que evitarían tener que desplazarse hacia centros alejados de la ciudad y evitar el posible contagio de enfermedades respiratorias. A pesar de ser una gran inversión inicial, esta sería gratificada en su posterioridad, ya que otra ventaja es que se podrán realizar más sesiones durante el día, y además aumentar los periodos de cada sesión, puesto que el paciente podrá estar una mayor cantidad de tiempo sentado sobre el “equino robótico” realizando la terapia, debido a que se omitirá del descanso del animal, los tiempos de alimentación y los costos del cuidado personal.

De esta forma, la creación de dicho prototipo equino robótico, apunta a generar mayores y nuevas propuestas terapéuticas, así como también a alcanzar una inclusión para favorecer una fuerza laboral emergente incluida en nuestro país, y a su vez generar nuevas áreas de trabajo para futuros kinesiólogos (as).

Tabla 3. Presupuesto de la creación del prototipo.

Nº de pieza	CTDAD de unidades	CTDA D	Referencia de almacén	Descripción	\$/unidad	\$ total pieza
ISO 4019 - 30x30x2.5 - 527,172	527,172	1054,343	30x30x2.5	Acero para construcciones - Secciones huecas estructurales soldadas modeladas en frío	\$2.000	\$2.109
ISO 4019 - 30x30x2.5 - 977,172	977,172	1954,343	30x30x2.5	Acero para construcciones - Secciones huecas estructurales soldadas modeladas en frío	\$2.000	\$3.909
ISO 4019 - 30x30x2.5 - 466	466	932	30x30x2.5	Acero para construcciones - Secciones huecas estructurales soldadas modeladas en frío	\$2.000	\$ 1.864
ISO 4019 - 30x30x2.5 - 203,5	203,5	407	30x30x2.5	Acero para construcciones - Secciones huecas estructurales soldadas modeladas en frío	\$2.000	\$ 814
ISO 4019 - 30x30x2.5 - 423	423	423	30x30x2.5	Acero para construcciones - Secciones huecas estructurales soldadas modeladas en frío	\$2.000	\$846
ISO 4019 - 30x30x2.5 - 216	216	432	30x30x2.5	Acero para construcciones - Secciones huecas estructurales soldadas modeladas en frío	\$2.000	\$864
ISO 4019 - 30x30x2.5 - 221,5	221,5	443	30x30x2.5	Acero para construcciones - Secciones huecas estructurales soldadas modeladas en frío	\$2.000	\$ 886
ISO 4019 - 30x30x2.5 - 153,586	153,586	921,515	30x30x2.5	Acero para construcciones - Secciones huecas estructurales	\$2.000	\$1.843

					soldadas modeladas en frío		
ISO 4019 - 30x30x2.5 - 264,672	264,672	529,34 3	30x30x2. 5	Acero para construcciones - Secciones huecas estructurales soldadas modeladas en frío	\$2.000	\$1.059	
ISO 4019 - 30x30x2.5 - 152,55	152,55	305,10 1	30x30x2. 5	Acero para construcciones - Secciones huecas estructurales soldadas modeladas en frío	\$2.000	\$ 610	
ISO 4019 - 30x30x2.5 - 196	196	392	30x30x2. 5	Acero para construcciones - Secciones huecas estructurales soldadas modeladas en frío	\$2.000	\$784	
ISO 4019 - 30x30x2.5 - 282,672	282,672	565,34 3	30x30x2. 5	Acero para construcciones - Secciones huecas estructurales soldadas modeladas en frío	\$2.000	\$1.131	
cilindro hilo	1	8			\$2.000	\$16.000	
cilindroeje	1	4			\$2.000	\$8.000	
buje émbolo	1	4			\$2.000	\$8.000	
émbolo	1	4			\$7.000	\$28.000	
porta seguidor leva	1	4			\$6.000	\$24.000	
SY 25 TF	1	4		AYP_001_HC_HH_H Y-AYL_001_HP-Y- bearing plumber block units	\$10.00 0	\$40.000	
eje 1	1	2			\$10.00 0	\$20.000	
manivela 180	1	4			\$6.000	\$24.000	
base motor	1	1			\$10.00 0	\$10.000	
motor 05	1	1			\$60.00 0	\$60.000	
Cadena de rodillos	1	1			\$15.00 0	\$15.000	
Rueda dentada de	1	1			\$10.00 0	\$10.000	

cadena de rodillos 1							
Rueda dentada de cadena de rodillos 2	1	1				\$10.000	\$10.000
Rueda dentada de cadena de rodillos 3	1	1				\$10.000	\$10.000
moto reductor	1	1				\$70.000	\$70.000
patín nivelador	1	4				\$1.590	\$6.360
unidad de transferencia de bola	1	4	0			\$5.512	\$22.048
Sub Total materiales							\$398.126
disco de corte	20					\$1.990	\$39.800
disco de desbaste traslapado	10					\$1.680	\$16.800
pintura en spray (negro)	2	c/u	1			\$1.990	\$3.980
sub total insumos							\$60.580
TOTAL*							\$458.706

*Este total corresponde a 1/4 de la creación del prototipo robótico, por lo tanto, el monto total asciende a \$1.834.824. Cabe destacar, que en este presupuesto no están incluidas la mano de obra y los despachos.

En el tiempo actual, existe una gran variedad de literatura que ha investigado acerca de la Hipoterapia y su relación con la activación muscular del jinete, permitiendo a las “personas experimentar movimientos físicos y tridimensionales (adelante-atrás, izquierda-derecha, arriba-abajo), haciendo que las personas sientan que están caminando. Tal estimulación, activa los músculos y las articulaciones, mejorando la circulación sanguínea y ayudando a restaurar la función deteriorada” (Hyun-Ju NoH et al., 2019).

Sin embargo, con el avance de la tecnología existen diversos prototipos robóticos que simulan los movimientos reales del caballo en los distintos planos a través de

múltiples sistemas de conexión, logrando evidenciar cambios en la activación muscular de los pacientes, a partir del uso de técnicas como el ultrasonido y la electromiografía de superficie (EMGs), en músculos del tronco principalmente.

Dentro de los principales estudios tenemos uno del año 2018 titulado *Benefits of hippotherapy and horse riding simulation exercise on healthy older adults: a systematic review*, donde las intervenciones consistieron en realizar ejercicios posturales o desplazamientos en el caballo, cabalgando al paso más lento del equino o montando alrededor de un círculo de 30 metros de diámetro; las mediciones realizadas post intervención variaron desde pruebas de alcance funcional, pruebas para evaluar el equilibrio estático y dinámico, evaluaciones de fuerza y señales de electromiografía para analizar la activación muscular. Siendo el resultado principal de dicha revisión evidenciar cómo la Hipoterapia logra ser una terapia efectiva que “mejora la función física (incluido el equilibrio, la fuerza muscular, la movilidad y la velocidad de la marcha del núcleo y de las extremidades inferiores), reduce el cortisol, aumenta los niveles de serotonina y la actividad alfa EEG en los ancianos” (Hilliery et al., 2018).

Otro estudio titulado *The effect of hippotherapy on trunk muscles EMG, grasping and changes of functional mobility of person after coma: case study* del año 2015, evaluó como actuaban los músculos del tronco y la movilidad corporal en relación a cambios del equilibrio durante sesiones de Hipoterapia. Las actividades consistían en tocar varias partes del cuerpo del equino (por ejemplo, el cuello, el costado, la espalda) o alcanzar un objeto mientras se montaba, lo que implicaba cruzar la línea media mientras se mantenía el equilibrio con una postura adecuada. Los resultados indicaron una mejora en la fuerza de agarre isométrica de ambas manos y una movilidad funcional del 50%. También, se descubrió una mayor amplitud en la EMGs de los músculos rectos abdominal, oblicuo externo, tórax largo y multífidos del hemicuerpo derecho en comparación con el izquierdo, durante acciones como transferencia sedente-bípedo, y caminata-cabalgata de 10 metros de distancia.

El siguiente es un estudio piloto prospectivo y comparativo, realizado en el año 2018, titulado Trunk muscle activation in children with spastic diplegic cerebral palsy using a hippotherapy simulator, el cual expuso como hipótesis que la actividad EMGs pico promedio registrada sobre los músculos del tronco difiere entre los niños con Parálisis cerebral (PC) con diplejía espástica en comparación con los controles normales.

El simulador de Hipoterapia utilizado para dicho estudio, consistía en un asiento de madera con la forma del costado de un barril (38 x 42 centímetros) unido por velcro a una pelota de ejercicio estándar o terapéutico (diámetro de 60 cm). Al ser un diseño ajustable permitía múltiples condiciones de inclinación, incluyendo direcciones hacia adelante, hacia atrás y hacia los lados (todo con respecto al plano sagital). La prueba para ambos grupos era sentarse de forma erguida sobre el simulador, y después adoptar una inclinación de tronco durante 20 segundos. El registro de la señal EMGs se realizó en el músculo trapecio medio, latísimo del dorso y el músculo recto inferior del abdomen (músculos utilizados para mantener una buena postura y equilibrio). En donde se probó que hubo activación excesiva en el trapecio medio bilateral, activación moderada en el latísimo del dorso izquierdo y escasa actividad en los músculos rectos del abdomen en los participantes con PC en comparación con el grupo control; esta disminución se explica ya que existe un desplazamiento anterior adicional del centro de gravedad en los niños con PC con diplejía espástica.

Así también en el año 2011, un estudio de caso titulado The effect of robo-horseback riding therapy on spinal alignment and associated muscle size in MRI for a child with neuromuscular scoliosis: An experimenter- blind study, este tuvo como propósito resaltar las características clínicas y radiológicas de un paciente con escoliosis neuromuscular progresiva antes y después de la terapia de equitación. Esta terapia se realizó en el programa robo-HBRT, que simula el movimiento real del caballo y está diseñado para estimular un mayor nivel de mejora en la postura, equilibrio, fuerza, tamaño y simetría muscular. El sujeto fue un niño de 11 años de edad, con

escoliosis neuromuscular toracolumbar derecha, diagnosticada secundaria a PC; se efectuó un curso de 5 semanas de robo-HBRT, que comprendía períodos de 60 minutos al día, cinco veces a la semana, aquí se determinó la alineación postural por el método de Cob, realizando una resonancia magnética en tiempo real para determinar los cambios inducidos por robo-HBRT en el área de sección transversal de la musculatura paraespinal torácica (T2) y lumbar (L2) bilateral. Evaluaron también la medida de la función motora gruesa estándar y la amplitud de la actividad muscular para músculos paraespinales bilaterales T2 y L2 y recto abdominal a través de EMGs.

En conclusión, los resultados evidenciaron que después de la terapia con el robo-HBRT, tanto la función motora gruesa del niño relacionada con la posición sentada y el equilibrio mejoraron sustancialmente. La fuerza muscular en los músculos paraespinales torácico-lumbar y recto del abdomen, incrementó en un 50% y 60%, respectivamente. La alineación de la columna también aumentó en un 17%, el área de sección transversal de la zona torácica-lumbar y la simetría muscular de la columna vertebral torácica y lumbar obtenida a partir de la resonancia magnética mejoró en un 8,3% y un 41,7%. Igualmente, las amplitudes de la actividad muscular EMGs aumentaron en un 33–66%. Finalmente, algo muy relevante para la investigación fue presenciar cómo evolucionó el disfrute y la confianza del niño, al igual que su calidad de vida.

Otro estudio realizado en el 2018 por los autores Ji-Ho Park and Joshua H. You, utilizó un sistema robótico llamado HPOT (FORTIS-102; Daewon Foris, Hanam, Corea del Sur), que demostró un aumento en el grosor de músculos posturales, como el transversal del abdomen y multífidos lumbares en un 11.55% y en un 60.31% del hemicuerpo dominante, mediante la técnica de ultrasonido. Dicho cambio en el tamaño de los músculos posturales se asoció con la fuerza muscular postural y los ajustes posturales anticipatorios, que están mediados por un mecanismo de alimentación subconsciente.

Los movimientos intensivos, repetitivos (3000-5000 repeticiones) y variables (100 ciclos diferentes) del HPOT robótico lograron desafiar a activar los músculos posturales constantemente para que el niño enderezara la columna vertebral y mantuviera la estabilidad vertical estática y dinámica. De igual manera, el estudio reveló disminuciones en el COP anteroposterior de un 12,78%, y del COP medio-lateral de un 11,02%.

Así mismo, el robot de Hipoterapia más innovador llamado IM-Irob, utilizado en un ensayo clínico entre los meses de septiembre a diciembre del año 2011 en pacientes con bajo control del tronco de diferentes etiologías del Hospital Hochzirl, evidencia una mejor estabilidad de tronco e inclinación de pelvis y una mayor activación de la musculatura de la espalda (erectores espinales, trapecio medio, paravertebrales y cervicales).

Por otro lado, una creación más infantil y agradable visualmente fue diseñada en Texas en el 2018, un robot llamado Stewie. Este robot fue diseñado por estudiantes de ingeniería mecánica de Rice University, para ayudar a las personas que se someten a Hipoterapia. Dicho prototipo se basa en un concepto denominado plataforma Stewart, que funciona a partir de 6 motores controlados por una computadora, unidos a patas de metal que permiten seis grados de movimiento (latitud, longitud, vertical, cabeceo, balanceo y guiñada).

Para finalizar, un estudio del año 2019 titulado *A study on muscle activity based on the ankle posture for effective exercise with indoor horse riding machine*, tuvo como objetivo comparar la carga muscular de los músculos del tronco y del muslo en función de la posición del tobillo durante el ejercicio de montar en la máquina de equitación de interiores. Dicha máquina está diseñada para experimentar movimientos tridimensionales (adelante y atrás, izquierda y derecha, arriba y abajo) como los movimientos de un caballo vivo. En él se midió la actividad muscular en personas sanas a través de EMGs, en cuatro músculos (recto abdominal, erectores espinales, recto femoral, y aductor mayor), manteniendo una posición neutral y una

posición de dorsiflexión del tobillo durante 5 minutos respectivamente. La dorsiflexión del tobillo se ajustó a 20 grados con un electro-goniómetro, solicitando a los participantes que durante la prueba "mantuvieran el ángulo repetidamente", siendo alertados constantemente sobre el mantenimiento de la posición a través de un feedback verbal. Los resultados revelaron una mayor actividad muscular en la posición de dorsiflexión del tobillo para todos los músculos anteriormente descritos.

Es así, que este estudio permite relacionar cómo el movimiento del tobillo, influye en los movimientos de la articulación de rodilla, y así sucesivamente hasta zonas más proximales como la cadera, demostrando la relación existente entre las cadenas musculares y cinéticas del cuerpo, pues dependiendo de la postura del tobillo, la inclinación pélvica puede variar; siendo esto finalmente lo que ocurre cuando se monta a caballo.

De esta forma, los movimientos que genera el equino durante la marcha influyen en la postura y activación muscular del jinete. Violette & Wilmarth, 2009 explican que la forma de andar (caminar) del caballo está dada por una secuencia, la cual comienza con pata izquierda, mano derecha, pata derecha y mano izquierda. Es por esto, que debemos considerar que el empuje de la pata izquierda inicia la fase de impulsión inicial. Durante este impulso la pelvis del caballo se inclina lateralmente a la izquierda, induciendo a una disociación entre cada hemipelvis del jinete, debido a que se eleva la grupa del caballo. Lo que ocurre es un tilt pélvico izquierdo en el jinete, es decir, una inclinación hacia anterior de la hemipelvis izquierda, alargando el lado de la pierna que se balancea (lado izquierdo), y acortándose el lado de soporte de peso (lado derecho), y a su vez el tronco del jinete se desplaza hacia atrás con el fin de evitar ser desplazado hacia adelante por el caballo; mientras de manera simultánea se genera un tilt pélvico derecho, es decir, una inclinación hacia posterior de la hemipelvis derecha. Posteriormente, cuando la grupa del equino desciende, el tronco del jinete se inclina hacia posterior, con el objetivo de controlar su centro de presión.

El equino es capaz de realizar caminata, trote, medio galope y galope. Durante la transición de la marcha al trote, mantiene un pie delante y su pata trasera opuesta baja al mismo tiempo, logrando realizar un ritmo de dos tiempos, con un promedio de aproximadamente 12,874752 kilómetros por hora.

Violette & Wilmarth, 2009 manifestaron que el trote del equino suele utilizarse durante una sesión de Hipoterapia para mejorar la estabilidad del tronco y el equilibrio, el aumento de la entrada sensorial, y fomentar la capacidad de atención prolongada. Sin embargo, tanto el medio galope (de tres tiempos de andar) y el galope (más rápido, de cuatro tiempos de andar) explican que no se utilizan normalmente debido a la velocidad, lo que pudiera comprometer la seguridad del jinete.

En cuanto al control postural y la estabilidad del núcleo, debemos tener en cuenta que existen cambios en el centro de gravedad en respuesta al movimiento del caballo, provocando que el jinete ejerza un control sobre los músculos necesarios para mantener el equilibrio, lo que le permitirá permanecer en una postura erguida sobre el caballo (Violette & Wilmarth, 2009), ejecutando ajustes pélvicos que estimulan la estabilización postural dinámica, a partir de la activación de los músculos del tronco y de las extremidades inferiores.

De esta forma, la Hipoterapia promueve continuamente la retroalimentación vestibular, el sentido somestésico, la coordinación y la retroalimentación visual. Además, dado que es una terapia asistida por animales, tiene una influencia positiva en las partes psicológicas y sociales de las personas, de esta forma pasar tiempo con el caballo permite que las personas pueden restaurar su confianza (Hyun-Ju NoH et al., 2019).

En base a lo ya descrito, es relevante preguntarnos si es posible que un toro mecánico logre simular la activación de muscular que se genera cuando se monta a caballo; ya que, esta hipótesis global desencadenaría finalmente la factibilidad del

proceso de creación de un sistema pseudo robótico de Hipoterapia que sea de fácil uso, intuitivo, económico y transferible hacia los usuarios.

El toro mecánico, es una máquina con la forma de toro de tamaño natural controlado por una computadora que permite simular el movimiento real de un toro de arriba a abajo, rápido- lento, que se agita y que gire mientras se mueve, lo que hace que este entretenimiento tenga un toque de salvajismo. Dentro de las ventajas del toro mecánico se destacan elementos novedosos y emocionantes, tener un bajo costo, un amplio rango de aplicaciones y una alta participación social, entre otros.

Antiguamente, el toro mecánico era utilizado para el entrenamiento de los jinetes que participaban en rodeos, de ahí su toque de salvajismo. Al principio, el toro mecánico era una máquina bastante simple, poco más que un barril al que se le ataban unas cuerdas y unas poleas. Las cuerdas se movían para simular el empuje de un toro bravo real, y así intentar estar el máximo tiempo posible montado en la silla. Si bien, los sitios donde se realizaban aquellas “peleas” de toros eran emocionantes y amados por muchas personas, el riesgo era muy grande para los participantes. Sin embargo, hoy en día se utiliza en lugares de operación popular, es decir, ambientes de diversión y entretenimiento, en donde no existe ningún peligro, por lo que, el toro mecánico es actualmente conveniente para todas las edades.

Desde la época de los 80, los toros mecánicos comenzaron a convertirse en un foco de entretenimiento, utilizado en el cine y luego para diferentes fiestas-celebraciones tanto para adultos como infantes, fue en ese momento cuando las poleas atadas a cuerdas dieron paso a brazos articulados que mueven el toro por la cabeza y la cola, mientras que un eje unido a un sistema de rodamientos permite que se mueva en círculos. Algunos modelos se controlan de forma manual, mientras que otros incluyen programas aleatorios, en los que un ordenador se encarga de poner a prueba a los valientes que se atreven a montar.

Las nuevas máquinas de toro mecánico pueden ser manejadas fácilmente por dos personas en una habitación de 8-10 m².

El funcionamiento del toro mecánico es muy simple, consta de una parte mecánica y una parte lógica. De acuerdo a los principios de los relevadores es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

Los movimientos del toro mecánico ocurren en dos sistemas (galope o reparo y giros) que consisten en generar movimientos horizontales y verticales independientes y combinados, siendo operado desde un panel de control, incrementando o disminuyendo la velocidad y la cantidad de ciclos. Además, cuenta con una palanca multimando, con la cual se controlan eléctricamente los movimientos de galope y giros, así como también un botón de paro de emergencia como otra medida de seguridad.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuán factible es diseñar y desarrollar un equino mecánico tipo exoesqueleto que simule la activación muscular que se genera en la Hipoterapia?

OBJETIVO GENERAL

Evaluar las posibilidades kinésicas e ingenieriles para diseñar y construir un equino mecánico tipo exoesqueleto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Evaluar las posibilidades en ingeniería para el desarrollo y construcción de un equino mecánico tipo exoesqueleto.
- b. Determinar la actividad muscular de multifidos y transverso abdominal (TA) bilateralmente en tres velocidades, en sujetos entre 18-25 años con electromiografía de superficie.
- c. Evaluar la co -activación entre la musculatura abdominal y espinal.

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

El proyecto de investigación se basó en un estudio de validación tecnológica, cuya finalidad era implementar una sesión equino-terapia robótica a bajo costo, a partir de la creación y producción de un sistema pseudorobótico de Hipoterapia, que imitara los movimientos reales del equino durante la marcha (6 km/h), el trote (13 km/h) y el galope (25 km/h), generando así una activación muscular similar a lo realizado en una sesión de Hipoterapia. Sin embargo, para asegurar la factibilidad de esta creación se consideró pertinente evaluar la activación muscular sobre un toro mecánico, ya que este lograría emular los movimientos del equino al ser controlado manualmente, puesto que permite generar adaptaciones y estrategias de alineamiento corporal en la persona.

Diseño del prototipo tecnológico

Para llevar a cabo esta investigación fue necesario trabajar en conjunto de un equipo multidisciplinario, entre ellos mencionar a:

- Valeska Gatica Rojas, Directora del Centro Tecnológico de Telerehabilitación y Neurociencias en el Movimiento Humano (CTTN) Facultad de Ciencias de la Salud – Universidad de Talca.
- Edith Elgueta Cancino, Research Fellow at University of Birmingham, Reino Unido.
- Darían Martínez Díaz, Ingeniero Civil Industrial.
- Víctor Vergara Valdez, Estudiante de Ingeniería Civil Mecatrónica - Universidad de Talca, Campus Los Niches.
- Agustín Bravo, Técnico en Enfermería, LabManager del CTTN.
- Estudiantes de 5to año de la Escuela de Kinesiología año 2020, Universidad de Talca, Campus Talca.

Para la creación del sistema pseudo robótico en tiempos futuros, el estudiante Víctor Vergara en compañía del Ingeniero Civil Industrial Darían Martínez como su docente

guía, se limitaron a realizar la construcción de 1/4 del diseño total del mecanismo del prototipo pseudo robótico, para así comprobar su funcionamiento y tener certeza sobre la resistencia de este, el cual se contempló que podría ser usado por personas de un peso máximo de 80 kilogramos.

El alcance de esta creación se limitó a validar la resistencia mecánica del prototipo, para sentar un precedente sólido que permitiera en un futuro próximo la continuación del proyecto aumentando sus alcances.

En cuanto al aspecto estético, este no fue abordado durante este periodo, no obstante, se pensó que dicho prototipo podría simular los sonidos, la temperatura y textura de la piel o cuerpo del caballo.

Los componentes de este diseño fueron (Figura 1):

1. Leva: cuerpo que gira en torno a un centro y que su perfil es de forma levemente ovalada.
2. El palpador: dispositivo que se encarga de mantener el contacto con la leva y sigue su contorno, transmitiendo el movimiento que genera la superficie ovalada.
3. Gráfico: el gráfico representa el desplazamiento del palpador de forma vertical, la gran ventaja de este mecanismo es que, al cambiar el perfil ovalado de la leva, se pueden generar diversas formas de desplazamiento.

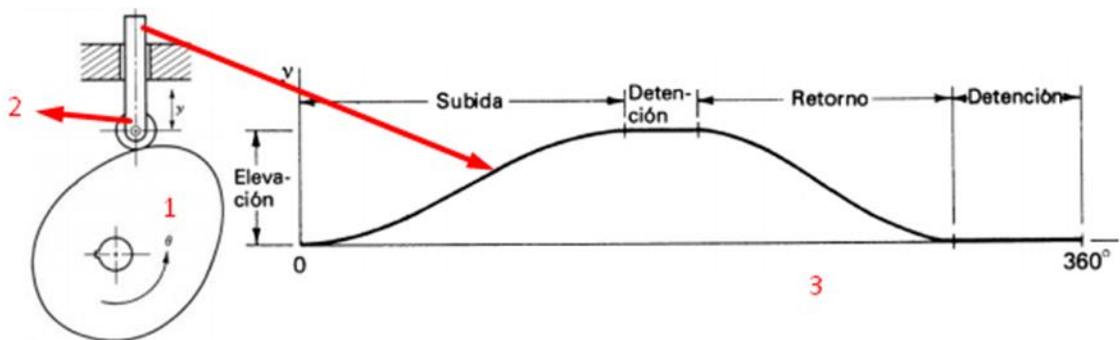


Figura 1: Diagrama de los componentes del diseño para el prototipo robótico.

El uso de la leva le da la facilidad al diseño para variar el movimiento generado, debido a la versatilidad del mecanismo.

Mediciones y Estudio in situ

El reclutamiento de la población clínica fue a conveniencia, para ello los criterios debían ser:

Criterios de inclusión

- ✓ Jóvenes sanos entre los 18-25 años de edad.
- ✓ Índice de masa corporal (IMC) entre 18.5 a 24.9 kg/m² para personas clasificadas como normopeso.

Criterios de exclusión

- ✓ Presencia de alguna patología de columna vertebral, miembros superiores e inferiores.
- ✓ Dolor que limitara la realización de la prueba.
- ✓ Sujetos que realizaran deporte, asistieran al gimnasio o practicaran ejercicio físico durante un tiempo mayor a 150 minutos semanales.

En cuanto a las consideraciones éticas, lo primero fue informar previamente al sujeto sobre los posibles riesgos y las garantías de seguridad que se les brindó, solicitando su autorización para la captura de fotos y grabaciones; así como también exponer los beneficios que le otorgaría dicha investigación, expresando que los resultados permitirán validar un proyecto en vías de desarrollo, en donde la población objetivo serán niños o niñas u adolescentes con parálisis cerebral, de tipo hemiplejía y diplejía espástica.

Una vez reclutada la muestra de 20 personas (12 hombres y 8 mujeres), se gestionó la cotización del arriendo del toro mecánico y su posterior contratación. El siguiente

paso fue definir el día de medición y el lugar. La medición se realizó en las instalaciones de la Universidad de Talca, a un costado del CTTN.

Para asegurar la muestra, minimizar los tiempos de espera y evitar aglomeraciones en las instalaciones, se citó a los sujetos en un horario a conveniencia, con una disponibilidad de 20 minutos para cada uno, ya que se registraron medidas antropométricas como peso- talla y datos importantes como la dominancia de miembros superiores (18 sujetos presentaron dominancia diestra y 2 sujetos con dominancia zurda) y la edad.

La evaluación y medición se llevó a cabo por estudiantes de 4to año de la Escuela de Kinesiología año 2019, Universidad de Talca, en donde cada una efectuaba una tarea distinta; esto con el propósito de optimizar tiempos y desarrollar un proceso eficiente y guiado.

Previo a la evaluación, se procedió a la aplicación de los electrodos. Se solicitó que cada sujeto se ubicara en posición decúbito prono sobre una camilla para comenzar con la preparación de la piel de la zona lumbar, y luego en decúbito supino para la zona del abdomen bajo, recordando que “la calidad de una medición EMG depende en gran medida de una preparación adecuada de la piel y el posicionamiento del electrodo, esto con la finalidad de tener un contacto estable de los electrodos y la baja impedancia de la piel” (Konrad, P.2005, p.14).

Para comenzar con la instalación de los electrodos, uno de los primeros procedimientos que se realizó fue la eliminación del vello (en caso de ser necesario) y la limpieza de la piel según el Método C del libro *The ABC of EMG* año 2005, en donde se recomienda el uso puro de alcohol al ser aplicado con una toalla textil (que permita frotar suavemente). La piel generalmente debe quedar con un color rojo claro, ya que esto indica una buena condición de impedancia de la piel.

La ubicación de los electrodos fue establecida según la guía Seniam del libro *The ABC of EMG* del año 2005, para la musculatura erectora, específicamente el

músculo multífido; el sujeto se encontraba en posición decúbito prono, con la columna lumbar ligeramente flectada; la aplicación de los electrodos fue desde la punta caudal de la espina iliaca posterosuperior al interespacio entre L1 y desde el interespacio de L2 a nivel del proceso espinoso de L5 (2-3 centímetros de la línea media) (Figura 2).

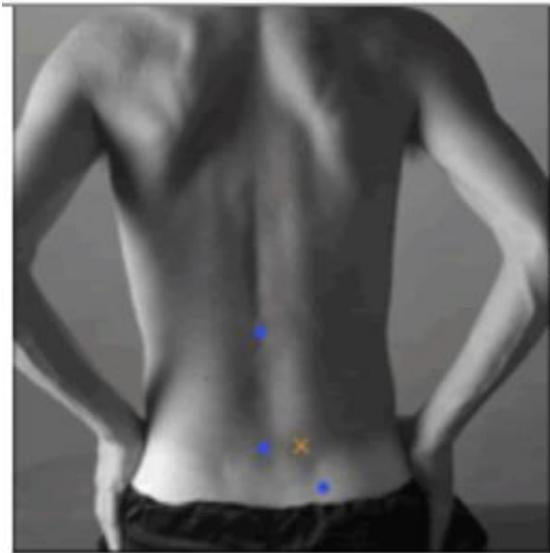


Figura 2. Ubicación de sensor en músculo de la espalda (inferior) multífido.

Para la ubicación del electrodo en el músculo transverso del abdomen (TA), se utilizó como referencia la posición descrita en el estudio de Marshall & Murphy, 2013. Para ello, se solicitó que el sujeto se posicionara en decúbito supino, y se solicitó una rotación ipsilateral de tronco para verificar la contracción palpable; los electrodos se ubicaron aproximadamente 2 centímetros medial e inferior a la espina ilíaca anterosuperior (Figura 3).

Debido a los cambios en la geometría entre el abdomen y el sitio de unión del electrodo, tanto los electrodos como los cables fueron fijados con cinta para evitar que se desplazaran, causando posibles alteraciones y artefactos en la señal electromiográfica (EMG), puesto que fue una medición dinámica. Destacar que dicha medición fue bilateralmente para ambos músculos.



Figura 3. Ubicación de sensor en músculo transverso del abdomen.

Para la medición electromiográfica se utilizó el equipo portátil Trentadue de OT Bioelettronica serial wifi, monopolar sensors wired (electrodos de superficie no invasivos), el electrodo de referencia era una pulsera ajustable que se ubicó en la zona de la muñeca (Figura 4). El electromiógrafo se conectó a una computadora portátil a través de bluetooth, finalmente el programa que nos permitió captar la señal y su posterior análisis fue OTBioLab+ v1.4.2.0. Además, se debe estacar que para este estudio la corriente que utilizó el toro fue una corriente monofásica de 220 volts y un circuito de 20 amperes.



Figura 4. Electrodo de referencia.

La evaluación como tal, fue ejecutada al aire libre otorgando un ambiente cálido y agradable visualmente. Se solicitó que el sujeto se montara sobre el toro mecánico informando que este se movería en tres velocidades distintas, clasificadas como una caminata, trote y galope similar al que genera un caballo, cada velocidad tuvo una duración de 30 segundos. Además, se les indicó que en una primera instancia la prueba se realizaría con ojos abiertos (OA) y posteriormente con ojos cerrados (OC) (Figura 5) (utilizando una venda para evitar la apertura de estos) para las tres velocidades.



Figura 5. Experiencia con ojos cerrados, velocidad caminata.

Una vez finalizada la prueba, se invitó a que cada sujeto de manera voluntaria manifestara a través de un video su experiencia, y que luego disfrutara de una pequeña colación de agradecimiento.

RESULTADOS

Los resultados totales de este estudio fueron 120 señales electromiográficas, correspondientes a la muestra inicial de 20 personas, las cuales fueron evaluadas en tres velocidades (caminata, trote y galope), con la modalidad de ojos abiertos y ojos cerrados.

La señal fue filtrada con un ancho de banda de 50 a 250 Hz con un filtro buttherworth de 3er orden para eliminar y/o disminuir posibles artefactos generados por el movimiento y latidos cardiacos que influyen en la señal electromiográfica. La presencia de artefactos generados por el ritmo cardiaco, se debe a que al evaluar músculos del hemicuerpo izquierdo es muy probable que se capten este tipo de señales por su cercanía con el corazón.

Considerando que la población total presentó un patrón de activación muscular similar, se decidió simplificar los resultados a dos muestras finales que se consideran representativas de la media del estudio. Estas muestras corresponden a un participante de sexo femenino en velocidad de caminata.

Se observó que la totalidad de la población (jóvenes sanos) mantuvo una co-activación muscular constante de TA y multífidos bilateralmente, con un predominio de la señal en el hemicuerpo dominante para ambos músculos, coincidiendo de esta forma con la dominancia de la mayoría de los participantes.

Se destaca que el músculo TA derecho, fue aquel que presentó una señal con mayor amplitud, seguido del músculo multífido derecho.

Algo importante que se observó en las figuras que representan la señal con modalidad OC, es que dicha señal mantiene una amplitud relativamente constante durante todo el tiempo de medición, no así la señal con modalidad OA, en donde la amplitud de activación es mayor en el último tercio del tiempo evaluativo. Esto coincide con el relato audiovisual de los participantes, en donde se expresó que la modalidad OC presentó mayor dificultad, provocando que la activación muscular

fuese más consciente, y que la capacidad de ejecutar la postura sobre el toro mecánico fuera más compleja.

En las gráficas el eje X corresponde al tiempo de medición, expresado en segundos. Y el eje Y corresponde al potencial eléctrico, medido en milivolts.

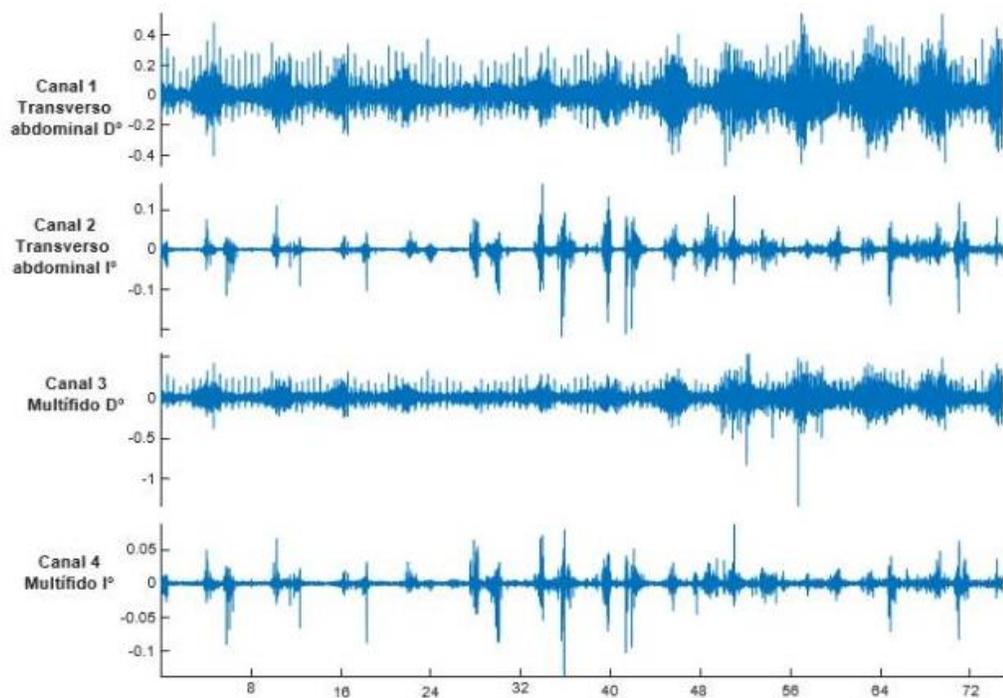


Figura 6. Velocidad caminata, ojos abiertos.

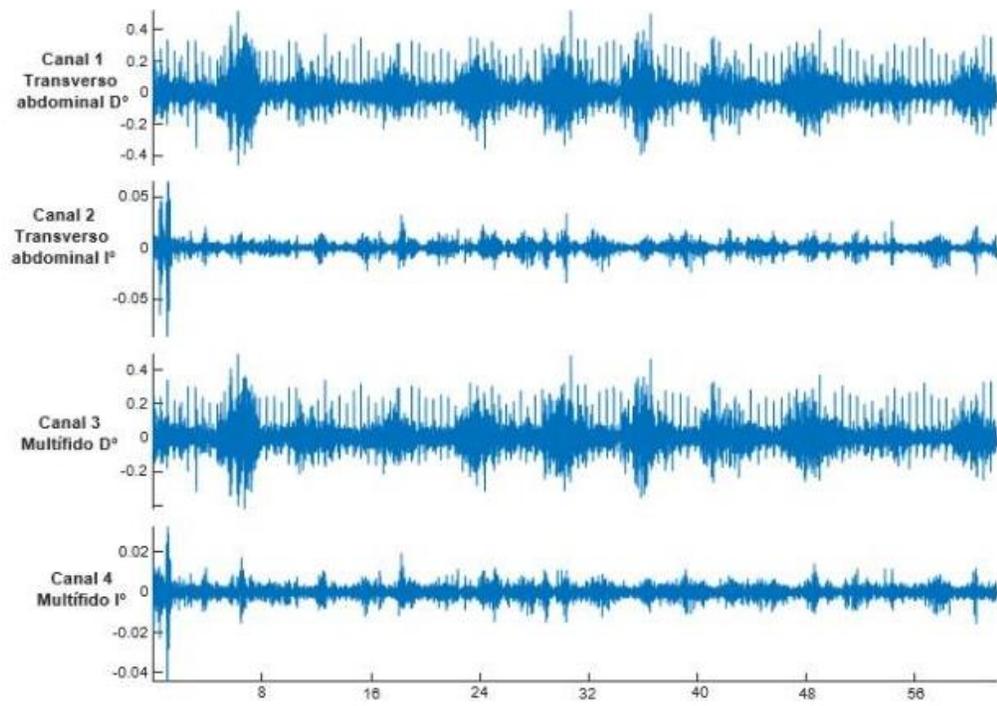


Figura 7. Velocidad caminata, ojos cerrados.

DISCUSIÓN

En esta investigación se planteó como objetivo general evaluar las posibilidades kinésicas e ingenieriles para diseñar y construir un equino mecánico tipo exoesqueleto, el cual desglosa en objetivos específicos como: a) evaluar las posibilidades en ingeniería para el desarrollo y construcción de un equino mecánico tipo exoesqueleto, b) determinar la actividad muscular de multífidus y transversus abdominal (TA) bilateralmente en tres velocidades, en sujetos entre 18-25 años con electromiografía de superficie, c) evaluar la co-activación entre la musculatura abdominal y espinal.

Aleknaviciuté-Ablonské et al., (2015), menciona que existe una mayor amplitud en EMGs de los músculos rectos abdominal, oblicuo externo, tórax largo y multífidus del hemicuerpo derecho en comparación con el izquierdo en una sesión de Hipoterapia; coincidiendo así con los resultados de esta investigación.

Así también Ji-Ho Park and Joshua H. You, 2018 demostraron que al utilizar un sistema robótico llamado HPOT (FORTIS-102; Daewon Foris, Hanam, Corea del Sur), se logró evidenciar un incremento de la activación muscular del TA y multífidus, a partir de un aumento en el tamaño de dichos músculos en un 11.55% y en un 60.31% del hemicuerpo dominante.

En base al respaldo de la literatura y a los resultados de este estudio, se propone que es factible diseñar-construir un equino mecánico tipo exoesqueleto robótico, el cual simula la activación muscular que se produce en una sesión de Hipoterapia, debido a que los resultados lograron evidenciar la activación muscular de multífidus y TA en sujetos sanos al montar el toro mecánico, para las tres velocidades.

O'Sullivan en el año 2000, refiere que la activación del TA genera una contracción refleja del multífidus al tensar la fascia toracolumbar, en pacientes asintomáticos; evidenciando de esta forma la co-activación entre ambos músculos en los participantes del estudio.

Se debe entender que esta co-activación muscular ocurre porque la muestra del estudio son sujetos jóvenes sanos, quienes cuentan con una maduración fisiológica de los sistemas sensoriales que contribuyen al control postural. Un aspecto llamativo de la función motora es la falta de esfuerzo con la que realizamos las tareas motoras más complicadas sin pensar en el movimiento articular o la contracción muscular necesaria. Esta falta de esfuerzo en el movimiento normal depende, de manera exclusiva, del flujo continuo que entregan los sistemas somatosensoriales (visual, vestibular, mecanorreceptivo y propioceptivo), a los sistemas motores (Gatica, 2019). Por el contrario, se conoce que esto no ocurre en personas con una condición neurológica central.

Al conocer los beneficios que brinda la Hipoterapia, y que podría otorgar la creación del equino mecánico tipo exoesqueleto, se considera importante discutir otros aspectos relevantes, entre ellos, el impacto económico que conlleva mantener a un equino, considerando los cuidados básicos como alimentación, servicios médicos y de pupilaje. Para dichos cuidados mensualmente se debe invertir \$1.181.000 en base al presupuesto que se nombró con anterioridad (Tabla 1), lo que generaría un costo anual de \$14.172.000 aproximadamente. Por otra parte, la creación total del prototipo robótico implicaría un desembolso inicial de \$1.834.824 (Tabla 3), evidenciando una clara diferencia económica, al compararlo con los costos asociados al cuidado de un equino real. Es relevante mencionar que dicho prototipo robótico necesitará de mantenciones periódicas, sin embargo, el costo de estas no sería comparable con los gastos de la mantención anual del caballo.

A su vez, el implementar terapias en laboratorios o centros médicos generaría ingresos a largo plazo que cubrirán la inversión inicial, la mantención diaria y periódica, como por ejemplo, la corriente eléctrica. Estos ingresos hacen referencia al cobro de cada sesión de Hipoterapia en el prototipo robótico, el cual deberá ser costeado por el propio usuario (a), teniendo la ventaja de ser un costo más accesible, puesto que no sobrepasará el 50% del valor actual de una sesión real de

Hipoterapia, ya que debemos asegurar que el costo sea proporcional a la inversión realizada.

En base a lo anterior, es que el principal objetivo de la creación de este prototipo equino robótico es lograr una terapia económica, transferible, y desestimar aquellas barreras financieras que limitan la realización de sesiones reales de Hipoterapia.

Otro punto relevante a destacar, es la sensorialidad, puesto que esta se verá limitada con la utilización del prototipo robótico, dado que sería muy difícil de emular; contemplando que el equino es un ser vivo, que logra provocar en el jinete distintas emociones, además de transmitirle calor corporal, impulsos rítmicos y generar movimientos tridimensionales. Siendo estos tres principios básicos de la Hipoterapia aquellos argumentados por López & Moreno, 2015.

El hecho de que el equino sea un ser vivo, implica que siente, que percibe y que emana olores característicos, que potencian su forma de interactuar con el medio ambiente y con las personas, generando vínculos psicosociales importantes. Es por esto, que a los caballos no se les considera animales salvajes o agresivos por naturaleza, por el contrario, “son animales extremadamente sensitivos y perceptivos lo que permite crear un lazo entre el jinete y el animal; el acercamiento con el caballo permitirá una semejanza al contacto que una madre realiza con su hijo, este efecto es denominado handling” (Anderson et al., 1998) (Smith. J, 1985).

Los equinos son seleccionados cuidadosamente para realizar Hipoterapia, en base a las características que poseen y que lo hace un animal especial. Dentro de ellas encontramos la raza, madurez, el temperamento, la conformación física y el entrenamiento, lo que permite “el acercamiento de personas que muchas veces poseen conductas alteradas, movimientos involuntarios o usan algún dispositivos o elementos externos (bastón, silla de ruedas) que suelen asustar a un caballo normal” (López & Moreno, 2015).

Sin embargo, “los caballos actúan como catalizadores de emociones y se asemejan a un “espejo”, contribuyendo, a través de sus movimientos, sus gestos y sus actitudes, a reflejar cuál es nuestro comportamiento en situaciones de la vida real y cotidiana” (Parra. J, 2016). Es por esto, que es totalmente natural que ellos realicen movimientos propios e inesperados, como respuesta al comportamiento del jinete, debido a que actúan por instinto, pudiendo limitar el completo control sobre el animal por parte del terapeuta a cargo, y produciendo como consecuencia un mínimo de riesgo para el jinete inexperto que se encuentra en una situación vulnerable, como lo serían en este caso personas en situación de discapacidad, implicando posibles caídas, golpes, alteración del tono muscular o cambios repentinos de humor.

Por consiguiente, una ventaja que nos otorga el prototipo equino robótico por sobre la Hipoterapia real es que elimina esta variable, brindando una condición de resguardo, protección y seguridad ante este tipo de situaciones.

Conjuntamente el equino necesita de tiempos de descanso posterior a una sesión de Hipoterapia, para asegurar su bienestar de forma integral, pensando en su rehidratación, recuperación muscular y autorregulación de la temperatura corporal para su reintegro terapéutico. En base a esto, otra ventaja que nos otorgaría el prototipo robótico es reducir los tiempos de espera, y como consecuencia prolongar el tiempo de cada sesión, aumentar el promedio de sesiones semanales y con ello abarcar un mayor número de usuarios, siendo otra ventaja para la creación del prototipo robótico por sobre la Hipoterapia.

Sin embargo, se deben dejar en claro las limitantes de este estudio; ya que, si bien se logró responder la interrogante inicial, existen vacíos de información dados principalmente por la contingencia social que afectó a Chile el año 2019 y a la actual pandemia COVID-19 que enfrenta el mundo, ya que no se logró realizar una serie de mediciones que habrían complementado la investigación. Dentro de ellas: las mediciones de EMGs de los músculos TA y multifidos en los mismos sujetos evaluados en esta investigación, pero con equinos. Una medición clínica del test

lumbo-sacro (Elgueta et al., 2015), la maqueta y fabricación del prototipo ingenieril robótico equino, y por último, la validación-medición en el prototipo ingenieril robótico de equino.

Igualmente, una limitante es la técnica de medición utilizada, considerando la profundidad de los músculos y la dinámica de la evaluación. Es por esto que se recomienda que para futuras investigaciones se establezcan técnicas diferentes, evitando aquellos métodos invasivos.

Otra limitante del estudio, es la evaluación de la composición corporal mediante el IMC en los sujetos, ya que esta medición a pesar de indicar un estado normopeso, no permite distinguir entre el porcentaje de masa muscular y grasa. Pudiendo ser este último, un factor de implicación en la señal EMG.

Finalmente, el control manual de la velocidad fue una limitante, ya que, esta se realizó en base a la percepción de un jinete con experiencia, diferenciando las distintas velocidades como caminata, trote y galope. Es por esto, que lo ideal hubiese sido contar con un velocímetro que entregará un valor cuantitativo, y así cumplir con las velocidades que entrega la literatura.

CONCLUSIONES

Dentro del análisis expuesto a lo largo de esta investigación, se establece que es factible implementar la Hipoterapia en centros médicos, a partir del diseño-construcción del equino mecánico tipo exoesqueleto, ya que, se observó que la totalidad de la población (jóvenes sanos) mantuvo una co-activación muscular constante de TA y multifidos bilateralmente durante la evaluación en el toro mecánico, manteniendo un predominio de la señal del hemicuerpo dominante para ambos músculos, coincidiendo de esta forma con la dominancia de los participantes.

Así mismo, se propone que a futuro la terapia en el prototipo robótico sea desarrollada en conjunto con realidad virtual, siendo una ventaja innovadora que proporcionaría la posibilidad de emular un espacio físico como el de los centros ecuestres, o bien como una herramienta terapéutica complementaria asociada al juego, que logre motivar la adherencia del usuario al tratamiento, por medio de estímulos sensoriales externos.

Por ende, la combinación de ambas estrategias tecnológicas, abriría nuevas áreas de desempeño profesional científico-humanista, potenciando nuevas investigaciones y diferentes tipos de terapias alternativas que prometen alcanzar una inclusión y un abordaje complementario e integral, en relación a la calidad de vida de las personas, destacando que sería una terapia de bajo costo y transferible a toda la población.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aemedi. (2018). Obtenido de <http://www.aemedi.es/hipoterapia.htm>
2. Aleknaviciuté-Ablonské, V., Savenkoviené, A., Mockeviciené, D., Miliuniené, L. (2015). The effect of hippotherapy on trunk muscles EMG, Grasping and changes of functional mobility of person after coma: case study.
3. Anderson, K., Friend, T., Evans, J. (1998). Behavioral assessment of horses in therapeutic riding programs. Elsevier Science BV; 8, 168 -591.
4. Camille Hilliere, C. Collado-Mateo, D. Villafaina, S. Duque-Fonseca, P. Parraça, J. (2018). Benefits of Hippotherapy and Horse Riding Simulation Exercise on Healthy Older Adults: A Systematic Review. Academia Americana de Medicina Física y Rehabilitación
5. Cnet. (2018). Obtenido de <https://www.cnet.com/es/noticias/hipoterapia-robot-caballo-stewie/>
6. Catalán, J., García, D. (2009). Hipoterapia: Otra alternativa terapéutica en la rehabilitación infantil. Rehabil. Integral, 4 (2): 93-99.
7. Correal, M., Marthá, J., Sarmiento, R. (2015). Influencia de la variabilidad climática en las enfermedades respiratorias agudas en Bogotá. Biomédica, vol. 35, núm. 2, pp. 130-138.
8. Dong Ryul, Lee., Nam Gi, Lee., Hyun Jung, Cha., Yun Sung, O., Joshua Hyun, You. (2011).The effect of robo-horseback riding therapy on spinal alignment and associated muscle size in MRI for a child with neuromuscular scoliosis: An experimenter- blind study. NeuroRehabilitation 29: 23-27.
9. Elgueta, E. Schabrun, S. Danneels, L. Hodges, P. (2014). A clinical test of lumbopelvic control: Development and reliability of a clinical test of dissociation of lumbopelvic and thoracolumbar motion. Manual Therapy, 19(5); 418-424.

10. Elgueta, E. Schabrun, S. Danneels, L. Hodges, P. Van Den Hoorn, W. (2015). Validation of a Clinical Test of Thoracolumbar Dissociation in Chronic Low Back Pain. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*, 45(9); 703-712.
11. Flanagan, A., Liu, X., Cheng, L., Cope, S. (2018). Trunk muscle activation in children with spastic diplegic cerebral palsy using a hippotherapy simulator. *Journal of Musculoskeletal Research*, Vol. 21, No. 1 (10 Pág.).
12. Garres, E. (2016). Prototipo de sistema electromecánico de control para dispositivos con fines lúdicos. Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena.
13. Konrad, P. (2005). *The ABC of EMG a practical introduction to kinesiological electromyography*. (pp 60). Noraxon INC. USA.
14. Gatica, V. (2019). *Sistemas de control del movimiento humano*. (2ª ed.). Editorial Universidad de Talca.
15. Hyun-Ju, NoH., Chan-Myeong, Kim., Ji-Won, Park. (2019). A study on muscle activity based on the ankle posture for effective exercise with indoor horse riding machine. *J. Phys. Ther. Sci.* 31: 170–174.
16. López & Moreno. (2015). Hipoterapia como técnica de rehabilitación y rehabilitación. *Rev Univ. Salud.* 17(2): 271 - 279.
17. Marshall & Murphy. (2013). The validity and reliability of surface EMG to assess the neuromuscular response of the abdominal muscles to rapid limb movement. *El Selvier*, 13, 477–489.
18. Ministerio de Salud. (2016). Norma para la evaluación nutricional de niños, niñas y adolescentes de 5 años a 19 años de edad. Obtenido de <https://www.previenesalud.cl/assets/PDF/normas/2016-norma-evaluacion-nutricional.pdf>
19. O'Sullivan, P. B. (2000). Lumbar segmental instability: clinical presentation and specific stabilizing exercise management. *Manual therapy*, 5(1), 2-12.
20. Park, J., You, J. (2018). Innovative robotic hippotherapy improves postural muscle size and postural stability during the quiet stance and gait initiation in

a child with cerebral palsy: A single case study. *NeuroRehabilitation*, 42, 247–253.

21. Parra, J. (2016). Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía. El zootecnista y su labor con equinos destinados a terapias humanas (equinoterapia), 1-43.
22. SENADIS. (2015). Estudio nacional de la discapacidad en Chile.
23. SENADIS. (2019). Encuesta Casen sobre discapacidad y diagnóstico releva desafíos en materia de inclusión laboral y pobreza. Obtenido de https://www.senadis.gob.cl/sala_prensa/d/noticias/7910/ministerio-de-desarrollo-social-y-familia-entrega-resultados-de-encuesta-casen-sobre-discapacidad-y-diagnostico-releva-desafios-en-materia-de-inclusion-laboral-y-pobreza
24. Smith, J. (1985). Cría y manejo del caballo. Primera edición. España continental S.A de CV. México.
25. Violette & Wilmarth. (2009). Hippotherapy: A Therapeutic Treatment Strategy. [INTERNET]. [Acceso 29 de Julio de 2020]. Disponible en: <https://www.yumpu.com/en/document/read/5697102/hippotherapy-a-therapeutic-treatment-strategy-authors-gallopnyc>