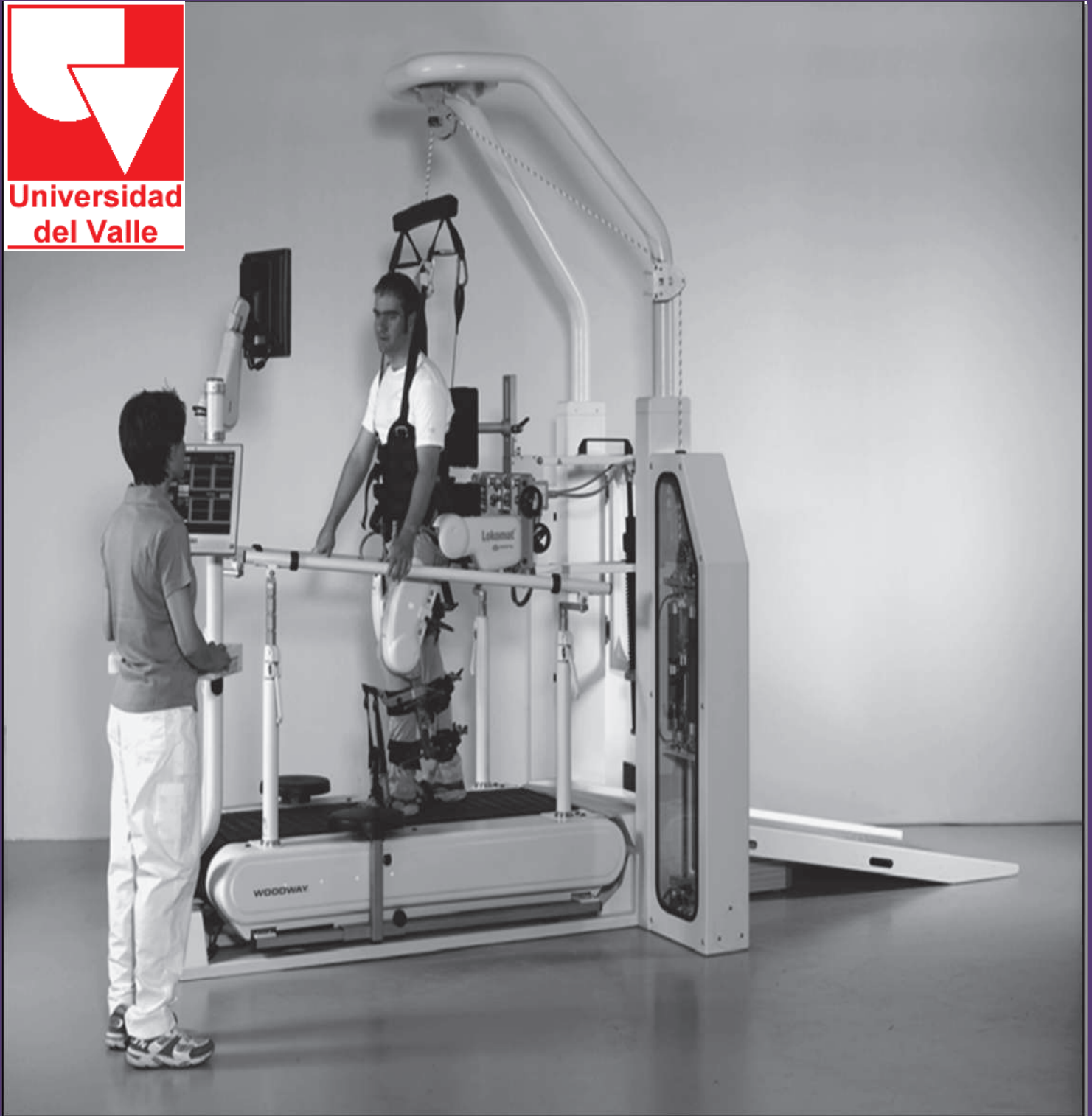




**ESTADO DEL ARTE DE LAS PLATAFORMAS
PARA EL ENTRENAMIENTO DE MARCHA
ASISTIDA CON EXOESQUELETOS**

**ESTADO DEL ARTE DE LAS PLATAFORMAS PARA EL
ENTRENAMIENTO DE MARCHA ASISTIDA CON EXOESQUELETOS**

LEIDY MELISSA BARONA TRUJILLO

LEYDY VIVIANA CHAMORRO LASSO

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE SALUD
ESCUELA DE REHABILITACIÓN HUMANA
PROGRAMA ACADÉMICO DE FISIOTERAPIA
SANTIAGO DE CALI
2012**

**ESTADO DEL ARTE DE LAS PLATAFORMAS PARA EL
ENTRENAMIENTO DE MARCHA ASISTIDA CON EXOESQUELETOS**

INVESTIGADORES:

LEIDY MELISSA BARONA TRUJILLO

LEYDY VIVIANA CHAMORRO LASSO

TRABAJO PARA OPTAR POR EL TITULO DE FISIOTERAPEUTA

ASESOR:

GLORIA PATRICIA ARANGO HOYOS

Fisioterapeuta Especialista en Neurorehabilitación

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE SALUD
ESCUELA DE REHABILITACIÓN HUMANA
PROGRAMA ACADÉMICO DE FISIOTERAPIA
SANTIAGO DE CALI
2012**

AGRADECIMIENTOS

A Dios por bendecirnos, guiarnos e iluminar nuestros caminos constantemente, por brindarnos la paz y tranquilidad necesaria para concluir nuestras metas y alcanzar nuestros sueños.

A nuestra familia por su apoyo incondicional, comprensión y paciencia durante todos estos años.

A nuestra asesora Gloria Patricia Arango por su dedicación y paciencia.

A nuestra escuela de Rehabilitación Humana

A nuestra Universidad del Valle por ser la mejor para los mejores.

A todos los docentes de nuestro programa académico por brindarnos sus conocimientos y más.

RESUMEN

Objetivo: Elaborar un estado del arte de las plataformas empleadas para el entrenamiento de la marcha asistida con exoesqueletos.

Diseño: Tipo de estudio Descriptivo

Metodología: Se realiza una búsqueda bibliográfica entre diciembre y marzo del año 2012, en las diferentes bases de datos Ovid, Ebsco, PEDro, Pubmed, Springer link, Scielo, Cochrane, Hinari, las cuales en su contenido gran parte es sobre temas de salud y Engineering plus, Ieeexplore; que contienen estudios de ingeniería y áreas afines, estas tienen convenio con la Universidad del Valle y se encuentran con acceso libre al público y sus artículos están en formato de texto completo, luego se realiza consignación de características generales de artículos en la tabla destinada para esto, para continuar con el respectivo análisis de la información encontrada. Se proponen las siguientes cuatro fases: la primera de exploración y búsqueda de artículos de investigación referentes al tema, otra fase de organización de información, la siguiente de análisis y por ultimo generación del documento como tal.

Resultados: Al finalizar la búsqueda y análisis de la información se puede decir que el uso de exoesqueletos es una intervención novedosa que se ha desarrollado en los últimos años y se considera una estrategia dinámica e integradora de rehabilitación. Se obtuvo en las diferentes categorías de investigación que muy pocos estudios describen de forma clara los diferentes elementos usados en el entrenamiento de la marcha.

Palabras clave: Terapia de marcha, rehabilitación, exoesqueleto, control de posición, banda caminadora, gait training, treadmill, exoskeleton.

TABLA DE CONTENIDO

	PAGINA
Introducción	
1.1 Pregunta de investigación	13
2. Objetivos	16
2.1 Objetivo general	16
2.2 Objetivo específico	16
3. Justificación	17
4. Antecedentes	19
5. Referente Teórico	24
5.1 Estado del Arte	24
5.2 Plataforma Caminadora	16
5.3 Marcha	17
5.3.1 Marcha Patológica	19
5.3.2 Entrenamiento De La Marcha	24
5.3.3 Marcha asistida con Exoesqueletos sobre banda caminadora	24
5.4 Exoesqueleto	26
5.4.1 Adquisición de señales y adecuación del Exoesqueleto	27
	29

5.4.2 Actuadores en el exoesqueleto	30
5.4.3 Control del exoesqueleto	39
5.4.4 Exoesqueleto desarrollado en la universidad del Valle	40
6. Metodología	37
6.1 Tipo de estudio	42
6.2 Técnicas para la recolección de información	42
6.3 Selección de instrumentos	43
6.3.1 Herramientas de valoración crítica de artículos de Investigación	43
6.3.2 Instructivo	43
6.4 Procedimientos	46
6.4.1 Fase 1: Exploración Y/O Búsqueda De Artículos	47
6.4.2 Fase 2: Organización De La Información (Anexo 1)	47
6.4.3 Fase 3: Análisis De La Información	47
6.5 Palabras Clave	47
6.6 Muestra	50
6.7 Criterios De Inclusión	50
6.8 Criterios De Exclusión	50
6.9 Aspectos Éticos	50
6.10 Materiales	50
7. Resultados	51
7.1 Estado Del Arte	52
7.1.1 Características Generales De La Banda Caminadora.	53
Tamaño y Dimensiones De La Banda – Velocidad - Barras De Soporte	54

7.1.2 Sistema De Soporte y Graduación De Peso Del Paciente	
7.1.3 Mecanismos de Retroalimentación	57
8. Recomendaciones	64
9.1 Tamaño y dimensiones de la banda	64
8.2 Velocidad de la banda	64
8.3 Barras de soporte	65
8.4 Sistema de soporte y graduación de peso del paciente	66
8.5 Mecanismos de retroalimentación	66
9. Discusión	69
10. Referencias	71
11. Anexos	74
	82

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Complicaciones genitourinarias	
Figura 2: Tipos de complicaciones Genitourinarias	14
Figura 3: Diagrama de proyectos de investigación realizados en la universidad del Valle	15
Figura 4:Proceso metodológico estado del arte	23
Figura 5: Plataforma- Banda caminadora	26
Figura 6: Exoesqueleto desarrollado en la Universidad Del Valle	26
Figura 7: Diagrama de metodología	27
Figura 8: Tabla de clasificación y organización de artículos	41
Figura 9: Diagrama de procedimientos	42
	46
	47

Figura 10: Diagrama categorías de investigación	49
Figura 11: Arnés	62
Figura 12: Dimensiones requeridas para la banda sin fin	65
Figura 13: Barras de soporte lateral	66
Figura 14: Barras de soporte anterior y lateral	66
Figura 15: Mecanismo de contrapeso 1	66
Figura 16: Mecanismo de contrapeso 2	67
Figura 17: Arnés tipo completo	67
Figura 18: Arnés tipo paracaídas	68
Figura 19: Sujeto empleando arnés	69
	69

INTRODUCCIÓN

El hombre se encuentra en la constante búsqueda de nuevas herramientas para facilitar la ejecución de actividades que son inherentes a él, una de estas es la marcha, principalmente cuando se ha adquirido alguna discapacidad para ejecutarla, con este fin surge la unión de diferentes disciplinas como una estrategia para abordar esta temática, estas trabajan conjuntamente en la creación de nuevas tecnologías que ayuden a mejorar y potenciar las capacidades presentes en el individuo.

En el Congreso Numero 45 de SERMEF (Sociedad Española de Rehabilitación y Medicina Física), llevado a cabo en el año 2007, se discutió sobre la importancia de las nuevas tecnologías en rehabilitación, se señaló que: "es de gran utilidad el uso de tecnologías de nueva generación en la rehabilitación, tanto a nivel diagnóstico, como de tratamiento y de ayudas compensadoras en pacientes con discapacidades". Actualmente son muy pocos los avances en este tema y los servicios de rehabilitación que los usan son una minoría, a diferencia de los de otras especialidades como la medicina, la ingeniería, en las que se ha hecho un despliegue importante de estos recursos.

Las conclusiones del congreso mencionan "si queremos progresar hacia una medicina moderna de rehabilitación propia del siglo XXI, como ya lo están haciendo otras especialidades, y evitar quedar anclados en el pasado, se tiene que":

- Aplicar, cada vez más, tratamientos basados en evidencia científica y en la prueba científica (un alto porcentaje de las técnicas físicas, clásicas, que se usan actualmente no tienen evidencia científica).
- Hay que evitar individualismos y caminar conjuntamente, para solicitar de la administración, argumentadamente, medios adecuados para conseguir un desarrollo de la rehabilitación acorde con los progresos científicos y tecnológicos de la medicina actual, y todo para garantizar una mejor atención de los usuarios, los pacientes. ⁽¹⁾

Según a las conclusiones del congreso de Sociedad Española de Rehabilitación y Medicina Física (SERMEF) es de vital importancia la aplicación de nuevas tecnologías en el medio y la necesidad de un trabajo interdisciplinar para lograrlo, por esta razón nos unimos con este

proyecto para aportar a la creación de nuevas herramientas que facilitaran el proceso de rehabilitación de individuos que sufran trastornos en la marcha.

El aporte consistió en la investigación del estado del arte de las plataformas para el entrenamiento de marcha asistida con exoesqueletos, proyecto que fue financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad del Valle, en convocatoria interna. A este proyecto estuvo vinculada la docente Gloria Patricia Arango de la Escuela de Rehabilitación Humana y el investigador principal fue el docente José Miguel Ramírez de la Facultad de Ingeniería.

A su vez esta investigación dió continuidad a los proyectos que en esta línea se han adelantado por docentes de las facultades de Ingeniería y Salud de la Universidad del Valle. Estos proyectos fueron: "Diseño y construcción de un exosqueleto para rehabilitación asistida de pacientes con lesiones de rodilla", financiado también por la vicerrectoría de investigaciones y "Exoesqueleto para rehabilitación asistida de pacientes con pérdida parcial o completa del movimiento de los miembros inferiores, fase 1: Equilibrio" financiado por Colciencias.

La metodología que se implementó para el desarrollo de este proyecto se enmarco dentro del concepto de estado del arte, se basó en una secuencia de fases que tienen como objetivo proporcionar coherencia y sentido para la estructuración del trabajo.

Según la metodología propuesta el proyecto se dividió en las siguientes fases las cuales estuvieron enmarcadas dentro del cronograma al cual se le dio cumplimiento.

FASE 1: Búsqueda de la información

FASE 2: Organización de la información

FASE 3: Análisis de la información

FASE 4: Generación del documento

A continuación se presenta un resumen del proyecto de investigación al cual estuvo vinculado este trabajo de investigación:

PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN: Marcha asistida con un exoesqueleto: Plataforma Caminadora.

RESUMEN DEL PROYECTO: Debido a la importancia que tiene para el ser humano el poder desplazarse, es fundamental contar con técnicas de rehabilitación con las que se logre disminuir las implicaciones económicas, debido a los largos periodos de recuperación y los episodios de tipo social y emocional los cuales se originan si ésta no es la adecuada o la esperada, independientemente del origen de la lesión. Con este proyecto se pretende asistir a una persona durante la marcha con un exoesqueleto de miembros inferiores, al realizarla sobre una plataforma caminadora. Este objetivo general se lograra, mediante el estudio del estado del arte, análisis de la marcha humana, la definición de las especificaciones adecuadas para el sistema de entrenamiento, un diseño de la plataforma y su correspondiente desarrollo; finalmente validando el alcance de las especificaciones. Las actividades para lograr lo anterior, se plantearon a partir de la metodología para el desarrollo de proyectos de control. Los resultados del proyecto se difundirán socialmente en un evento nacional, en internet y en una revista catalogada. Se formaron dos grupos conformados por estudiantes de pregrado de maestría.

La investigación se oriento hacia los aspectos de la ingeniería biomédica relacionados con el manejo de discapacidades en el sistema musculoesquelético, que incluyeron modelado, control y análisis de la marcha, así como el uso de un exoesqueleto de miembros inferiores para apoyar la marcha. Desde el punto de vista médico, la investigación se relaciono con las áreas de ortopedia y rehabilitación.

A futuro se espera generar teorías y contribuciones tecnológicas en la coordinación humano-exoesqueleto-caminadora para apoyar la marcha humana y que permitan desarrollar ayudas terapéuticas para la rehabilitación de personas problemas para la marcha.⁽²⁾

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia según el CENSO GENERAL DE DISCAPACIDAD llevado a cabo en el año 2005 arrojó como resultado que el 29.3 % de la población se encuentra en situación de discapacidad, de este porcentaje un 12% poseen limitaciones para la marcha específicamente. ⁽³⁾

El movimiento y la marcha constituyen elementos básicos para el bienestar de una persona y representan una fuente considerable de beneficios ya que además de su significativa funcional la bipedestación influye positivamente en funciones físicas, psicológicas y emocionales.

La descarga de peso que se sostiene durante la bipedestación es esencial para conservar un alto contenido de calcio en los huesos y a la vez, para prevenir posibles fracturas. La bipedestación activa también la circulación, tanto en su componente cardíaco como en el periférico, especialmente a nivel tisular. ⁽⁴⁾

También es importante contemplar las complicaciones genitourinarias que se presentan a los individuos que han sufrido una lesión neurológica la cual comprometió la función de la marcha ya sea una lesión medular o una accidente cerebro vascular ⁽⁶⁵⁾⁽⁶⁶⁾

Tabla 3. Frecuencia de las complicaciones observadas durante la internación de 138 pacientes ingresados por ACV al Hospital de Clínicas entre 1.03.98 y 30.11.98.		
COMPLICACIÓN	Frecuencia	
	n	%
Infecciones respiratorias(*)	24	17,4
Infección urinaria	23	16,7
Ansiedad / depresión	15	10,9
Coma	13	9,4
Alteraciones metabólicas(†)	13	9,4
Éscaras	9	6,5
Hemorragia digestiva	7	5,1
Arritmia	7	5,1
Flebitis	6	4,3
Insuficiencia cardíaca descompensada	5	3,6
Hombro doloroso	5	3,6
Recurrencia de ACV	4	2,9
Crisis epilépticas	4	2,9
Fiebre sin foco	4	2,9
Hematuria	4	2,9
Fecaloma	3	2,2
Diarrea	3	2,2
Lesiones cutáneas diversas	3	2,2
Intoxicación por fenitoína	2	1,4
HTA severa, sintomática	2	1,4
Caídas	2	1,4
Infarto agudo de miocardio	1	0,7
Tromboembolismo pulmonar	1	0,7
Trombosis venosa profunda	1	0,7
Colecistitis aguda	1	0,7
Encefalopatía de Wernicke	1	0,7
Intoxicación por benzodiacepinas	1	0,7
Orquiepididimitis	1	0,7

Figura 1. Complicaciones Genitourinarias.

Tabla 7. Caracterización clínica de pacientes con lesiones traumáticas de la médula espinal. CIREN 2000. Complicaciones urogenitales.		
Tipo de complicación	No	%
Infección urinaria	59	73.75
Vejiga neurogénica	72	90
Divertículos vejiga y uretra	12	15
Litiasis vejiga	5	6.25
Dilatación sistema excretor	9	11.25
Reflujo vésico ureteral	3	3.75
Vulvovaginitis	6	7.5
Uretritis	3	3.75
Litiasis renal	1	1.25
Disfunción sexual	10	12.5
Estenosis uretral	4	5
Trauma uretral	1	1.25
Hipospadia traumática	1	1.25
Fuente: Historias clínicas.		

Figura 2. Tipos de Complicaciones Genitourinarias

Por estas razones a lo largo del tiempo, el hombre ha buscado diferentes formas de facilitar la ejecución de la marcha humana cuando se presentan problemas y limitaciones en ella, sin embargo ningún medio de locomoción ha conseguido alcanzar las características en términos de flexibilidad y adaptación a situaciones como subir o bajar escaleras, desplazamientos sobre terrenos irregulares, en lugares estrechos o trabajos en puestos de dimensiones reducidas. Por eso es de vital importancia el desarrollo de nuevos sistemas de soporte en la marcha que favorezcan el proceso de rehabilitación.

De esta manera con el documento que genere esta investigación servirá para, en un futuro cercano construir la plataforma para entrenamiento de marcha ajustada y con las adaptaciones necesarias al exoesqueleto de miembros inferiores. Se pretende dar respuesta al interrogante:

1.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es el estado del arte de las plataformas para la terapia de marcha asistida con exoesqueletos de miembros inferiores.

2. OBJETIVOS

2.1 GENERAL

Elaborar un estado del arte de las plataformas empleadas para el entrenamiento de la marcha asistida con exoesqueletos.

2.2 ESPECÍFICOS

- Describir las características de las plataformas empleadas actualmente en la rehabilitación de la marcha usando exoesqueletos.

3. JUSTIFICACIÓN

Actualmente en el medio, los procesos de rehabilitación presentan grandes limitaciones entre las que se cuentan: los tiempos reducidos para la práctica de las actividades funcionales dentro de las sesiones de terapia y la imposibilidad para garantizar la práctica consistente de la actividad aun en presencia permanente del terapeuta durante la ejecución, esto genera dificultades para mantener constantes los estímulos necesarios para obtener la misma respuesta.

Se suma a la problemática expuesta, las limitaciones en los procesos de medición de la condición del paciente y sus logros, que en la mayoría de los casos son de carácter subjetivo y no permiten dar cuenta de la evolución en el tratamiento. Existe un interés en el grupo de profesionales de la rehabilitación por obtener mediciones objetivas, confiables y repetibles en estos procedimientos y por emplear ayudas durante la intervención, que permitan aumentar los tiempos de práctica, mejorar la consistencia de la misma y ajustar la exigencia a la evolución del paciente, dándole importancia a los sistemas robóticos e informáticos para el logro de estos objetivos.

La marcha es una de las facultades más importantes y es una característica del ser humano, es imprescindible para la realización de la mayoría de las tareas funcionales que realiza. Las estadísticas de personas con limitación en el movimiento y la marcha son altas según la Censo General de Discapacidad del año 2005 en Colombia ⁽³⁾ por esta razón, esta es una de las funciones mas exploradas en rehabilitación.

La marcha se considera una de las siete actividades funcionales esenciales, imprescindibles para la supervivencia y la autoprotección, para la interacción con el medio ambiente y para el bienestar físico y psicológico del individuo; y, por último, que se correlaciona con la gravedad de la discapacidad física, estando relacionada con la puntuación del índice de Barthel, y que resulta imprescindible para la mayoría de las tareas funcionales. ⁽⁵⁾

El prototipo de exoesqueleto con el que cuenta la Universidad del Valle actualmente requiere para la iniciación de las pruebas clínicas de la adaptación de una plataforma de entrenamiento que se ajuste a los requerimientos que permitan el entrenamiento de la marcha.

La plataforma de marcha mejorará estos procesos de rehabilitación al permitir el entrenamiento de un patrón de marcha más fisiológico, aumentar la duración y la consistencia de la terapia, registrar la evolución del paciente, aprovechar mejor el recurso humano en rehabilitación y reducir sus lesiones laborales.

La mejoría en estos parámetros de la marcha incrementará las posibilidades de deambulación en un gran número de pacientes, lo que impacta de manera directa su calidad de vida y su reubicación socio laboral. ⁽²⁾

En el medio se encuentra que no hay suficiente información sobre las características para la construcción de una plataforma de marcha que cumpla con las exigencias necesarias para brindar un entrenamiento de la marcha sobre estas. Por esta razón es necesaria la realización de este trabajo de investigación con el fin de conocer la información necesaria para la construcción de una plataforma que cumpla con los requerimientos necesarios para el entrenamiento de marcha sincronizada a exoesqueletos.

El conocimiento resultante de esta investigación será empleado inmediatamente por los grupos de investigación de las Facultades de Ingeniería y Salud de la Universidad del Valle para la fabricación y selección de la plataforma de entrenamiento que requiere para la realización de las pruebas clínicas del exoesqueleto y también poder ser utilizado por otros grupos de investigación que trabajan en el área.

De esta manera se desarrollará el presente documento una investigación sobre el estado del arte de las plataformas para el entrenamiento de la marcha asistida con exoesqueletos.

4. ANTECEDENTES

Esta investigación tuvo sus inicios en el año 2008 con el proyecto **Diseño y construcción de un exoesqueleto para rehabilitación asistida de pacientes con lesiones de rodilla**, apoyado y financiado por la Universidad del Valle dentro del grupo de investigación GICI (Grupo de investigación en Control Industrial) cuyo investigador principal es el docente José Miguel Ramírez Scarpetta, Ph.D. En este proyecto se diseñó y construyó un exoesqueleto para mejorar la función de la articulación de la rodilla en pacientes que requieran asistencia por pérdida parcial o completa del movimiento ya sea transitoria o permanente.

El exoesqueleto consiste de una órtesis y una estructura mecánica que cubre la pierna y un sistema de control (con controlador, actuador y sensores) adjunto. El exoesqueleto posee un sensor que mide la posición angular de la articulación, un sensor de fuerza que indica el torque medido y electrodos electromiograficos (EMG) que indican la intención de movimiento. Estas señales se analizan por una unidad de procesamiento de datos y luego se envían a un microcontrolador que es el responsable de calcular el movimiento deseado y enviar la señal de control apropiada a un amplificador PWM, el cual controla a un motor que da movimiento a la articulación a través de una transmisión mecánica, de acuerdo con los requerimientos definidos en la terapia.

En un futuro, la idea es desarrollar un exoesqueleto capaz de darle movilidad y estabilidad a un paciente parapléjico para desarrollar tareas de marcha en diferentes ambientes, para ello se desarrollará un exoesqueleto de 6 articulaciones (cadera, rodilla y tobillo).

Como parte de la investigación anterior en el año 2009, Yuliet Rivas Campo inició su trabajo titulado **Definición de las variables y parámetros en el estudio de la ejecución motora de tareas discretas para el uso de un exoesqueleto de rodilla en actividades de rehabilitación física**. En este realizó una investigación profunda sobre las variables mecánicas de este desarrollo tecnológico para tener en cuenta al realizar su construcción, de manera que resulte beneficioso para los pacientes que presenten alguna restricción en el movimiento de la articulación de la rodilla, para un solo grado de libertad en el movimiento de flexo-extensión.

En el año 2010 Manuel Chávez Cardona y Felipe Rodríguez Spitia, realizaron la investigación **Instrumentación electrónica de un exoesqueleto para rehabilitación asistida de rodilla** en la cual se describe el desarrollo de un sistema electrónico de rodilla, se presentó una amplia investigación para determinar cuáles son las variables que competen al movimiento de miembro inferior y el uso de estas variables en exoesqueletos. Como resultado se escogieron, aceleración lineal de los miembros, ángulo de las articulaciones, presión plantar, biopotenciales de los músculos y velocidad angular, como las variables a medir en este trabajo. Se realizó también un diseño de una red de comunicación que permite la transferencia de señales de los diferentes sensores hacia un procesador central y desde este hacia un computador en el cual se pueden observar las señales capturadas por medio de una interfaz gráfica diseñada. Además se plantearon y construyeron los sistemas de acondicionamiento necesarios para cada sensor y cada componente del sistema.

Finalmente, se tiene un sistema de instrumentación electrónica genérico y expandible, al cual se le pueden añadir o remover elementos, permitiendo así que pueda ser utilizado no solamente para exoesqueletos de rodilla, sino también para exoesqueletos de miembros inferiores o superiores.

Después del primer proyecto se propuso la segunda parte que fue **exoesqueleto para Rehabilitación Asistida de pacientes con pérdida parcial o completa del movimiento de los miembros inferiores. Fase 1: Equilibrio**, Las entidades Financiadoras para este proyecto fueron Colciencias y la Universidad del Valle.

Este se propuso con el objetivo de diseñar y construir un exoesqueleto con torso de soporte, cadera y rodillas accionadas, con dos piernas de igual longitud, con tobillo y pies de apoyo, para mantener el equilibrio en posición bípeda. Este exoesqueleto consiste de una órtesis adecuada a la condición de discapacidad de la persona que cubre la pierna y un sistema de control (con controlador, actuadores y sensores) adjunto a él. Este dispositivo es capaz en primera instancia, de mantener el equilibrio en pie del exoesqueleto adherido a un maniquí, manipulando los actuadores de la cadera y las rodillas y usando pies de apoyo. Se definieron los requerimientos de diseño del exoesqueleto a partir de los rangos de movimiento, la velocidad y el torque de la articulación los cuales dependen de los movimientos que se requieran desarrollar. El tamaño se ajustará a las medidas antropométricas de los pacientes colombianos, con peso y consumo de energía bajos, actuadores y transmisiones mecánicas eficientes.

El exoesqueleto emplea sensores de ángulo que miden las posiciones angulares de la cadera y la rodilla, sensores de fuerza pegados sobre la base de los pies que indican las fuerzas de reacción. Estas señales se procesan por medio de una unidad de procesamiento de datos, luego se envían a un microcontrolador que es el responsable de calcular el movimiento deseado y enviar la señal de control apropiada a un amplificador PMW, el cual energizará motores de alta eficiencia y alto desempeño dinámico, que mueven las articulaciones.

Como parte de los objetivos específicos necesarios para la realización de esta investigación estuvieron: Obtener el estado del arte en diseño, construcción, modelado y control de exoesqueletos bípedos utilizados en marcha y aplicaciones en rehabilitación.

En el año 2011 se incorporaron al grupo de investigación los estudiantes de fisioterapia Alexis Fernanda Cardona, Jennifer Lasso Gonzales y Víctor Felipe Rojas con la investigación titulada **Asistentes robóticos para la rehabilitación de marcha** cuyo objetivo fue dar a conocer las características de las intervenciones con exoesqueletos, sus resultados y las herramientas proporcionadas para mejorar el proceso de rehabilitación.

Como resultado presentaron una revisión sistemática de artículos publicados en los últimos 10 años en las bases de datos Ovid, PEDro, Pubmed, Springer Link, EBSCO, Scielo, Hinari y Cochrane referentes al proceso de rehabilitación de marcha en pacientes que cursen estadios subagudo o crónico de enfermedad cerebro vascular empleando asistencia robótica; específicamente se describen las características de los asistentes, las metodologías empleadas para la intervención y los resultados encontrados.

Ellos concluyeron que la heterogeneidad en las características de los estudios encontrados no permiten realizar una correlación precisa de variables con respecto a las categorías de interés analizadas en cada publicación, sin embargo, encontraron que hay una ventaja del entrenamiento con asistencia robótica frente al realizado de manera convencional sin arrojar resultados estadísticamente significativos. Con periodos de intervenciones superiores o iguales a 8 semanas, frecuencias de entrenamiento de 5 días/sem y entrenamientos con asistencia robótica en pacientes que cursan estadio subagudo de la patología se muestran cambios sobre la variable común a los estudios, la velocidad.

En el presente año se están desarrollando dos proyectos **Marcha asistida con un exoesqueleto: evaluación y ajuste de la interfaz de usuario y marcha asistida con un exoesqueleto: plataforma caminadora**, financiados por la Vicerrectoría de Investigaciones de la universidad del Valle.

El primer proyecto busca evaluar la interfaz de usuario diseñada inicialmente para un exoesqueleto de rodilla, y posteriormente para un exoesqueleto completo de miembros inferiores. La evaluación se hará teniendo en cuenta las interfaces de usuarios diseñadas para otros exoesqueletos de MMII, las necesidades expresadas por un grupo de profesionales de rehabilitación y los requerimientos en los protocolos de intervención empleados actualmente para la rehabilitación asistida por exoesqueletos de miembros inferiores. Posterior a la evaluación y la determinación de los aspectos por mejorar, se procederá a hacer los ajustes necesarios a la interfaz y las pruebas de su funcionamiento con un sujeto sano para de esta manera, entregar al grupo de investigación una herramienta mejorada que pueda empezar a ser validada con pruebas clínicas.

Con el segundo proyecto se busca asistir a un humano durante la marcha usando un exoesqueleto artificial de miembros inferiores, caminando sobre una banda sin fin o banda caminadora; para ello, se concebirá e implementará una plataforma para terapia de marcha asistida con un exoesqueleto de miembros inferiores.

A estos dos proyectos se unen Leidy Melissa Barona Trujillo y Leidy Viviana Chamorro Lasso como investigadoras para realizar el **Estado del arte de las plataformas para el entrenamiento de la marcha asistida con exoesqueletos**. El cual servirá de referente conceptual para desarrollar tanto la plataforma como la interfaz de usuario, también se tendrá en cuenta los resultados de esta investigación para el nuevo proyecto que se encuentra aprobado por Colciencias titulado **Marcha asistida con un exoesqueleto** pendiente aun por iniciar su desarrollo.

En la figura 3 se presenta un diagrama de flujo, en el cual se exponen los proyectos de investigación, referentes al objeto de estudio, llevados a cabo en la Universidad del Valle en los que participaron las Facultades de Ingeniería y Salud.

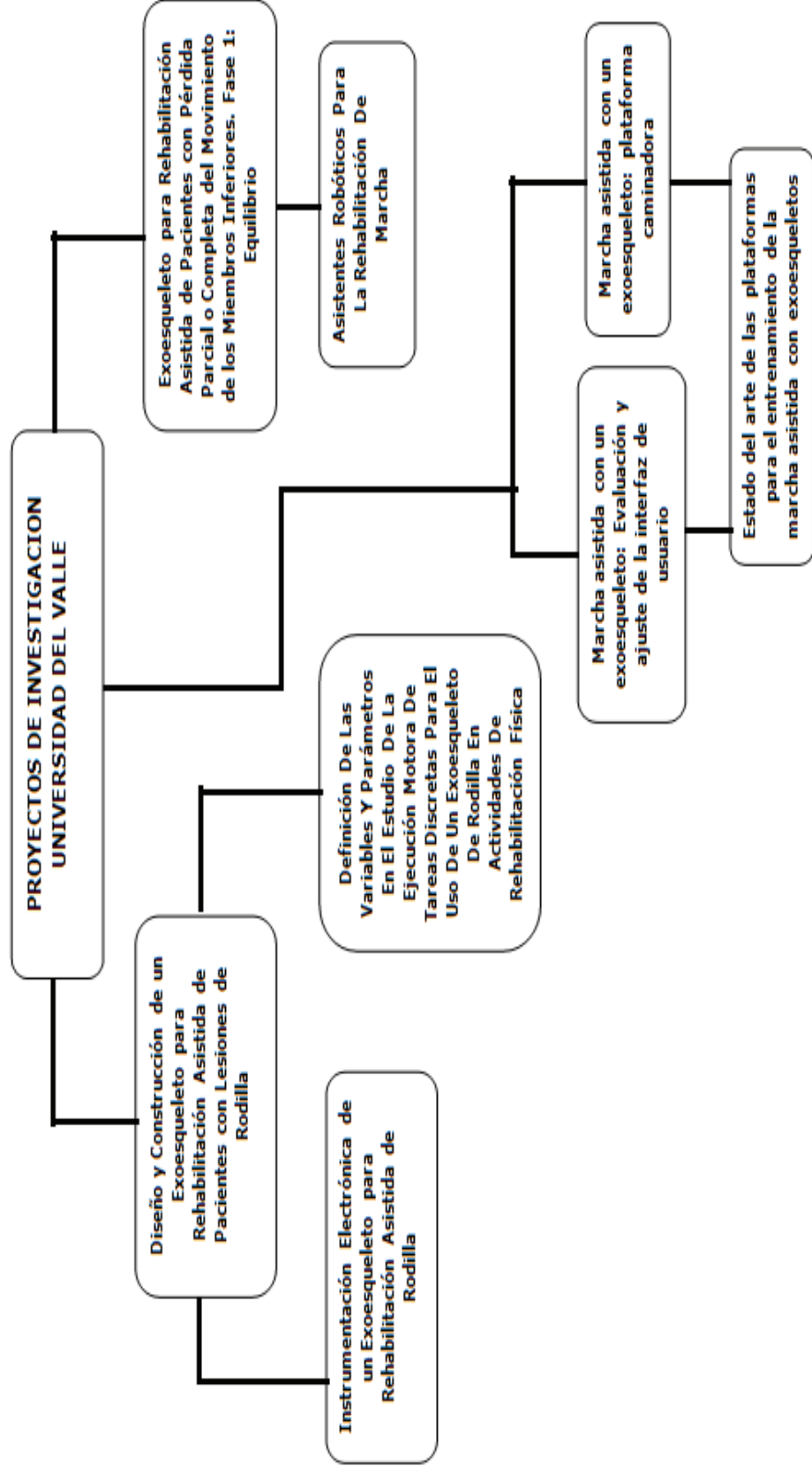


Figura 3: Diagrama de proyectos de investigación de la Universidad del Valle

5. REFERENTE TEÓRICO

5.1 ESTADO DEL ARTE

Esta noción es relativamente nueva dentro de los procesos de investigación, su aparición se sitúa en la década de los años 80 y con ello se pretendía establecer qué se sabía sobre una temática con la intención de fundamentar políticas y alternativas de acción para el desarrollo social en lo referente a América Latina.

Según la investigadora Gloria Calvo "se puede decir que los estados del arte nacen con la pretensión de hacer un balance de la investigación en la región" orientado a aclarar la distinción existente entre Marco Teórico, Revisión Documental y Cúmulo de Evidencias que se tenían sobre una problemática, también para establecer la evolución en la formación de investigadores, el énfasis temático sobre el cual los diferentes grupos habían concentrado sus esfuerzos y analizar los métodos utilizados en un periodo de tiempo determinado.

Con estos balances de la investigación por temas se buscaba evidenciar por una parte la cantidad de trabajos realizados, las diferentes maneras de abordar un problema en el contexto de un país, los métodos que se privilegiaban y el tipo de problemáticas que habían logrado una financiación. En consecuencia se puede concluir que en la realización de los Estados del Arte la intencionalidad no era aportar nuevas teorías sino hacer evidente la destinación de los recursos de los fondos de investigación.

Lo que se plantea como aspecto importante es que el ESTADO DEL ARTE es ante todo una revisión de lo que sobre un tema se ha producido, a partir de los textos y estos productos son objeto de investigación, es decir investigación sobre la investigación.⁽⁶⁾

"El estado del arte es, entonces, una investigación de carácter bibliográfico que se realiza con el objeto de inventariar y sistematizar la producción en determinada área del conocimiento.

También se define como una de las modalidades cualitativas de la Investigación', que busca sistematizar los trabajos realizados dentro de un área dada, llamar la atención sobre los cambios más prevalentes, los enfoques y los métodos; destacar las relevancias, redundancias y vacíos que contribuyan a tomar decisiones que impulsen la investigación dentro del tópico considerado" ⁽⁷⁾.

"Entendemos entonces 'estado del arte' como el nivel de conocimiento y/o el grado de desarrollo alcanzado en un campo dado, con énfasis en la producción científica reciente pero sin olvidar la importancia de su construcción histórica y social. El grado de mayor desarrollo temático sobre un tópico específico en el presente" Un Estado del arte implica aproximarse a través de fuentes documentales a un verdadero laberinto de perspectivas epistemológicas, posturas ideológicas y supuestos implícitos y explícitos, así como a una variedad de metodologías descriptivas y analítica y de afirmaciones y propuestas, fundadas e infundadas, que oscurecen el campo de la investigación, haciéndolo ininteligible a simple vista. ⁽⁸⁾

Para construir el estado del arte que permita conocer el estado investigativo del tema específico, se necesita para su elaboración realizar una amplia búsqueda y recopilación de todas las fuentes de información sobre el tema de interés, luego se debe realizar una lectura y análisis de lo encontrado con el fin de escoger las fuentes de información mas confiables y actuales y realizar con estas un análisis y clasificación de acuerdo a la importancia dentro de la investigación. Para facilitar esta búsqueda se sugiere: organizar la información obtenida y comprender a la perfección el tema de investigación. ⁽³²⁾

Entre las características generales de un estado del arte encontramos que es una técnica de recolección y validación de información, tiene la finalidad de analizar los hechos, proporcionar conocimientos nuevos y ser una guía para la acción, debe responder a las exigencias de confiabilidad y validez, debe realizar una recopilación adecuada de datos que permitan redescubrir hechos, sugerir problemas, orientar hacia otras fuentes de investigación, orientar formas para elaborar instrumentos de investigación, elaborar hipótesis entre otros.

Para elaborar un estado del arte se proponen las siguientes fases: una fase Heurística que consiste en la búsqueda y recopilación de las fuentes de información, que pueden ser de muchas características y diferente naturaleza, una fase Hermenéutica de lectura, análisis, interpretación, clasificación de acuerdo con su importancia; selección de los puntos fundamentales. Se propone el siguiente procedimiento metodológico para la elaboración paso a paso de un estado del arte. ⁽⁶²⁾

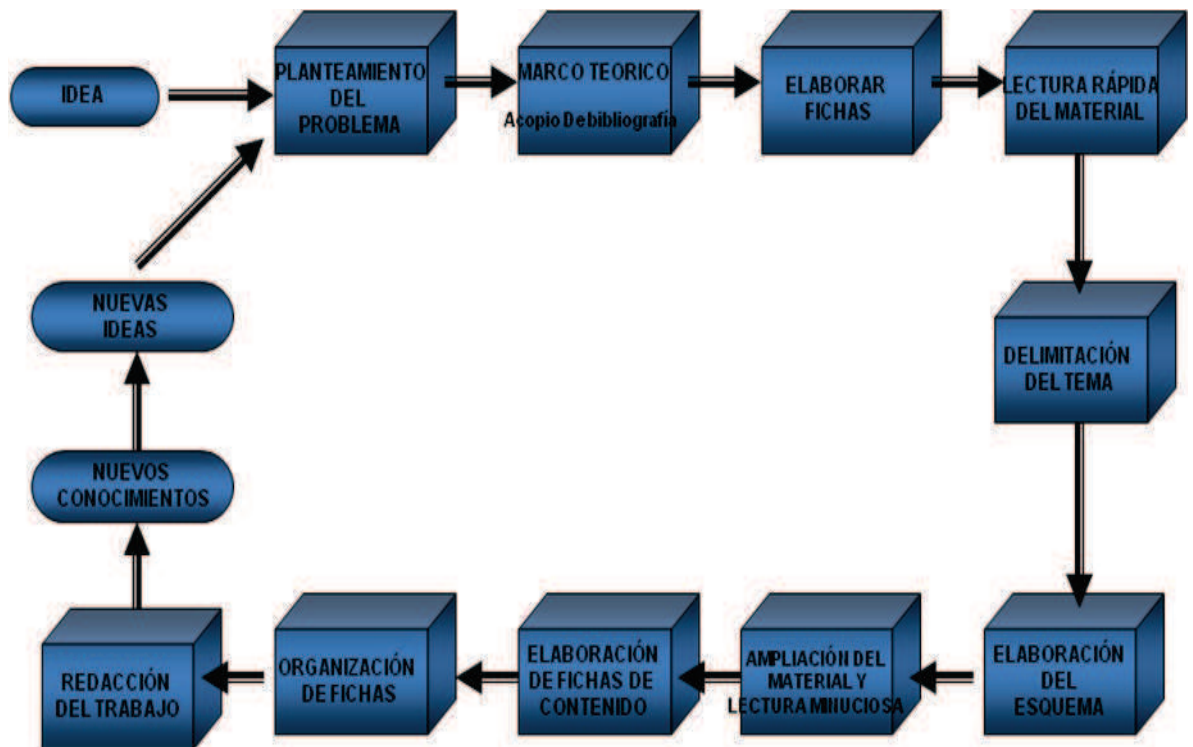


Figura 4. Procedimiento Metodológico Estado del Arte

5.2 PLATAFORMAS CAMINADORAS

Como se menciona anteriormente no hay suficiente información sobre las características que deben tener las plataformas caminadoras, para realizar entrenamiento de marcha, al momento de realizar una búsqueda bibliográfica sobre esta tema, la información que se encuentra es la que está en el presente documento complementada por de Ramírez José Miguel en el proyecto de Marcha Asistida con un Exoesqueleto: Plataforma Caminadora donde consideran las plataformas como el conjunto de elementos necesarios para realizar el entrenamiento de marcha, de los cuales hace parte la banda caminadora, conformada por una banda sin fin que gira accionada por un motor. Adicionalmente incorporan instrumentación que calcula la distancia recorrida y algunas variables físicas como la frecuencia cardíaca. La velocidad se ajusta manualmente y es el usuario quien debe garantizar el posicionamiento sobre la banda; equipos más sofisticados incluyen sistemas de absorción del choque del pie durante la marcha y ajuste automático de la velocidad⁽²⁾ las barras de soporte para apoyo de miembro superior, el sistema de soporte de peso compuesto por el arnés y porcentaje de peso corporal descargado en la banda, el sistema de retroalimentación, biofeedback y el software empleado. La figura 5 ilustra los

componentes mencionados. Para la elaboración del documento se contemplo la misma descripción de plataforma caminadora planteada por Ramírez, José Miguel y se espera que con esta investigación se logre obtener información que sea útil para diversas y futuras investigaciones en las que se usen plataformas caminadoras.

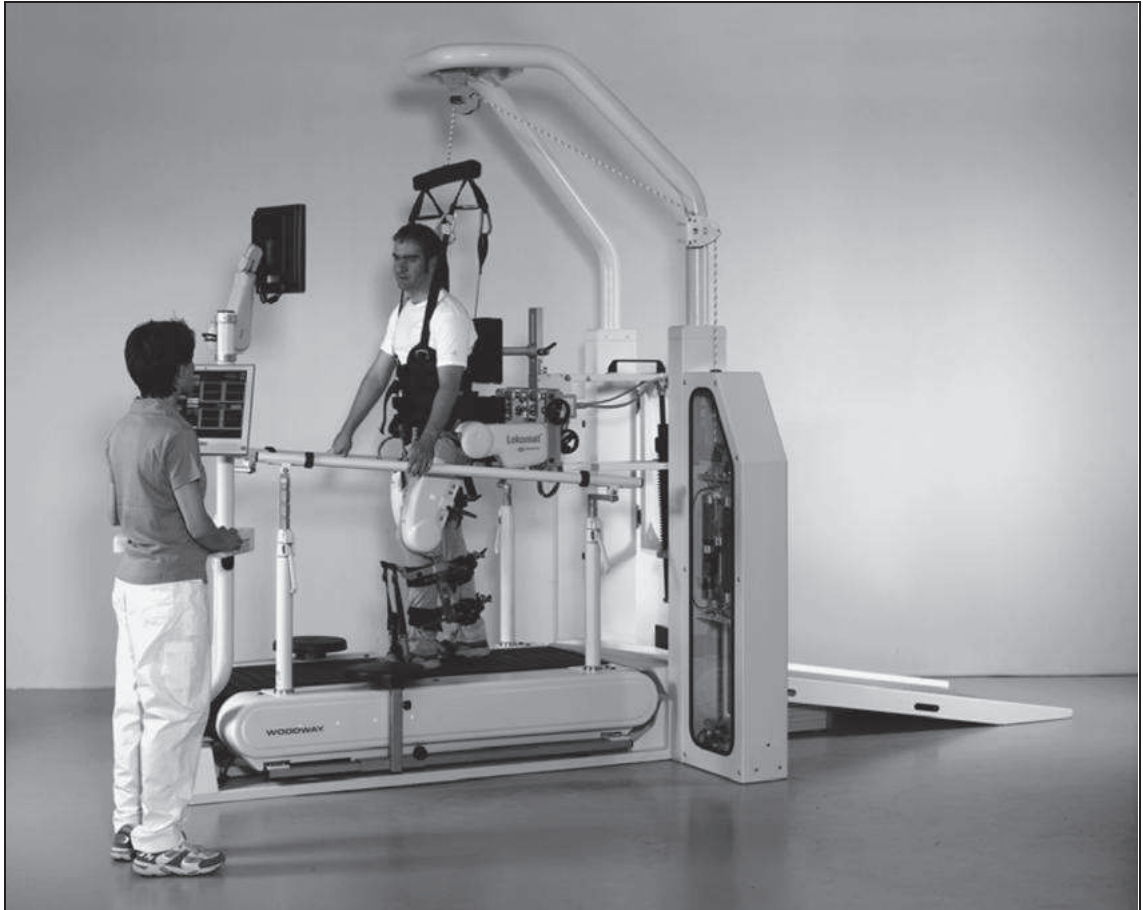


Figura 5. Plataforma- Banda Caminadora

5.3 MARCHA

La marcha humana es un proceso de locomoción en el cual el cuerpo humano en posición erguida se mueve hacia delante y su peso es soportado alternadamente por ambas piernas. Esta es el resultado de una sucesión de pasos, siendo el paso el conjunto de fenómenos que se producen entre el apoyo de un talón y el apoyo sucesivo del talón contralateral, mientras que el ciclo de la marcha es el conjunto de acciones realizadas y fenómenos producidos desde el contacto del talón con el suelo hasta el siguiente contacto del mismo talón con dicho plano de apoyo. Los dos mayores componentes del ciclo de la marcha son: la fase de apoyo y la fase de balanceo u oscilación. Una pierna está en fase de apoyo cuando está en contacto con el suelo y

está en fase de balanceo cuando no toca con el suelo. La fase de apoyo (stance phase) comienza con el contacto inicial y finaliza con el despegue del antepié. Se destacan cinco momentos a saber: contacto inicial, inicial de apoyo o de respuesta de carga, media del apoyo, final del apoyo y previa a la oscilación. La fase de oscilación (swing phase) transcurre desde el instante de despegue del antepié hasta el contacto con el suelo y la constituyen tres momentos: inicial de oscilación, media de la oscilación y final de la oscilación.⁽²⁸⁾ Mientras el cuerpo se desplaza sobre la pierna de soporte, la otra pierna se balancea hacia delante como preparación para el apoyo siguiente. Uno de los pies se encuentra siempre sobre el suelo y en el período de transferencia de introducción del peso del cuerpo de la pierna retrasada a la adelantada existe un breve intervalo de tiempo durante el cual ambos pies descansan sobre el suelo; es el período de doble apoyo. Al aumentar la velocidad de la marcha, los 5 periodos bipodales o de doble soporte se tornan más cortos, hasta que el sujeto eventualmente comienza a correr, siendo así reemplazados por lapsos breves de tiempo en los que ambos pies se encuentran en el aire. El plano sagital se identifica con el plano de progresión de movimiento; los movimientos más importantes de las articulaciones que permiten la caminata ocurren en este plano, aunque se requieren movimientos adicionales en el plano frontal para lograr un adecuado balance y en el plano transversal para mejorar la eficiencia energética de la caminata.

El pie es un elemento fundamental para la comprensión de los mecanismos del paso. Por su localización está destinado a recibir toda la carga del cuerpo. Sirve de soporte al peso corporal durante el apoyo estático o en la fase de apoyo de la marcha. No se trata únicamente de una plataforma de apoyo estable y sólido, sino que también se adapta a la forma y relieve de la superficie. Cuando se aumenta la velocidad de la marcha los períodos de apoyo bipodal se van reduciendo y al correr son reemplazados por breves intervalos de tiempo en los que los dos pies se encuentran en el aire (fases de vuelo). El sujeto cuando camina se desplaza de un punto a otro y durante esta acción el cuerpo puede asimilarse a una masa sometida a traslaciones que imprimen los miembros inferiores y que sufre la acción de la gravedad, la inercia y la aceleración. Durante el desplazamiento han de vencerse resistencias y esto ocasiona un gasto de energía.⁽²⁰⁾

El ser humano necesita conseguir una postura estable en bipedestación antes de iniciar la marcha. En la posición bípeda la estabilidad mecánica se basa en el soporte musculoesquelético que se mantiene gracias a los reflejos posturales y a la integración de los estímulos aferentes visuales, vestibulares y propioceptivos. Las

respuestas posturales son contracciones sinérgicas y coordinadas de los músculos del tronco y de las extremidades que corrigen y controlan el balanceo corporal y permiten el mantenimiento de la postura vertical del cuerpo. Conseguido este equilibrio puede iniciarse la locomoción o capacidad para mantener un paso rítmico y estable.

La locomoción humana normal se ha descrito como una serie de movimientos alternantes, rítmicos, de las extremidades y del tronco que determinan un desplazamiento hacia delante del centro de gravedad. Más específicamente, la locomoción humana normal puede describirse enumerando algunas de sus características. Aunque existen pequeñas diferencias en la forma de la marcha de un individuo a otro, estas diferencias caen dentro de pequeños límites.
(21)

5.3.1 MARCHA PATOLÓGICA

La marcha se puede ver afectada por diversos motivos como lesiones del sistema nervioso, lesiones musculares, enfermedades degenerativas como Parkinson, alteraciones sensoriales, deterioro muscular, alteraciones del equilibrio, alteraciones cognitivas, alteraciones de la visión entre otras. La semiología más común de los procesos patológicos que afectan a la marcha de forma esquemática son: dolor, limitación del movimiento, debilidad muscular, control neurológico deficitario.

Las reacciones fisiológicas al dolor van a alterar la marcha introduciendo además otros elementos como la limitación del movimiento y la debilidad muscular. La articulación dolorosa tiende a adoptar una postura que coincide con la mínima presión intraarticular (tobillo: 15° de extensión, rodilla: 30°-45° de flexión y cadera: 30° de flexión), en estas posiciones se produce la máxima laxitud de cápsula y ligamentos. El patrón característico de marcha antalgica se presenta con disminución de la velocidad, disminución de la cadencia, disminución de la longitud de la zancada, disminución del tiempo de apoyo, abducción de los miembros superiores, para intentar levitación del centro de gravedad y disminución de presiones sobre el miembro en apoyo.

La contractura o retracción suele ser la causa más habitual como consecuencia de una inmovilidad prolongada o como secuelas de una lesión. Por ejemplo en el tobillo, una contractura en flexión plantar dificulta la progresión de la tibia durante la fase de apoyo e imposibilita una separación adecuada del pie durante la oscilación. La contractura en flexión de rodilla bloquea la progresión durante la fase de apoyo. En la contractura de la cadera en flexión, puede haber

una inclinación anterior de la pelvis y el tronco si no hay compensación lumbar.

La debilidad muscular puede ser debida a una atrofia muscular por desuso, a lesiones neurológicas y a miopatías. Las predicciones sobre la capacidad de marcha, basadas en test manuales, se ven limitadas por la imposibilidad de los mismos para identificar los niveles máximos de fuerza muscular. Por ejemplo en la rodilla la máxima resistencia al examinador (grado 5) representa únicamente el 53% de la correspondiente a un miembro sano. Durante la marcha los músculos trabajan a un nivel 3+, lo que supone un 25% de la fuerza normal, aunque un reciente estudio de Nerin et al. 1999, demuestra que las mujeres necesitan un mayor esfuerzo muscular durante la marcha por las diferencias en la composición corporal.

Se pueden presentar en patologías del sistema nervioso central o periférico: diferentes alteraciones básicas, que se pueden dar combinadas y con diferente intensidad estas alteraciones pueden ser:

- Espasticidad, como causas frecuentes de una marcha espástica destacan: parálisis cerebral, accidente cerebrovascular, traumatismo cerebral, lesión medular incompleta y esclerosis múltiple.
- Alteraciones de la coordinación, impiden al paciente controlar el tiempo y la intensidad de la acción muscular, produciendo alteraciones de la secuencia de actuación muscular.
- Patrones reflejos primitivos, suponen una alternativa al control voluntario en la rehabilitación de la marcha ya que permiten dar pasos mediante la combinación de un patrón de flexión y de extensión
- Alteración de la propiocepción, es una causa importante de alteración de la marcha ya que priva al paciente de la información sobre la posición articular, así como de la sensación de contacto con el suelo. ⁽⁴⁹⁾

5.3.2 ENTRENAMIENTO DE LA MARCHA

La marcha como ya se ha mencionado es una actividad automática que representa la capacidad de trasladarse, es uno de los factores más importantes para la independencia funcional de una persona. La recuperación o rehabilitación es de vital importancia por eso existen en el medio diferentes terapias, técnicas, métodos e investigaciones, entre otros destinados a la recuperación o mejoramiento de la marcha. Se mencionarán las técnicas más usadas en la actualidad para el entrenamiento de marcha.

Anteriormente, la recuperación del control motor se realizaba moviendo los segmentos de manera asistida por el terapeuta, quien introducía pequeñas resistencias de forma progresiva, para potenciar de esta forma determinados grupos musculares ya activos. Este enfoque tradicional que ha persistido hasta hoy, se complementó a partir de 1960 con los métodos neurofisiológicos o neuromusculares, basados en la utilización de reflejos y estímulos sensitivos para estimular o inhibir una determinada conducta motriz.

En la actualidad existen diversos métodos que se diferencian en los enfoques jerárquicos del Sistema Nervioso Central (SNC) y las interacciones con la periferia y músculos. En la actualidad el enfoque denominado como "orientado hacia la tarea", desprendido de las "Prácticas de tareas funcionales", intenta superar el concepto de organización jerárquica del SNC y explicar el control de todas las conductas motoras considerando un sistema de interacciones en el que existiría un control multisistémico, ejerciendo influencias en paralelo, con vistas a realizar una tarea específica. Es decir, no sólo sería el SNC, sino también otros sistemas como el musculo-esquelético y el ambiente exterior los que influirían en la conducta motriz y por lo tanto deben ser tenidos en cuenta en el tratamiento. También se intenta asociar a esta idea de organización multisistémica con los modernos conceptos sobre la teoría del aprendizaje. Se cuestiona la afirmación de "cuanto más entrenamiento mejor" y se establece que el entrenamiento es beneficioso si produce un cambio provechoso dirigido a un fin funcional que disminuya alguna de las discapacidades que presenta el paciente. La reeducación de la marcha según las técnicas "orientadas hacia la tarea" no debe retrasarse, como se hace en otras metodologías, hasta que el paciente ha conseguido un buen control cefálico, han desaparecido las reacciones anómalas y la espasticidad ha sido controlada.⁽⁵³⁾

Entre los métodos destinados a la recuperación o mejoramiento de la marcha se encuentran la facilitación neuromuscular propioceptiva que según el Diccionario Americano de Neurociencia se define como "Ayudar-asistir para resolver una dificultad", según Bobath: "Inducir a un movimiento en una forma activa y automática a través de técnicas de control postural", según Lois Bly: "asistir al paciente, el que debe participar activamente en cada movimiento que ocurre en el aprendizaje motor, en ningún momento debe estar pasivo".⁽⁴⁵⁾ Este método involucra las manos y el cuerpo del terapeuta combinado con estímulos verbales, según objetivos de la facilitación y a las necesidades del paciente, los estímulos táctiles se dirigen a las articulaciones para alinearlas o para limitar el grado de libertad de la articulación durante el traslado de peso, músculos para la

estimulación táctil ligera contracción, la cual puede ser insignificante en una posición estática, pero puede ser significativa en el traslado de peso. En las articulaciones proximales para ofrecer estabilidad en algunas situaciones y movilidad en otras.

Entre las ayudas técnicas están las que se definen como dispositivos que proporcionan durante el desarrollo de la marcha, un apoyo adicional del cuerpo al suelo. Su misión consiste en permitir los desplazamientos en bipedestación y contribuir a la recuperación y readaptación de la marcha, permitiendo aliviar o reemplazar a los miembros inferiores afectados interponiéndose entre los miembros superiores y el suelo ⁽⁴⁴⁾. Otras ayudas para la marcha son los pasamanos, estos son barras de apoyo unidas a un muro o al suelo, ubicados en lugares estratégicos, que facilitan al individuo su desplazamiento corporal. Están destinados al apoyo de la mano por lo que responden a un diseño ergonómico, de materiales antideslizantes y semiduros y sin obstáculos a lo largo de todo el recorrido de apoyo. Las barras paralelas consisten en barras verticales sobre las cuales se fijan un par de pasamanos a causa de su estabilidad y de la sensación de seguridad que confieren son muy utilizadas, permiten el desplazamiento del paciente con un mínimo esfuerzo de apoyo, de propulsión del paso y de equilibrio. Los andadores o caminadores son dispositivos ortopédicos de cuatro patas que proporcionan una amplia base de apoyo, proporcionan gran seguridad, ya que, además de un buen equilibrio, procura al paciente mayor tranquilidad psicológica puesto que el riesgo de caída es pequeño, hay menor miedo a caer. Su uso requiere de un buen tono muscular e igualdad motora en ambos miembros superiores.

Otra estrategia para la rehabilitación es la "marcha en barras paralelas con espejo", se utiliza para que el paciente logre el equilibrio de pie. Con ello le enseña la técnica de levantarse en la posición de bipedestación, alzando todo el peso corporal bajo un control pleno. También se enseña a incorporarse estando sentado y a volver a sentarse desde la posición de pie. Una vez alcanzado el equilibrio de pie con un grado adecuado de apoyo necesario, se ponen en marcha los trabajos para el equilibrio dinámico, que supone realizar giros con seguridad, patrones de marcha balanceando el cuerpo hacia delante hasta el punto de apoyo superándolo, y la técnica de marcha sobre cuatro apoyos para practicar los pasos.⁽⁴⁵⁾⁽⁴⁶⁾

5.3.3 MARCHA ASISTIDA CON EXOESQUELETO EN BANDA CAMINADORA

A través del tiempo, el hombre ha logrado grandes avances con su creatividad, ingenio e inteligencia, por lo cual ha empleado un sin fin de mecanismos para hacer de su entorno un lugar que le pueda proveer una mejor condición de vida, sin embargo, no todas las situaciones están bajo su control, por ejemplo, vale la pena mencionar la lesión medular completa e incompleta, (cualquiera que sea su origen), puede generar en los pacientes alteración de las facultades motrices, traduciéndose en pérdida de la capacidad de bipedestación y marcha ⁽²²⁾, esto con consecuencias devastadoras en la vida de las personas, pues se genera una serie de problemas fisiológicos, sociales y psicológicos ^(23, 24) que deterioran de manera importante la salud y la calidad de vida de los individuos.⁽²⁵⁾

Debido a este hecho el hombre ha tenido gran interés en el estudio de la rehabilitación del movimiento y la marcha; a partir de la cultura clásica Griega con Aristóteles, Hipócrates y Galeno hasta la actualidad, donde la rehabilitación de estos pacientes se convierte en un reto para la Fisioterapia ya que según su referente epistemológico se ve comprometido a restablecer las habilidades motrices, principalmente la marcha de la manera más funcional, procurando el mayor grado de independencia posible; ⁽²⁶⁾ lamentablemente en la antigüedad sólo se disponía de la observación, por lo tanto los avances alcanzados eran poco evidentes, por eso es necesario destacar que en el último siglo el desarrollo de las técnicas de intervención y entrenamiento ha experimentado su mayor avance, principalmente desde la introducción de programas informáticos que proporcionan datos numéricos y gráficos, lo cual permite una intervención objetiva en problemas como este, es así como el hombre logra avanzar en la reducción de sus deficiencias, por medio de su estudio, evaluación e intervención, para así disminuir las limitaciones, restricciones y evitar la discapacidad, la cual ha aumentado en gran porcentaje el número de casos mundiales⁽²⁷⁾ y puede tornarse severa en lesiones como esta.

El método de la suspensión de un humano sobre una banda sin fin con propósito de la rehabilitación de la marcha fue reportado primero por Barbeau, Wainberg y Finch, el cual se convirtió con gran rapidez en el método más importante para la rehabilitación de la marcha. Sin embargo, este método requiere de mucho trabajo, un total de tres terapeutas eran necesarios para el método. A su vez, esto redujo la cantidad de práctica, así como el progreso de la recuperación. ⁽³⁸⁾

Muchas investigaciones se han llevado a cabo en todo el mundo para abordar el problema que enfrenta la rehabilitación de la marcha. Entre los sistemas de los cuales se tiene información, se pueden clasificar en los sistemas de cable para el soporte del peso corporal y los sistemas de apoyo estructural de peso corporal. Además, el uso de dispositivos de asistencia para el entrenamiento de la marcha.

Uno de los sistemas empleados es el Sistema de Cable para el soporte de peso corporal (CBW). La parálisis de los músculos de las piernas a menudo les impide a los pacientes apoyar su peso corporal durante la fase de apoyo de la marcha. Con un sistema de rehabilitación de la marcha CBW, los pacientes se ponen un arnés, en el cual, la cuerda del sistema está suspendida sobre sus cabezas y caminan en una banda que facilita los movimientos repetitivos para caminar. Sin embargo, este tipo de soporte de peso corporal, sólo permite el movimiento en la dirección vertical, pero limita la rotación pélvica, oblicuidad pélvica, y la traslación horizontal de la pelvis.

En el sistema de apoyo estructural de peso corporal se reduce las fuerzas gravitatorias que actúan en las piernas, por lo que disminuye la carga que debe ser superada por el paciente, facilitando así los movimientos paso a paso. Además, el sistema BWS garantiza la seguridad y la estabilidad del paciente al caminar en la cinta. El Lokomat es uno de los sistemas desarrollados que adopta el método CBW. Consiste en una interfaz de exoesqueleto de miembro inferior unido a una banda caminadora y se compone de un marco de apoyo del peso corporal. La interfaz robótica le ofrece a las extremidades inferiores la potencia en la cadera y la rodilla mientras el paciente está haciendo el entrenamiento de los pasos en la banda sin fin. Aparte del Lokomat, Gait Trainer (GT II), Haptic Walker, and Auto-ambulator robot of Health South están utilizando un método similar al BWS para la rehabilitación de la marcha. A diferencia del método CBW, este utiliza un mecanismo de brazo extendido para soportar el peso corporal del paciente manteniendo ya sea en el nivel de la cintura o en la parte posterior. Permite movimientos naturales de la pelvis en las direcciones arriba / abajo y de lado a lado en la marcha. En contraste con el método CBW, este método es adoptado por un pequeño grupo de investigadores. La información sobre el control del brazo y de la condición de peso corporal de descarga no está disponible, excepto que se puede descargar hasta 70 kg (150 lbs). El KineAssist permite los movimientos verticales de la pelvis y el torso. Es evidente que existe un control activo de

los laterales y la inclinación del tronco hacia adelante, mientras que no existe un control activo de la pelvis.

Además de los sistemas empleados para el soporte de peso y ubicación del paciente existen dispositivos de ayuda, los cuales contribuyen al propósito de la rehabilitación de la marcha que es restaurar el patrón de la marcha del paciente lo más normal posible. Por lo tanto, es esencial contar con un dispositivo de paso de guía, especialmente para aquellos pacientes que no son capaces de mover sus piernas en absoluto. En la rehabilitación convencional de la marcha BWS, el entrenamiento locomotor es una labor intensiva, que requiere hasta cuatro entrenadores y terapeutas para ayudar a los movimientos de la pelvis y las piernas, para operar la banda sin fin y el sistema BWS. Se puede obtener un uso más eficiente de la mano de obra y tiempo para los posibles beneficios terapéuticos, porque los requerimientos son menores para el apoyo como para el equilibrio de los pacientes y el tiempo valioso pueden ser dirigido a la formación de la marcha. Reconociendo los beneficios potenciales de la automatización del entrenamiento de la marcha, las investigaciones en todo el mundo se centran en el desarrollo de dispositivos de asistencia o, a veces conocido como órtesis robótica que puede ayudar en el movimiento de las extremidades inferiores. En contraste, hay otro grupo de investigadores que se centraron en marcha con un dispositivo 'reposapiés' ^[39] ^[40], que pueden inducir el movimiento de andar por el uso de placas de pie. La mayoría de los sistemas de rehabilitación no proporcionan ayuda activa a la articulación del tobillo. Se basan en la asistencia en la cadera y la articulación de la rodilla para inducir el modelo paso a paso. Esto no es deseable porque el tobillo proporciona más potencia que la cadera o la rodilla en la fase de apoyo. El Tobillo push-off aporta alrededor del 60 al 70% de la potencia de propulsión hacia adelante en la marcha natural y normal ^[41]. Si los pacientes no pueden realizar un patrón de caminar, que incluya el suficiente empuje de despegue del tobillo, es probable que aprenda un paso compensatorio en lugar de un paso normal. Puede ser muy beneficioso para los pacientes de la práctica caminar con la ayuda activa del tobillo para que puedan desarrollar una dinámica normal de la marcha. Por otra parte, se observa que un trastorno de una sola articulación afecta la locomoción de la marcha general. Esto implica que se de una ayuda activa en todas las articulaciones de las extremidades inferiores sobre el suelo al caminar para proporcionar una función real.

El Walk Trainer es el sistema de rehabilitación más completo, que proporciona BWS, referente a la marcha y orientación de los movimientos de la pelvis. ⁽⁴²⁾. Este se compone de un deambulador, una órtesis pélvica, el BWS, y dos órtesis para miembro inferior. El ambulador es un bastidor móvil que sigue al

sujeto durante el ejercicio. La órtesis pélvica es una estructura de artigue paralelo con seis grados de libertad. Con un motor de corriente continua y un sensor de fuerza con lo que está equipado cada eje. La eficacia de la orientación de movimiento de la pelvis con la órtesis pélvica (con BWS) no se ha publicado hasta la fecha. Las dos publicaciones en inglés no revelan mucho de los detalles técnicos del sistema. ⁽³⁸⁾

Las investigaciones actuales le apuntan a la combinación de la terapia y la tecnología como se puede ver en el estudio "Rehabilitación de la marcha a través de un programa acelerador de la marcha mediante el sistema feedback neurobird estudio de un caso" donde se aplican técnicas visuales, auditivas y somatosensoriales con tecnología avanzada que muestra al paciente una retroalimentación de su terapia sin dejar de lado el trabajo del terapeuta. ⁽⁴⁷⁾

Caminar en una banda sin fin con apoyo del peso corporal mediante un arnés atado a un sistema de apoyo sobre la cabeza es un método de tratamiento, cada vez más popular, luego de un accidente cerebrovascular. El uso de una banda sin fin (con o sin apoyo del peso corporal) permite que se realice un mayor número de pasos en una sesión de entrenamiento, es decir, aumenta la cantidad de ejercicios con base en tareas. Por ejemplo, Hesse informa que los pacientes con accidente cerebrovascular pueden realizar hasta 1000 pasos en una sesión de entrenamiento en banda sin fin de 20 minutos, en comparación con sólo 50 a 100 pasos durante una sesión de 20 minutos de fisioterapia convencional (enfoque neurofisiológico). La velocidad de la banda sin fin, la cantidad de apoyo del peso corporal y la cantidad de ayuda proporcionada por el fisioterapeuta pueden ajustarse para proporcionar una intensidad de entrenamiento suficiente.

El entrenamiento en banda sin fin con apoyo de peso corporal es costoso en términos de equipo y recursos humanos. Solamente la banda y el sistema de suspensión del peso corporal tienen un costo de hasta \$180 000 dólares estadounidenses. Además, el equipo no es portátil, por lo que las personas con accidente cerebrovascular deben asistir a un establecimiento sanitario adecuadamente equipado para acceder a este tratamiento. ⁽⁴⁸⁾

5.4 EXOESQUELETO

Un exoesqueleto se define como un mecanismo o estructura externa que tiene uniones que corresponden a las del cuerpo humano. Este es usado por el humano y el contacto físico que existe entre el operador y el exoesqueleto permite una transferencia directa de la potencia mecánica y las señales de información. ⁽⁹⁾ Es una especie de traje en el que se mete una persona, y copia sus movimientos. El traje dispone de una serie de motores y articulaciones que pueden reproducir los movimientos que realiza el usuario, pero con más fuerza o durante más tiempo. Los resultados son muy similares a los que se obtendrían utilizando un poderoso e inteligente robot, dotado de gran fuerza, velocidad y resistencia.

Los sistemas mecatrónicos son usados de tal una manera que la interfase física permite una transferencia directa de potencia mecánica y cambio de información. Estos mecanismos robóticos han sido aplicados en la telemanipulación, y en rehabilitación para asistir el control humano disminuido, adicionalmente, la búsqueda del control neuromotor puede ser beneficiada para ordenar a la realización de movimientos en el espacio de trabajo natural.

Un exoesqueleto diseñado para adecuarse a las personas puede encaminarse como un soporte que permita apoyar o corregir el sistema esquelético, buscando que el paciente mantenga el equilibrio y se brinde estabilidad a las articulaciones. Igualmente puede favorecer la coordinación y el control del movimiento humano, brindando apoyo de fuerza para facilitar tareas motoras en un individuo con dificultad para ejecutar ciertos movimientos. ⁽¹⁰⁾

5.4.1 ADQUISICIÓN DE SEÑALES Y ADECUACIÓN DEL EXOESQUELETO

Los exoesqueletos como desarrollos para la medicina, son adaptados al cuerpo con sistemas inteligentes de procesamiento y sensado para la toma de decisiones en la ejecución de alguna función por medio de sus actuadores, con el fin de realizar una tarea previamente definida. La ciencia de estos mecanismos está constituida por distintas disciplinas como la médica, la electrónica, la física y la mecánica, caracterizando a la instrumentación electrónica como parte clave, debido a que es la encargada de recolectar la información necesaria para ser enviada al procesador central, el cual tomará una decisión. Esta información debe ser sumamente confiable y los principios usados deben ser los apropiados para cada aplicación.

La mayoría de los exoesqueletos utilizan sensores de fuerza, posición, ángulo, presión y aceleración. Por ejemplo en ⁽¹¹⁾ utilizan actuadores neumáticos y sensores infrarrojos para medir la traslación del pistón dentro de un cilindro de aire, y utilizan sensores de efecto Hall para medir los ángulos. En el BLEXX ⁽¹²⁾ se utilizan codificadores en las articulaciones para medir posición y sensores de presión con tubo flexible relleno de aceite hidráulico en la planta del pie.

Los acelerómetros pueden ayudar a determinar el ángulo presente en las articulaciones, en el estudio sobre los controles inteligentes usados para ayudar a los pacientes con paraplejia en la movilidad durante el entrenamiento de marcha desarrollado en el año 2007 ⁽¹³⁾ se utilizó un par de acelerómetros lineales y codificadores para determinar el ángulo de cada articulación durante el movimiento.

La información de los sensores y hacia los actuadores se transporta a través de un sistema de comunicaciones; las estructuras pueden considerar un sistema en red que permite comunicar nodos distribuidos que procesan la información de sensores locales, y un nodo central que recibe la información de esos nodos remotos, y que contiene la estrategia de control central. En ⁽¹²⁾ se utiliza una Topología de red tipo anillo sincrónico de alta velocidad y una red LAN local entre todos los sensores. Otros sistemas comunican los datos vía RS232⁽¹¹⁾ o SPI ⁽¹⁴⁾.⁽³¹⁾

5.4.2 ACTUADORES EN EL EXOESQUELETO

El actuador es uno de los elementos principales de los exoesqueletos. Estos pueden ser eléctricos, neumáticos, hidráulicos, etc. Por ejemplo en ⁽¹⁵⁾ donde se presenta un exoesqueleto de miembros inferiores para personas con desórdenes en la marcha, se utilizan motores de corriente directa (CD) con movimiento armónico para generar los torques asistidos en cada articulación. De esta misma forma en ⁽¹⁴⁾ el exoesqueleto es movido por un motor de CD que utiliza una técnica PWM. Una gran variedad de exoesqueletos utilizan actuadores hidráulicos ⁽¹²⁾, ⁽¹³⁾, ⁽¹⁵⁾; en ⁽¹³⁾ se construyó un sistema inteligente de control para personas paraplégicas, en el cual se usaron actuadores hidráulicos de doble eje en la cadera y rodilla, y un eje en el tobillo. En ⁽¹⁵⁾ se construyó un sistema de actuadores hidráulicos que permiten 7 grados de libertad.

Algunos estudios ⁽¹⁶⁾ indican los valores de torque y ángulo requeridos en los movimientos flexión y extensión de la rodilla, los cuales son usados para el diseño o selección del actuador de los exoesqueletos.

Algunos de los trabajos en los que se han desarrollado exoesqueletos que permitan la rehabilitación de la marcha incluyen los movimientos de flexión y extensión de la rodilla. Por ejemplo en ⁽¹⁷⁾ se diseñó el exoesqueleto por analogía con la estructura humana usando los valores reales de ángulos y torques requeridos para la marcha. Para el diseño de los exoesqueletos podrían utilizarse todos los movimientos presentes en la articulación de la rodilla, sin embargo el movimiento de la rodilla humana no tiene una rotación pura y replicar totalmente su cinemática resulta complicado. En ⁽¹⁴⁾ se analizan los torques en las articulaciones involucrando señales EMG en un exoesqueleto que usa un actuador eléctrico lineal para proporcionar el torque necesario para las actividades de marchar, sentarse, pararse y subir escaleras sin carga y con el actuador a la máxima velocidad.

5.4.3 CONTROL DEL EXOESQUELETO

Como parte esencial de los exoesqueletos se encuentra la estrategia de control, la cual se diseña dependiendo del propósito del exoesqueleto, tales como marcha y/o equilibrio bipodal. Por ejemplo, se plantean propuestas orientadas a integrar la inteligencia humana con que puede entregar el exoesqueleto. Es así como se presenta una estrategia, denominada SAC (Sensitivity Amplificación Control) que depende de la dinámica que mantiene el modelo y tiene en cuenta la variedad de parámetros que se presentan en el momento de implementar una estrategia de control. Este sistema involucra modelos físicos, donde la representación de la planta se aproxima al comportamiento de un péndulo simple con un control PID. Adicionalmente el sistema actuador es consta de un sistema motor reductor controlado directamente por otro PID. Según sus autores, el principal acierto de SAC es que maximiza la sensibilidad de las fuerzas y torques en bucla cerrada lo cual contrasta con la teoría de control moderno y clásico donde todo el esfuerzo se centra en minimizar la sensibilidad del sistema a torques y fuerzas externas ⁽¹⁸⁾.

Investigadores de la Universidad de Berkeley, describen el modelo de control implementado para el exoesqueleto BLEEX (Berkeley Lower Extremity Exoskeleton), donde se reconoce que este mecanismo no requiere gran sensibilidad de las fuerzas que lo "pilotean", contrario a lo que se plantea en el diseño metodológico del control estándar. Plantean que el controlador fue diseñado utilizando la dinámica inversa del exoesqueleto como un controlador de realimentación positiva tal que su ganancia se aproximara o fuera ligeramente menor a la unidad. Los experimentos que realizaron mostraron resultados importantes donde se evidenciaron dos características: primero, se amplió el ancho de banda para la maniobrabilidad y

segundo, resultó altamente sensible a las dinámicas cambiantes de los humanos.

Otro de los modelos para la estrategia de control del exoesqueleto que se ha propuesto busca compensar las fuerzas estáticas, las fuerzas gravitacionales y las fuerzas de reacción. Desde el punto de vista de la energía cinética y potencial, el desarrollo propuesto es un controlador natural que separa el control muscular voluntario del Sistema Nervioso Central (CNS), responsable de la progresión del movimiento y la asistencia artificial entregada por el exoesqueleto. El modelo matemático se divide en dos etapas: la primera, es un modelo de tipo virtual que involucra mediciones del cuerpo libre logrando visualizar el comportamiento de cada una de las fuerzas actuantes y; la segunda, se apoya en la construcción.

5.4.4 EXOESQUELETO DESARROLLADO EN LA UNIVERSIDAD DEL VALLE

En el proyecto: "Exoesqueleto para rehabilitación asistida de pacientes con pérdida parcial o completa del movimiento de los miembros inferiores. Fase 1: equilibrio", financiado por Colciencias, se ha diseñado y construido un exoesqueleto con torso de soporte, cadera y rodillas accionadas, con dos piernas de igual longitud, con tobillo y pies de apoyo, ver la figura 6.

Para el diseño se consideró un peso máximo de la persona de 100Kg. El diseño mecánico de la estructura del exoesqueleto permite ajustarlo al mayor número de personas posible; consiste en barras telescópicas con mariposas como mecanismo de ajuste rápido y elementos de soporte en las zonas del muslo y la pantorrilla. Los actuadores son cuatro de 0.54 kW, con peso de 3.2 kg. Para la instrumentación se seleccionaron sensores de ángulo de Efecto Hall, de presión (Flexiforce-resistivos), de aceleración lineal (triaxiales) y giróscopos (triaxiales); adicionalmente, se diseñó y construyó un circuito de adecuación de señales electromiográficas. Los actuadores y los instrumentos se conectan a nodos concentradores y de estos a un procesador principal a través de una red de datos cableada con el protocolo SPI. El procesador principal se implementa con la tarjeta AT91SAM7X-EK, cuyo núcleo es un microcontrolador AT91SAM7X256C. El procesador principal se comunica de forma inalámbrica con el PC donde se visualiza la evolución de las variables y se envían órdenes a los actuadores. En el proyecto se diseñó una estrategia de control para el equilibrio en bipedestación, ejecutada en el procesador principal, de acuerdo con las terapias y parámetros seleccionados en la interfaz de usuario del PC.⁽¹⁹⁾

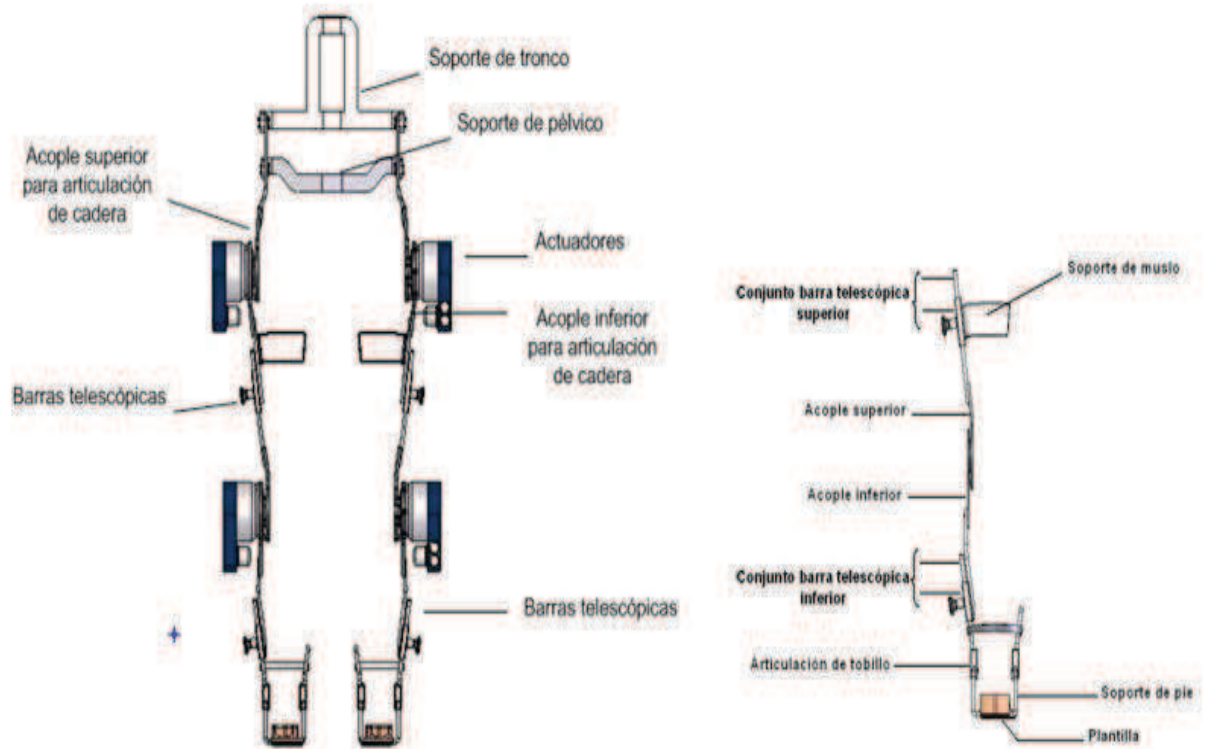


Figura 6. Exoesqueleto desarrollado en la Universidad del Valle

6. METODOLOGÍA

La figura 7 ilustra la metodología empleada para la realización de esta investigación, en la que se menciona cual fue el tipo d estudio, los criterios de inclusión y exclusión que se emplearon y las fases del procedimiento.

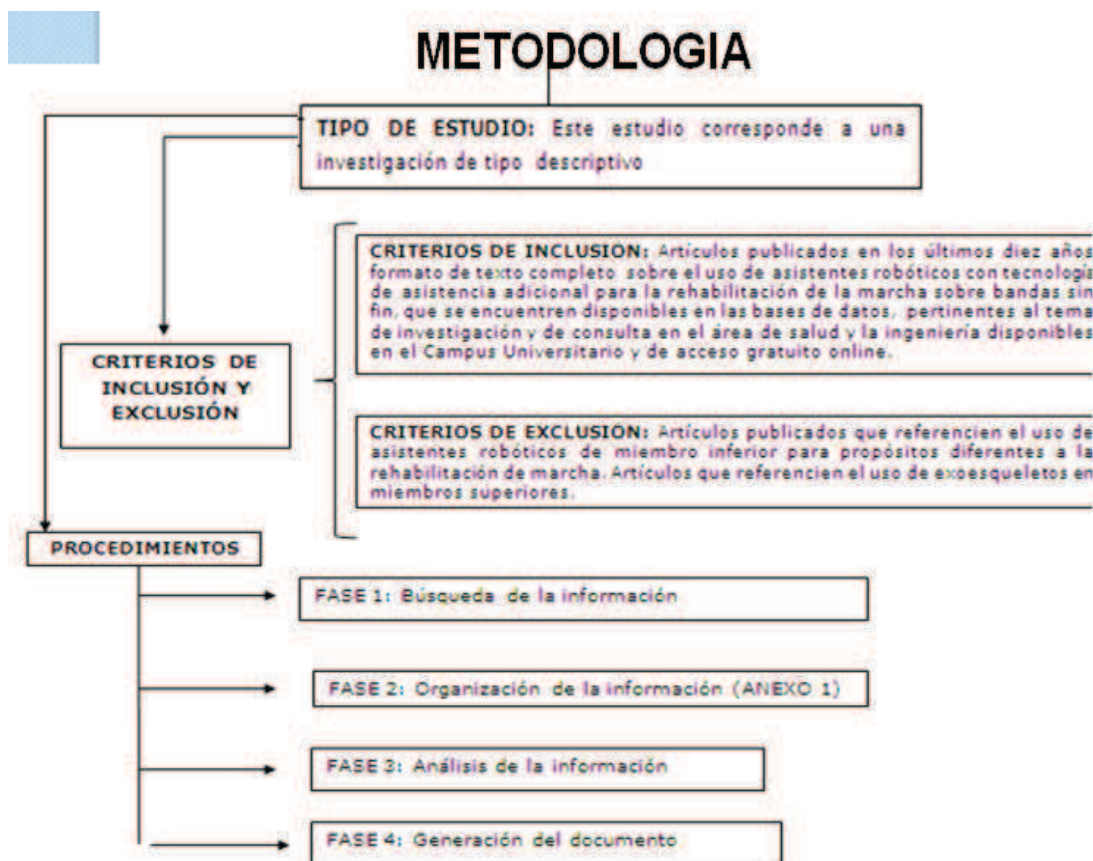


Figura 7. Diagrama de metodología

6.1 TIPO DE ESTUDIO

Este estudio corresponde a una investigación de tipo descriptivo⁽²⁹⁾ perteneciente a un estado del arte en el que se procedió a la búsqueda y recopilación de fuentes de información para obtener documentos oficiales, artículos e investigaciones aplicadas a la fase de adaptación para el uso de exoesqueleto en marcha asistida sobre una banda sin fin. Las fuentes de información se leyeron, organizaron de acuerdo a su importancia temática y se analizaron para sintetizar los aspectos fundamentales que contribuyeron a la elaboración del documento.

6.2 TÉCNICAS PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN:

Para la recolección de información se utilizó la técnica de revisión documental; la cual consiste en evaluar y analizar diferentes trabajos e investigaciones sobre el tema de interés con el fin de medir la calidad, factibilidad y rigurosidad científica de estos y así seleccionar la mejor información disponible. Este método Indaga, interpreta, presenta datos e informaciones sobre el tema determinado.

Los artículos seleccionados para esta revisión se presentan en forma de anexo en la tabla 1 que contiene información sobre el tema del artículo, nombre, ubicación en bases de datos, autores, año, tema y resumen.

6.3 SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS

Un estado del arte consiste en realizar una descripción y análisis de la información disponible del tema a investigar, se realiza con el objeto de inventariar y sistematizar la producción en determinada área del conocimiento. Para construir el estado del arte que permita conocer el estado investigativo del tema específico, se necesita realizar una amplia búsqueda y recopilación de todas las fuentes de información sobre el tema de interés, luego se debe elaborar una lectura y análisis de lo encontrado con el fin de escoger las fuentes de información más confiables y actuales para realizar con estas un análisis y clasificación de acuerdo a la importancia dentro de la investigación. Para facilitar el análisis y búsqueda de información se sugiere organizar la información obtenida, para esto se diseño una tabla que se presenta a continuación donde se ubican los artículos seleccionados por tema desarrollado, nombre, ubicación en bases de datos, autores, año, tema y resumen después de haber sido sometidos a una herramienta de valoración crítica de artículos de investigación.

6.3.1 HERRAMIENTAS DE VALORACION CRITICA DE ARTICULOS DE INVESTIGACIÓN

6.3.2 INSTRUCTIVO Cuando se encontraron artículos de tipo ensayo clínico controlado fueron sometidos a esta ficha para determinar la validez interna, respondiendo de manera simplificada el cuestionario formulado.

6.3.2.1 FICHA DE VALORACIÓN CRÍTICA DE ENSAYOS CLÍNICOS

FICHA DE VALORACIÓN CRÍTICA DE ENSAYOS CLÍNICOS	
CODIGO	FUENTE
título:	
autores:	
Cuál es la pregunta que responde el estudio?	
paciente: # de muestra, características intervención: intervenciones realizadas y duración respectiva comparación: resultados:	
¿fue aleatoria la asignación de pacientes hacia tratamientos? si__ no__ comentarios -¿los grupos del estudio fueron similares en el inicio del mismo? si__ no__ comentarios -¿además del tratamiento asignado, fueron tratados igualmente los grupos? si__ no__ comentarios Fueron tomados en consideración todos los pacientes que entraron en la prueba? – ¿y fueron analizados en los grupos para los cuales fueron asignados? si__ no__ comentarios	
Qué tan grande fue el efecto de tratamiento? -¿cuál es la medida?	

6.3.2.2 FICHA PARA LA VALORACIÓN CRÍTICA DE ESTUDIOS PROSPECTIVOS

FICHA PARA LA VALORACIÓN CRÍTICA DE ESTUDIOS PROSPECTIVOS
MUESTRA: Numero de personas y características
-¿La muestra fue estudiada en el mismo momento del curso de la enfermedad? Si__ no__ comentarios
-¿Fue el tiempo de seguimiento de los pacientes lo bastante largo y completo?
-¿Fueron las variables de resultado medidas objetivas y aplicado el "ciego"?

-¿Si los subgrupos con pronóstico diferente fueron identificados, el ajuste para las circunstancias importantes de pronóstico tuvo lugar?
-¿Cuáles fueron los resultados?
-¿Son probables los resultados sobre el tiempo? Si__ no__ comentarios
-¿Fue preciso el pronóstico estimado? Si__ no__ comentarios
-¿Puedo aplicar esta prueba de pronóstico a mi paciente? Si__ no__ comentarios
-Resultados

6.3.2.3 FICHA DE INFORMACION COMPLEMENTARIA

FICHA DE INFORMACION COMPLEMENTARIA
-MUESTRA: Numero de personas y características
-Criterios de inclusión Criterios de exclusión intervención: intervenciones realizadas y duración respectiva comparación:
-Características del asistente robótico: Tecnologías de asistencia adicionales:
-Resultados

6.3.5 TABLA PARA CLASIFICACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE ARTÍCULOS.

Numero de artículo:	CONTENIDO	
TITULO		
UBICACIÓN		
AUTORES		

AÑO	
TEMA	
RESUMEN DEL DOCUMENTO	

Figura 8. Tabla de clasificación y organización de artículos

6.4 PROCEDIMIENTOS

Con el fin de facilitar el proceso de elaboración del objetivo general de esta investigación que es obtener el Estado del arte de las plataformas para el entrenamiento de la marcha asistida con exoesqueletos; se proponen las siguientes cuatro fases: la primera de exploración y búsqueda de artículos de investigación referentes al tema, otra fase de organización de información, la siguiente de análisis y por ultimo generación del documento como tal.

Las bases de datos utilizadas para esta búsqueda fueron, Ovid, Ebsco, PEDro, Pubmed, Springer link, Scielo, Cochrane, Hinari, las cuales en su contenido gran parte es sobre temas de salud y Engineering plus, Ieeexplore; que contienen estudios de ingeniería y áreas afines, estas tienen convenio con la Universidad del Valle y se encuentran con acceso libre al público y sus artículos están en formato de texto completo.

Se presenta un diagrama que muestra las fases que se siguieron en la elaboración de esta investigación.



Figura 9: Diagrama de Procedimientos

A continuación se describe las actividades a realizar en cada fase.

6.4.1 FASE 1: Exploración y/o búsqueda de artículos

Durante esta fase de la investigación se establecieron los criterios y términos de búsqueda de artículos y las bases de datos a explorar:

Se investigaron y analizaron artículos publicados actualmente referentes al tema de investigación; características del entrenamiento de marcha con exoesqueletos en banda caminadora, en el periodo comprendido desde diciembre de 2011 hasta marzo del 2012.

6.4.2 FASE 2: Organización de la información (ANEXO 1)

Se consignó en la tabla de clasificación y organización de artículos la información de los estudios seleccionados durante la investigación, que dan cuenta de las características generales del artículo como son: número, base de datos, año de publicación, autor(es) y resumen.

En total se presentan treinta tablas incluidas en la parte de anexos del trabajo.

6.4.3 FASE 3: Análisis de la información

Se inició la búsqueda de diferentes investigaciones sobre las plataformas para el entrenamiento de marcha con exoesqueletos de miembros inferiores, después de analizar la información encontrada se definieron las siguientes categorías de investigación con el fin de organizar la información obtenida.

La definición de la palabra plataforma que más se adapta al uso que se le ha dado en este trabajo es “conjunto de estrategias, instalaciones o medios organizados de tal forma que contribuyan a la construcción de un objetivo como tal”

Este nombre es dado por el grupo de investigación quienes esperan construir una plataforma para el entrenamiento de marcha asistida con exoesqueletos con todos los requerimientos necesarios. Todas las categorías mencionadas a continuación hacen parte de estos.

6.4.3.1 Característica de la banda: Donde hay información sobre, tamaño, dimensiones de la banda, la velocidad de la banda usada durante el entrenamiento de marcha, tamaño, altura y disposición de las barras de soporte.

6.4.3.2 Sistema de soporte y graduación de peso: En esta categoría se encuentra la información sobre los diferentes dispositivos que se usan para soportar el peso del paciente llamado arnés y los diferentes porcentajes de peso usados en los entrenamientos de marcha.

6.4.3.3 Mecanismos de retroalimentación: Esta categoría se considera como un componente importante tanto para los pacientes como para los terapeutas, puesto que es el contacto del uno con el otro. Las principales funciones son las de proveer retroalimentación, tanto visual como verbal para monitorear las diferentes variables medidas. Se describirá por lo tanto los diferentes métodos de retroalimentación que se usan en las investigaciones seleccionadas. En la figura 10 se muestra gráficamente la división de las categorías seleccionadas en esta investigación.

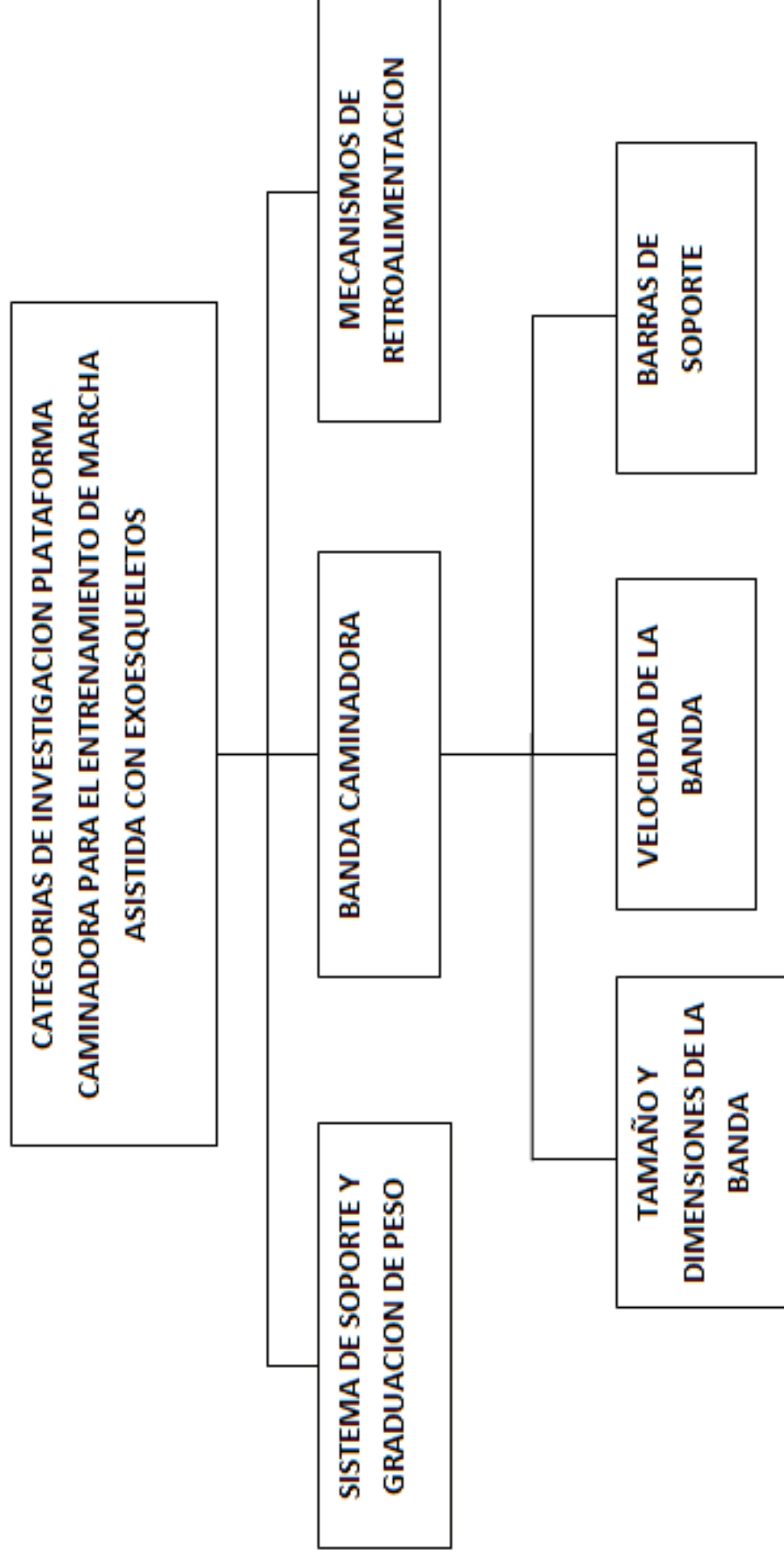


Figura 10. Diagrama de categorías de investigación.

6.5 PALABRAS CLAVE: Terapia de marcha, rehabilitación, exoesqueleto, control de posición, banda caminadora, gait training, treadmill, exoskeleton.

6.6 MUESTRA

En total se obtuvieron 30 artículos publicados en los últimos 10 años sobre el uso de asistentes robóticos para la rehabilitación de la marcha sobre bandas sin fin, en las bases de datos Scient Direct, Ovid, Ebsco, PEDro, Pubmed, Springer link, Scielo, Hinari y engineering plus y Ieeexplore.

6.7 CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Los artículos seleccionados para la realización de este estudio treinta (30) en total son artículos publicados en los últimos diez años formato de texto completo sobre el uso de asistentes robóticos con tecnología de asistencia adicional para la rehabilitación de la marcha sobre bandas sin fin, que se encuentren disponibles en las bases de datos Ovid, Ebsco, PEDro, Pubmed, Springer link, Scielo, Cochrane, Hinari, Engineering plus, Ieeexplore, las cuales son bases de datos de fácil acceso, pertinentes al tema de investigación y de consulta en el área de salud y la ingeniería disponibles en el Campus Universitario de acceso gratuito online y cumplan con la valoración crítica de artículos de investigación.

6.8 CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

Artículos publicados que referencien el uso de asistentes robóticos de miembro inferior para propósitos diferentes a la rehabilitación de marcha.

Artículos que referencien el uso de exoesqueletos en miembros superiores.

6.9 ASPECTOS ÉTICOS

Las investigaciones en salud se rigen por normas científicas, técnicas y administrativas establecidas por el Ministerio de Salud; según la norma 008430 (000) este estudio se clasifica como una investigación **SIN RIESGO**, ya que es un estudio que emplea técnicas y métodos de investigación documental y no requiere contacto con personas⁽³⁰⁾

Este proyecto fue aprobado por el comité institucional de revisión de ética humana de la facultad de salud de la Universidad del Valle con el acta numero 022-011. (Anexo 2)

Se remitió al comité de ética para solicitar cambio de nombre del trabajo de grado. De estado arte de los requerimientos variables y parámetros de las plataformas para el entrenamiento de la marcha asistida con exoesqueletos se modifico a estado del arte de las plataformas para el entrenamiento de marcha asistida con exoesqueletos. (Anexo 3)

6.10 MATERIALES

Para la realización de este estudio se emplearon los siguientes materiales:

- Computadores
- Conexión a internet
- Bases de datos de consulta en el área de salud y la ingeniería disponibles en el Campus Universitario y de acceso gratuito online.
- Publicaciones de artículos sobre desarrollo de intervenciones utilizando asistentes robóticos para la rehabilitación de la marcha sobre banda sin fin.
- Papelería
- Impresora
- Memoria USB

7. RESULTADOS

Después de realizar una amplia búsqueda bibliográfica en diferentes bases de datos, Ovid, Ebsco, PEDro, Pubmed, Springer link, Scielo, Hinari, engineering plus, Cochrane, Ieeexplore, de investigaciones publicadas en los últimos 10 años; se realizó la organización, clasificación, categorización y análisis de esta información.

Se obtuvo 30 artículos en los cuales la temática de investigación es el uso de asistentes robóticos con tecnología de asistencia adicional para la rehabilitación de la marcha sobre bandas sin fin, estos se clasificaron según: tipo de arnés usado, apoyo de miembros superiores o barras de soporte, soporte de peso corporal, características de la banda y velocidad de trabajo, se exponen a continuación los diferentes desarrollos, resaltando las partes más importantes de cada uno.

A continuación se presenta el estado del arte donde se organiza y resume los resultados de la investigación, se describen las características más importantes del entrenamiento de marcha sobre plataforma caminadora usando exoesqueletos, teniendo en cuenta cada una de las categorías seleccionadas en la metodología y se presentan las recomendaciones para el proyecto desarrollado actualmente en la Universidad del Valle.

7.1 ESTADO DEL ARTE

El uso de exoesqueletos para la rehabilitación de la marcha sobre banda sin fin o plataforma caminadora es una intervención novedosa que se ha desarrollado en los últimos años. Esta técnica se originó a partir de la investigación del control neuronal de la locomoción de los vertebrados. Basándose en observaciones y en los resultados de la experimentación de esta técnica en gatos realizada por Shurrager PS, Dykman en la investigación Walking spinal carnivores realizada en el 2002.⁽⁵⁰⁾

Después, una serie de equipos de investigación comenzaron a probar la terapia en seres humanos demostrando la eficacia de su uso con los beneficios reportados en los pacientes, son muchos los especialistas en rehabilitación que han reportado el empleo del entrenamiento con banda sin fin para tratar pacientes con accidente cerebrovascular, (ACV) con buenos resultados. En el estudio Exercise capacity early after stroke realizado por MacKay-Lyons y Makrides, del 2002⁽⁵¹⁾ se reportó su uso en 29 pacientes con ACV, mejorando la capacidad para la ejercitación de estos en un mes, pero dejan abierta la explicación acerca de las bases fisiológicas que la provocan. Pohl y Colaboradores en el 2008 reportaron en la investigación Speed-dependent treadmill training in ambulatory hemiparetic stroke patients: a randomised controlled trial ⁽⁵²⁾ que el entrenamiento con banda sin fin acelera la recuperación de la marcha en pacientes con hemiparesia causada por stroke, considerándola como una estrategia dinámica e integradora de rehabilitación que requiere de un protocolo y diseño que se ajuste a las necesidades del paciente y del terapeuta.

En la lista de necesidades y características importantes designados para esta investigación encontramos que en los últimos años se han desarrollado diferentes dispositivos que cumplen con los requisitos para realizar entrenamiento de marcha sobre banda sin fin con exoesqueletos. Entre estos tipos de dispositivos se encuentran: Biodex Unweighing System, Pneumex Pneu-Walker, Project Walk Equipment, Lokomat, entre otros.

Para cada uno de estos dispositivos se han implementado diferentes elementos y protocolos para su aplicación la primera de ellas que se debe tener en cuenta para llevar a cabo una intervención es la seguridad. Según la investigación "A proof-of-concept exoskeleton for robot-assisted rehabilitation of gait" realizado por P. Beyl, P. Cherelle, K. Knaepen and D. Lefeber, en el 2011⁽⁵³⁾ consideran que la seguridad es el requisito previo más importante para iniciar una intervención y debe ser considerado en todas las etapas del diseño e

incorporarse desde nivel de software (control), así como el nivel de hardware.

7.1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA BANDA CAMINADORA. TAMAÑO Y DIMENSIONES DE LA BANDA – VELOCIDAD - BARRAS DE SOPORTE

Una característica importante que debe tener la banda es referente con sus dimensiones para que el sujeto cuente con el espacio suficiente para realizar el patrón de marcha. Se obtuvo en la investigación de cuatro estudios una descripción de las medidas de ancho y largo de la banda que se empleó para el entrenamiento de marcha. En uno de ellos el proceso se implementa en una caminadora comercial de 1,2 metros de largo por 0,5 metros de ancho y puede mantener la posición de un sujeto cerca de una posición de referencia predefinida con variaciones rápidas en la velocidad para caminar intencionalmente. En otro estudio la cinta de correr tiene 0,6 metros de ancho por 1,5 metros de largo construido con madera y adaptado a su motor impulsado por servo-control PID.

En el estudio Diseño de un sistema mecánico de rehabilitación en marcha con adición progresiva de peso de Ariel A. Braidot, y Guillermo L Alemán, del 2009 ⁽⁵⁴⁾ se describen los requerimientos para la elaboración de un dispositivo para entrenar marcha, los investigadores para iniciar su diseño realizaron una búsqueda y evaluación de las características de dispositivos comerciales, su diseño logra adaptarse a diferentes estaturas y pesos de pacientes y ser utilizado con distintos equipos complementarios de ayuda en rehabilitación de la marcha.

En cuanto a las dimensiones los investigadores tuvieron en cuenta las siguientes características para la construcción del dispositivo diseñado: Posibilidad de acceso de pacientes en sillas de ruedas al dispositivo, la dimensión de dispositivos complementarios; por ejemplo, cintas caminadoras, altura máxima de paciente dos metros, peso máximo de paciente 150 (Kg), construcción de estructura mediante perfiles de acero ASTM A36, dimensiones de los mecanismos de contrapeso, diseño ergonómico, la altura escogida para el diseño teniendo en cuenta los requerimiento fue de dos metros y medio (2,5m), el ancho de 1,1 m.

Con estas características los investigadores desarrollaron un dispositivo que considera criterios de diseño y otorga adaptabilidad a cualquier clínica de rehabilitación estándar, inclusive puede instalarse en el hogar del paciente. El acceso del paciente puede ser por delante como por detrás del dispositivo, cualidad que permite que la instalación del mismo no se limite a una determinada dirección. Para

el diseño de la estructura querían mantener al paciente en posición vertical de una forma segura, para facilitar las actividades de rehabilitación; con este fin se propuso un viga horizontal que soportara el peso del paciente y que además se le pueda adaptar poleas unidas al arnés que sujetará al paciente; para realizar la elevación del paciente realizaron la búsqueda de un dispositivo mecánico que fuera de fácil manipulación y bajo precio y que contara con las siguientes características: elevación, descenso y soporte del peso del paciente en suspensión, sistema freno automático, tanto en ascenso como descenso, ascenso/descenso seguro y controlado, fácil manipulación y tamaño reducido. Para el mecanismo de contrapeso los investigadores tuvieron que cuantificar la carga para conocer con certeza cuanto peso soporta el paciente durante el entrenamiento, diseñaron un mecanismo de contrapesos que se basa en pesas de acero de 5 (Kg) mediante los cuales se obtiene una exacta cuantificación del peso restado al paciente.

En cuanto a la velocidad de la marcha este es un parámetro esencial de formación, tanto para la eficacia del entrenamiento como para asegurarse de que el sujeto permanezca en una posición adecuada para la realización de los movimientos y la evaluación de los progresos de rehabilitación. Dependiendo del lugar en el que se realizó el estudio se seleccionó la unidad de medida de la velocidad, encontrándose millas por hora (mph), metros por segundo (m/s), kilómetros por hora (km/h) para mayor claridad se convirtieron todas las unidades de medida a una sola la cual fue kilómetros por hora (Km/h).

De los 30 artículos que se tienen como muestra, en 17 se describen los parámetros de velocidad utilizados para desarrollar el entrenamiento de marcha mencionando tanto la velocidad de inicio y la de finalización. De estos 17 artículos se menciona con claridad en cinco de ellos, que la velocidad de inicio seleccionada fue aquella en la que el paciente trabajaba con más comodidad. Los sujetos podían controlar intuitivamente su velocidad al caminar. Esto se logró con un método de adaptación de cinta automático de velocidad que se basa en la medición de fuerza.

Se describe en uno de los artículos que la velocidad con la que se inició fue de 1.60 Km/h y llegó a un aumento de hasta 4.02 Km/h, según la tolerancia. También se describe el aumento gradual durante las sesiones, a tolerancia de los participantes, alcanzando un máximo de 3.05 Km/h al final del entrenamiento. Otro artículo menciona que el cambio en la velocidad de formación de la cinta también fue significativa a partir de la media de la sesión inicial de 1.93 Km/h (desviación estándar SD 0,6, intervalo 1.28-3.05 Km/h) a

la velocidad media final de 3.21 Km/h (SD 0. 7, rango 1.60-4.66 Km/h).

La velocidad de la marcha fue de 5.39 km/h, la velocidad de la cinta se ajusta tanto por el aceleración voluntaria del sujeto y la desaceleración, de modo que el sujeto siempre se mantuvo en un punto de equilibrio.

La velocidad media de la cinta durante el ejercicio fue de 1.79 km/h, ó 0.89 km/h con un intervalo de 0,4 a alcanzando una velocidad máxima de la cinta de 3.96 km/h, en una superficie plana.

En un estudio de viabilidad, dos personas con accidente cerebrovascular crónica que fueron dados de alta de rehabilitación se pusieron a prueba. Los dos hombres (de 49 años y 61 años, 2 y 4,5 meses después del accidente cerebrovascular, respectivamente), había mayor velocidad de la marcha del suelo de 2.69 km/h y 4.68 km/h. Otro sujeto sano de edad avanzada (hombre, 64 años), camina a una velocidad de marcha de 5.57 km/h, sirvió como control.

La variedad de velocidades seleccionadas al azar de acuerdo con un protocolo experimental diferente La velocidad de formación inicial fue entre 1,4 km/h, 1,5 km/h, 1,5 km/h, 1,8 km/h, 1,9 km / h, y la velocidad fue aumentando a un máximo 1,8 km/h, 2,5 km/h, 3 km/h, 3,2 km/h, 3,2 km / h

Se encuentran otras unidades para la presentación de los datos, en uno de ellos la velocidad de la cinta se fijó en un nivel que es cómodo para cada participante que no exceda del 60% de la capacidad teórica del ritmo cardíaco y en otro se estableció mover las piernas a los 7 ° por segundo, excepto cuando se utiliza un joystick para mover las piernas, donde se calibro la pierna para mover a 6 ° por segundo.

Gianluca De Leo en su estudio Combining a virtual reality system with treadmill training for children with cerebral palsy ⁽⁵⁵⁾ del 2006 y Joyce Fung, carol l. richards, francine malouin, bradford j. mcfadyen, anouk lamontagne en el studio A Treadmill and Motion Coupled Virtual Reality System for Gait Training Post-Stroke ⁽⁵⁶⁾ del 2003 coinciden en que la velocidad de la marcha debe ser de 1,55 m / s, y que la velocidad de la cinta de la plataforma caminadora se ajuste a la aceleración y desaceleración voluntaria del sujeto, para esto el programa de entrenamiento debe iniciar con velocidades bajas que se van adaptando a los avances del paciente

Otro requisito importante para realizar entrenamiento de marcha son las barras de soporte definidos como dispositivos de seguridad que se encuentran ubicadas alrededor del sujeto para que este pueda sostenerse en caso de requerirlo para moverse. En una sola de las

investigaciones revisadas se encontró información acerca de este, menciona tres barras de soporte, una en frente, una al lado izquierdo y otra al lado derecho, la barra ubicada en frente es de altura graduable. En la mayoría se observa el uso de las barras de soporte pero ninguno menciona el porqué de su uso, de la altura o ubicación de estas, por lo tanto se puede realizar una observación a las imágenes de los estudios que lo permiten. En el estudio *Robotic Orthosis Lokomat: A Rehabilitation and Research Tool* ⁽⁵⁷⁾ de Sas o Jezernik y colaboradores realizado en el 2008, se utilizan barras en cada lado a la altura de la cadera, en el estudio *Gait Training After Stroke: A Pilot Study Combining a Gravity-Balanced Orthosis, Functional Electrical Stimulation, and Visual Feedback* de Vijaya Krishnamoorthy y colaboradores del 2010 ⁽⁵⁸⁾ se observa también el uso de barras de soporte a los lados; en el estudio *Diseño de un sistema mecánico de rehabilitación en marcha con adición progresiva de peso* de Ariel A. y Braidot, Guillermo del año 2009, ⁽⁵⁴⁾ se utilizan las barras de soporte en la parte delantera de la plataforma caminadora; en otro estudio, *Automating activity-based interventions: The role of robotics* de Joseph Hidler y colaboradores del 2011 ⁽⁵⁹⁾ se observa la combinación de barras de soporte adelante y a los lados, de acuerdo con las características del entrenamiento de marcha en cuanto a equilibrio, balance y seguridad del paciente este sería el método más favorable para utilizar en las plataformas para el entrenamiento de marcha con exoesqueletos.

7.1.2 SISTEMA DE SOPORTE Y GRADUACIÓN DE PESO DEL PACIENTE

El soporte de peso corporal hace referencia al porcentaje de peso del sujeto con el que se trabajará durante el entrenamiento de marcha para este tópico. Se cuenta con 14 artículos de los 30 que son la muestra en los cuales se mencionan los valores de la descarga de peso inicial y los cambios que se presentaron en el transcurso del entrenamiento.

La evidencia en cuanto a esta característica es amplia, puesto que se han utilizado diversos porcentajes de carga en los diferentes estudios. En la investigación *Robotic Orthosis Lokomat: A Rehabilitation and Research Tool* de Saso Jezernik, Gery Colombo, Thierry Keller, Hansruedi Frueh, Manfred Morari, del 2008 ⁽⁵⁷⁾ el porcentaje de peso con el que se inició el entrenamiento fue uno de los más altos, 60 -80%, y más tarde fue reducido gradualmente, a diferencia de los demás estudios que iniciaron con cargas bajas y después aumentaron, se demostró con esto que la movilidad de los pacientes mejoró con el tiempo, sin embargo los que obtuvieron mejores resultados a corto plazo son las investigaciones en las cuales el

protocolo inicia con cargas de peso bajas y el aumento dependía de la evolución del paciente.

En el estudio Who May Benefit From Robotic- Assisted Gait Training? A Randomized Clinical Trial in Patients With Subacute Stroke realizado por Giovanni Morone y colaboradores del 2005⁽⁶⁰⁾, el protocolo incluía variaciones del soporte de peso corporal del paciente de 0% al 50% realizando un aumento progresivo de acuerdo con la evolución del paciente, al finalizar el estudio los pacientes mejoraron la capacidad de caminar, la motricidad, las habilidades motora, la capacidad de realizar con mayor facilidad las actividades de la vida diaria.

En el estudio The effects of loading and unloading treadmill walking on balance, gait, fall risk, and daily function in Parkinsonism realizado por Tonya Toolea y colaboradores, del 2008 ⁽⁶¹⁾ se uso solo una medida de soporte de peso corporal que fue de 25%; con esta se obtuvieron buenos resultados en el aumento de la longitud de la zancada del paciente lo que conlleva al aumento de la velocidad de la marcha.

Stefan Hesse en su estudio Treadmill training with partial body weight support after stroke: A review, del 2011 ⁽⁶²⁾ usó para su protocolo de intervención descargas de peso corporal entre el 30% al 40% durante la primera sesión y se redujo en intervalos de aproximadamente 10% por sesión según lo tolerado por el paciente, en los resultados se observó que la mejoría en términos de marcha, que fue evaluada al inicio y fin del estudio.

Los datos sugieren que BWS no debe exceder el 30% del peso corporal con el fin de optimizar la capacidad de carga de peso después del accidente cerebrovascular. En consecuencia, el BWS se debe reducir tan pronto como los pacientes son capaces de llevar su peso sobre el miembro parético, sin posturas anormales. El BWS se puede reducir cuando los pacientes son capaces de mantener su peso corporal durante la posición única en el miembro parético, es decir, sin la rodilla pando o "sentado" en el arnés.

En un artículo el soporte de peso inicial oscila entre 10% y el 20% del peso corporal, este, se reduce tan rápidamente como sea posible. También se menciona que el sujeto realizaba una descarga del 25% del peso corporal con el uso de un arnés que llevaba.

En cuatro artículos los parámetros de descarga de peso establecido para la deambulaci3n en la banda inicialmente fue de aproximadamente 30% a 40% del peso corporal de la persona.

Se mencionan datos relevantes para el desarrollo del entrenamiento de marcha en plataforma, como la descripci3n de la descarga dinámica del peso corporal técnica que optimiza el entrenamiento de locomoci3n fisiológico. Es conveniente proporcionar retroalimentaci3n visual con un espejo o imagen y estímulo verbal. Se recomienda inicialmente en pacientes no ambulatorios un soporte de peso de no más del 30% del peso corporal. Durante la terapia, la velocidad de la cinta debe ser aumentada y el apoyo del peso corporal reducido tan pronto como sea posible.

La informaci3n sobre el control de la condici3n de descarga de peso corporal no est1 disponible, excepto que se puede descargar hasta 70 kg (150 lbs). La eliminaci3n de los efectos de la gravedad en la rehabilitaci3n temprana permite a los pacientes activar los músculos debilitados, mientras que producir el soporte del cuerpo normal al caminar lo expone a las compensaciones típicas.

Para tener un buen sistema de soporte de peso es necesario el uso de un arnés o dispositivo de sujeci3n y de soporte para que el sujeto logre permanecer en una posici3n vertical en un punto determinado con una descarga de peso específico sobre la banda. Se obtuvo la descripci3n del arnés empleado durante el entrenamiento de la marcha en 11 de los 30 artículos.

En cuatro de los artículos solo se menciona que los sujetos se pusieron un arnés para controlar la descarga de peso mediante un contrapeso conectado al sistema el cual los ayud3 a estar en la caminadora. El arnés de descarga de peso fue retirado durante los últimos 4 minutos de caminata en cinta horizontal. El uso de un sistema de suspensi3n con un arnés lleva a una distribuci3n natural del peso corporal y dificulta el equilibrio y reacciones posturales del paciente, requeridas para una marcha funcional.

Los pacientes llevan un arnés de paracaídas modificado para sustituir los reflejos de equilibrio deficientes. El arnés es compatible con una proporci3n de su peso corporal por lo que los sujetos pueden llevar a su peso corporal restante de manera adecuada, es decir, sin colapso de la rodilla o excesiva flexi3n de la cadera durante la fase de postura única sobre la pierna afectada.

Tambi3n manejan un arnés con una barandilla dinámica, los sujetos caminaron sobre una banda sin fin con su propio ritmo motorizado, montado sobre una plataforma de movimiento de 6 grados de

libertad (6 DOF). Aunque el arnés fue conectado a un sistema de suspensión por encima de la cabeza, no fue proporcionado el peso de descarga en el presente estudio.

Los pacientes fueron asegurados al Lokomat por sujetadores para tobillos y alrededor de la mitad del muslo, así como un cinturón para proporcionar apoyo al tronco. Cada pierna robótica ligada a un marco de apoyo horizontal que aseguró el arnés alrededor de la pelvis. Los sujetos fueron conectados al Lokomat y suspendidos verticalmente sobre el suelo utilizando el sistema para la descarga de peso corporal. El tobillo de la pierna de prueba se fija en una posición neutra durante todo el experimento con el uso de correas pasivas. El pie contrario fue colocado en una plataforma para que el sujeto pudiera tener peso sobre esa pierna para mayor comodidad. Se ubicó un relleno de espuma entre las correas y la piel de la pierna para disminuir los estímulos sensoriales de las correas durante toda la prueba.

Cada paciente se apoya con un arnés y tiene los pies en los reposapiés con motor. Los pacientes pueden practicar la marcha con los movimientos en su caminador, lo que conduce a una mejor simetría de la postura, con mayor extensión de la cadera durante la postura, menor flexión de la rodilla y menor flexión plantar del tobillo durante el giro en comparación con la cinta sencilla. Sólo una terapeuta se necesita para ayudar al paciente a caminar.

El arnés tiene dos placas de metal, que están fijadas en la parte posterior del sujeto con correas no elásticas. La placa inferior (LP) está conectado a la cintura, y la superior (UP) entre los omóplatos. Un cojinete de fricción (FB) está conectado a la placa superior y se puede deslizar a lo largo de un eje (A) fijado a la placa inferior. Los grados de libertad de La rotación de la placa superior están garantizados en primer lugar debido a la posible rotación del FB alrededor de A y en segundo lugar a la posible compensación de errores de alineación de FB alrededor de los otros dos ejes de rotación. Debido a la traslación resultante y los tres grados de rotación de libertad entre la parte superior y la placa inferior, el arnés se puede ajustar para diferentes tamaños del cuerpo, (la altura de los sujetos cuerpo osciló desde 1,70 hasta 2,00 m). El arnés puede girar y doblar la parte superior del cuerpo independientemente de la postura de la cintura.

La sujeción del paciente según el estudio Diseño de un sistema mecánico de rehabilitación en marcha con adición progresiva de peso realizado por Ariel Braidot y Guillermo L, del 2009⁽⁵⁴⁾ debe estar a cargo de un elemento el cual redistribuya la carga de contrapesos de manera cómoda en el cuerpo.

Teniendo en cuenta lo anterior se sugiere el uso de un elemento tipo arnés que redistribuya la carga del paciente hacia la pelvis y el tronco, con esto se disminuye el peso soportado por los miembros inferiores.

El arnés debe ser cómodo para el paciente, regulable en tamaño y que ofrezca seguridad.

Aquellos que se ajustan a estas características son: arnés de cuerpo completo y arnés tipo paracaídas. El arnés tipo paracaídas tiene elementos de sujeción cómodos para realizar la terapia. Además, posee una amplia sujeción del torso confiriendo una postura erguida correcta al paciente. La desventaja de este arnés según los autores es su elevado costo.

El arnés de cuerpo completo está compuesto de correas, cintas tejidas de nylon, poliéster o de otro tipo, las cuales se aseguran alrededor del cuerpo distribuyendo la carga. Además posee dos elementos de acople necesarios para permitir la conexión con el sistema de elevación mediante cuerdas. Este arnés de cuerpo completo posee un precio muy inferior comparado con el arnés tipo paracaídas. En el estudio *Synchronous stimulation and monitoring of soleus H reflex during robotic body weight-supported ambulation in subjects with spinal cord injury* de Ross G. Querry, y colaboradores del 2008 ⁽⁶⁴⁾, usaron el arnés completo conectado a un sistema que daba soporte al peso del paciente. Ver figura 11.

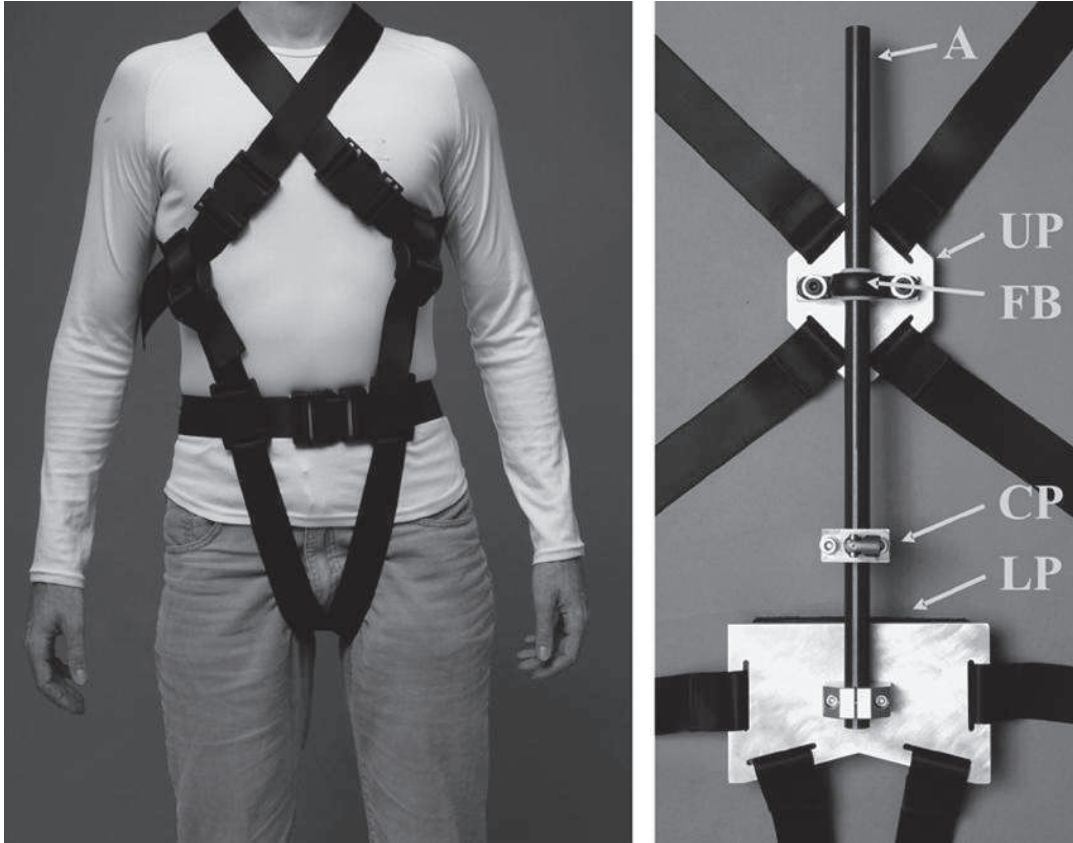


Figura 11. Arnés

7.1.3 MECANISMOS DE RETROALIMENTACIÓN

La información obtenida de la retroalimentación con la que contaban pacientes y terapeutas en el transcurso de la sesión fue descrita por Saso Jezernik et al. en su estudio *Robotic Orthosis Lokomat: A Rehabilitation and Research Tool* del 2005⁽⁶⁰⁾ en el que contaban con una órtesis robótica, y dos computadores. Una de las funciones de estos era ejecutar las tareas de seguridad y control (que se ejecuta xPC Matlabkernel en tiempo real, Mathworks, Natick, MA), y el otro sirve como una interfaz gráfica de usuario (GUI) para el fisioterapeuta que está supervisando el entrenamiento. La interfaz gráfica de usuario fue programado en Lab-Ver (National Instruments, Austin, TX). También Mathias Wellner et al. en su estudio *Evaluation of Visual and Auditory Feedback in Virtual Obstacle Walking* describieron como empleaban la retroalimentación visual, auditiva y táctil para mejorar los resultados de los pacientes en el desarrollo del entrenamiento de marcha en un escenario virtual.

El entrenamiento de marcha en banda sin fin usando exoesqueletos ha permitido grandes avances que benefician al paciente y al terapeuta, sin embargo, los artículos revisados se quedan cortos a la hora de describir las características de los dispositivos usados.

8. RECOMENDACIONES

Después de finalizar la búsqueda y análisis de la información sobre el entrenamiento de marcha sobre plataforma usando exoesqueletos de miembro inferior se pueden realizar las siguientes recomendaciones para dar continuidad a las investigaciones de este tipo en el campo de fisioterapia en primer lugar se recomienda trabajar de forma interdisciplinar ya que la unión de disciplinas como la salud e ingeniería permiten obtener mayores beneficios en los procesos de rehabilitación. Se recomienda también la realización de estudios multicéntricos de los cuales se puedan extrapolar resultados a diferentes poblaciones. Se debe proponer un intercambio de conocimientos en los diferentes grupos de investigación que han desarrollado exoesqueletos para generar diferentes estrategias para transmitir la información y que el conocimiento esté al alcance de todos.

En cuanto al desarrollo del proyecto **Marcha asistida con un exoesqueleto: plataforma caminadora** de la Universidad del Valle de acuerdo con las categorías de investigación se pueden resumir las más relevantes.

8.1 CARACTERÍSTICAS DE LA BANDA CAMINADORA.

8.1.1 Tamaño y dimensiones de la banda

Para determinar las dimensiones de la banda de la plataforma caminadora se deben tener en cuenta en primer lugar las medidas de longitudes y masas del exoesqueleto que se desarrolla actualmente en la Universidad del Valle, este cuenta con las siguientes medidas, peso 27 Kilogramos, ancho 39 centímetros, Alto 105 centímetros, estas medidas se deben complementar con las medidas promedio de las personas con quienes se va a trabajar.

Según el estudio Características antropométricas y funcionales de individuos físicamente activos de López Alban y colaboradores realizado en la ciudad de Cali se determinó que el promedio de peso en varones es de $78,7 \pm 10,9$ kilogramos y en Mujeres es de $63,5 \pm 12,7$ kilogramos en cuanto a la talla los varones $171,0 \pm 6,4$ centímetros y mujeres $158,0 \pm 7,5$ centímetros. La separación lateral entre los apoyos de ambos pies en un varón con una talla es de 170 cm, la anchura del paso, al caminar sobre terreno llano, suele ser de unos 5 ó 6 cm. Si la anchura es superior a 10 cm hace pensar en la presencia de alguna patología como por ejemplo cerebelosa o

vestibular, que provoca una alteración del equilibrio, o cuadros como diabetes o neuropatía periférica por un déficit sensitivo. Cualquiera que fuera la causa el paciente separaría los pies para aumentar la base de apoyo y mantener mejor el equilibrio durante la marcha o la posición bípeda. Por esto el ancho del tapete o banda caminadora debe ser mayor que los límites externos de los pies el cual es de 39 cm y el largo de la banda, debe ser lo más grande posible para tener un buen margen de control, la longitud de la zancada, es la distancia entre dos choques de talón consecutivos de un mismo pie, Lehman considera que es de aproximadamente 156 cm y la mitad para la longitud del paso, definiéndose este como la distancia entre ambos pies cuando éstos contactan con el suelo. En un hombre de 170 cm de altura la longitud del paso normalmente es de unos 75 a 85cm. Los sujetos de mayor altura, y más concretamente, aquellos cuyas extremidades inferiores son más largas, darán pasos de mayor longitud.

La longitud del paso puede variar por influencia de diversos factores, por ejemplo la edad, sexo, estatura, patologías, fatiga, transporte de carga, dolor, etc. Si la longitud del paso es normal e igual en ambos lados el ritmo de marcha será normal y armónico.

Según estas medidas se necesita una banda que cumpla con las siguientes dimensiones **largo 200 centímetros, soporte de peso de 127 kilogramos y ancho de 100 centímetros.**

DIMENSIONES REUQUERIDAS PARA LA BANDA SIN FIN	
Largo	200 cm
Ancho	100 cm
Soporte de peso	127 kg
Velocidad	< 1m/s = 3,6 Km/h

Figura 12. dimensiones requerida para la banda sin

8.1.2 Velocidad de la banda

La velocidad media adoptada espontáneamente por adultos sanos de entre 18 y 64 años, de ambos sexos puede variar entre 1,28 y 1,40 m/seg, si bien se observan diferencias según sexo y edad. Se recomienda usar la mínima posible 1m/s = 3,6 Km/h para iniciar el entrenamiento y de acuerdo con la evolución y tolerancia del paciente se sincronizara automáticamente con la de la marcha de este.

8.1.3 Barras de soporte

Una recomendación importante para la seguridad del paciente durante el entrenamiento es el uso de barras de soporte, según los estudios revisados se recomienda usar tres barras de soporte dos ubicadas a los lados si es posible que sean de altura graduable para ajustar a la altura de la cadera de acuerdo a la estatura del paciente y una barra ubicada en frente para ofrecer mayor seguridad. Ver figuras 13 y 14

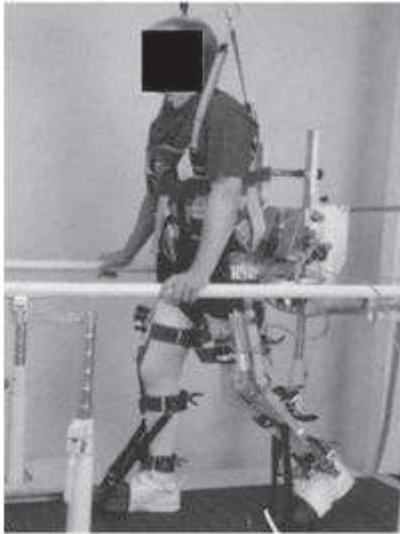


Figura 13. Barras de soportes laterales



Figura 14. Barras de soporte lateral y anterior

8.2 Sistema de soporte y graduación de peso del paciente

En cuanto al sistema de soporte de peso la plataforma caminadora debe tener un sistema con el cual se pueda cuantificar y conocer con certeza la cantidad de descarga de peso que está soportando el paciente. Se recomienda un mecanismo de contrapesos como el usado con el sistema lokomat (ver figuras 15 y 16) mediante los cuales se obtenga una exacta cuantificación del peso restado al paciente.



Figura 15. Mecanismo de Contrapeso 1

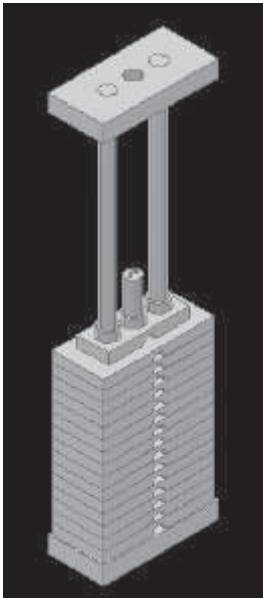


Figura 16. Mecanismo de Contrapeso 2

Los datos sugieren que soporte de peso no debe exceder el 30% del peso corporal con el fin de mejorar la capacidad de carga de peso después del accidente cerebrovascular. En consecuencia, este se debe reducir tan pronto como los pacientes sean capaces de llevar su peso sobre el miembro parético, sin posturas anormales.

El sistema de soporte de peso va de la mano con el sistema de sujeción del paciente. Se recomienda un tipo de arnés que distribuya el peso del paciente de manera cómoda en el cuerpo, debe ser cómodo, regulable en tamaño y seguro, como también es importante contemplar el control de tronco, movimiento de la pelvis, reflejos de

equilibrio. Los que se ajustan a estas características son el arnés de cuerpo completo y el arnés tipo paracaídas.

El arnés tipo paracaídas tiene elementos de sujeción cómodos para realizar la terapia. Además, posee una amplia sujeción del torso confiriendo una postura erguida correcta al paciente. (Ver figura 18). La desventaja de este arnés es su elevado costo. El arnés de cuerpo completo está compuesto de correas, cintas tejidas de nylon, poliéster o de otro tipo, las cuales se aseguran alrededor del cuerpo distribuyendo la carga. Además posee dos elementos de acople necesarios para permitir la conexión con el sistema de elevación mediante cuerdas. Este arnés de cuerpo completo posee un precio muy inferior comparado con el arnés tipo paracaídas. (Ver figura 17).



Figura 17. Arnés tipo completo



Figura 18. Arnés tipo paracaídas

En la figura 19 se observa en funcionamiento la plataforma caminadora con las barras laterales que le permiten al sujeto tener un punto de apoyo para su seguridad y el uso del arnés para mantener su posición y controlar la descarga de peso.



Figura 19. Sujeto empleando arnés

8.3 Mecanismos de retroalimentación

En cuanto a la retroalimentación que debe recibir el sujeto se recomienda que siempre se cuente con la presencia de un terapeuta según los resultados del estudio Asistentes robóticos para La rehabilitación de la marcha realizado por Cardona Gallego A, Lasso González J, Rojas Sinisterra VF. Del 2011 ⁽⁶³⁾ es fundamental la presencia del terapeuta ya que el dispositivo robótico, sea cual sea el empleado difícilmente lograra controlar todos los aspectos de la marcha del paciente.

En los treinta artículos revisados en esta investigación aunque no definen el rol del terapeuta como tal, sí se describe la participación de este en los estudios, en algunos mencionan que realiza las evaluaciones iniciales y finales del paciente, en otros realiza labores de supervisión del entrenamiento de marcha. Burdea y Coiffet, en el año 2003 usaron para su estudio sobre entrenamiento de marcha en pacientes con accidente cerebrovascular un sistema en el cual los pacientes podían ver en una pantalla su entrenamiento y recibían

estímulos auditivos y retroalimentación por parte del terapeuta, al cabo de un mes los participantes mostraron mejoría en aspectos como velocidad, equilibrio y cadencia de la marcha.

Por esta razón, es indispensable que el entrenamiento de marcha en banda caminadora usando exoesqueletos de miembro inferior sea supervisado por un terapeuta.

9. DISCUSIÓN

En la revisión de la literatura científica disponible en los últimos diez años sobre entrenamiento de marcha sobre banda caminadora usando exoesqueletos de miembro inferior, se encuentran novedosas intervenciones, con dispositivos dotados de última tecnología que han obtenido muy buenos resultados para el desarrollo de un patrón de marcha funcional.

La combinación de la terapia convencional con los nuevos avances tecnológicos representa un progreso en la rehabilitación de la marcha puesto que aun se usan métodos y técnicas que se venían desarrollando desde hace mucho tiempo con muy pocas variaciones en su aplicación.

De acuerdo con los estudios revisados anteriormente se puede decir que el entrenamiento de marcha con exoesqueletos sobre plataforma caminadora es una intervención novedosa, segura y práctica para ser aplicada a pacientes que tengan problemas en la ejecución de la marcha, ya que en la mayoría de las investigaciones determinan la efectividad de las intervenciones realizadas y los resultados son de gran beneficio para el paciente; en el estudio de Jerónimo Londoño y colaboradores titulado; Rehabilitación de la marcha en pacientes con trauma raquímedular completo e incompleto en banda sin fin más soporte parcial del peso corporal ⁽⁶⁴⁾ encontraron que los pacientes con alteraciones de la marcha debido a lesión de medula espinal lograron mejoría en aspectos fundamentales para la locomoción tales como: equilibrio, velocidad, coordinación, longitud de paso y paso completo, fase de apoyo, fase de balanceo y cadencia. Cuando a esta intervención se agrega el uso de exoesqueletos como se hizo en el estudio Robotic Orthosis Lokomat: A Rehabilitation and Research Tool de Saso Jezernik y colaboradores ⁽⁵⁶⁾ en el cual utilizaron para el entrenamiento de marcha de pacientes con lesión medular y acv; sobre banda caminadora una órtesis llamada Lokomat que es la más avanzada en cuanto a tecnología en la actualidad se obtuvieron en el estudio beneficios importantes en el patrón de marcha de los participantes del estudio y demostraron que la combinación de la órtesis Lokomat con la banda caminadora es un instrumento importante de rehabilitación robótica y una herramienta de investigación. Esto sin dejar atrás la importante participación del terapeuta en el tratamiento evaluación y seguimiento del paciente, teniendo en cuenta que en la mayoría de los estudios revisados aunque se define vagamente el rol del fisioterapeuta sí menciona que en el protocolo de aplicación de las evaluaciones y seguimiento que

se debe realizar al paciente durante el entrenamiento, estas deben ser realizadas por un terapeuta profesional.

Para realizar una intervención de forma correcta en el entrenamiento de marcha sobre banda caminadora usando exoesqueletos de miembro inferior se deben tener en cuenta diversos aspectos. Por esta razón se realizó en esta investigación una evaluación y descripción de las características de los dispositivos disponibles actualmente en el mercado que efectúan esta intervención, se realizó una búsqueda de información de los diferentes mecanismos utilizados. Los resultados encontrados se presentan con la metodología de estado del arte, el tema. Plataformas caminadoras para el entrenamiento de la marcha asistida con exoesqueletos se propone este tema porque no hay suficiente información; por eso se presenta en esta investigación una descripción de las características empleadas en los diferentes estudios analizados los cuales definen y describen estas. Se encontró que los dispositivos como bandas caminadoras y exoesqueletos se basan en las diferentes técnicas y características de los dispositivos usados en la terapia de marcha convencional, por ejemplo en el tema de investigación sobre barras de soporte se encontró que su uso en las bandas caminadoras se debe al uso de estas en la terapia de marcha que se realiza con ayuda de dos barras a los lados para dar equilibrio al paciente, aunque en la mayoría de los estudios no se encuentra información sobre el por qué de la posición de las barras en cada dispositivo si se puede observar que se ubican a los lados y en frente como una ayuda compensatoria y de apoyo para el paciente. También el ajuste que se hace del exoesqueleto al paciente en cada articulación, cadera, rodilla y tobillo se hace con el fin de brindar apoyo simulando los contactos que el terapeuta realiza en el entrenamiento convencional de la marcha.

Debido a la alta prevalencia de personas con problemas en el patrón de marcha es necesario que los profesionales encargados de su rehabilitación estén a la vanguardia, en cuanto a la implementación de estrategias adecuadas de intervención para mejorar en la mayor medida posible la calidad de vida de los pacientes. Es importante por esto apoyar las nuevas investigaciones y proyectos que ponen estas ayudas tecnológicas más cerca, como en el proyecto de la Universidad del Valle Exoesqueleto para rehabilitación asistida de pacientes con pérdida parcial o completa del movimiento de los miembros inferiores, fase 1: Equilibrio.

Es importante destacar los beneficios que conlleva para los pacientes el desarrollo de nuevas tecnologías que ayuden en su rehabilitación pero no hay que dejar atrás la labor del terapeuta, en la mayoría de

los estudios se define vagamente el rol que cumple este en la intervención, aunque se disminuye el contacto con el paciente por los avances tecnológicos eso no quiere decir que su participación se limite, con la información de retroalimentación emitida por el dispositivo tecnológico, el terapeuta lograra tener valores precisos del desempeño del paciente y así realizar modificaciones adecuadas a la intervención que lleven a mejores resultados terapéuticos.

Aunque los beneficios para el entrenamiento de la marcha son mencionados en la mayoría de los estudios, se debe considerar que el empleo de esta tecnología requiere de un valor económico elevado al cual no es posible acceder en algunos sitios destinados para la rehabilitación e igualmente para pacientes que lo requieran, por lo que se debe optar por estrategias que brinden buenos resultados pero con una inversión de tiempo más alta en la que el terapeuta deberá analizar de una manera empírica los cambios presentes en la actividad realizada por el paciente.

Un aspecto importante que se debe mencionar es que en los estudios que se tomaron para hacer parte de este documento, la línea de investigación era similar, pero no se lograba evidenciar con suficiente claridad la metodología empleada, los aspectos de seguridad para el usuario ni modificaciones realizadas en el transcurso de estos.

Este estudio responde a las necesidades del grupo de investigación: GICI (Grupo Investigación en Control Industrial), quienes muestran interés en iniciar la elaboración de la banda o plataforma caminadora con todas las características necesarias para el entrenamiento de marcha con el exoesqueleto de miembro inferior siendo este trabajo la guía para el diseño.

10. REFERENCIAS

1. 45 CONGRESO SERMEF (Sociedad Española de Rehabilitación y Medicina Física). Revista de la Sociedad Española de Rehabilitación y Medicina Física. Tarragona. Mayo 22, 23, 24,25. Año 2007.
2. Ramírez JM, Propuesta de Investigación: Marcha asistida con un exoesqueleto: plataforma caminadora. 2011.
3. Censo general 2005, DISCAPACIDAD-COLOMBIA. Disponible en:<http://www.dane.gov.co/censo/files/boletines/discapacidad.pdf>, consultado 2011.
4. S. Boccardi, M. Ferrarin Recuperación de la bipedestación y de la marcha en el paciente parapléjico EMC (El sevier SAS, Paris), Kinesiterapia - Medicina física, 26-460-A-20, 2005.
5. García, S.; Cortés, A.; Viosca, E.; Escuder, A.; González, C.; Querol, M. Validación de la clasificación funcional de la bipedestación del Hospital de Sagunto Publicado en Rehabilitación 44:53-9. - vol.44 número 01 Madrid. 2010.
6. Calvo G. La investigación documental: estado del arte y del conocimiento. Tomado de: VÉLEZ, A. y CALVO, G. *Análisis de la investigación en la formación de investigadores*. Bogotá, Universidad de la Sabana, 1992. Mimeo REDUC 06.476-00, PROV.RAE 104.
7. MANJARRÉS, María Elena (1998) La investigación educativa sobre la infancia en el Distrito Capital. Informe sobre el estado del Arte (1986-1996), Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
8. Pardo T., Rodrigo A *propósito de una definición del estado del arte*, Bogotá: Unidad de Neurología, Centro de Epidemiología Clínica, Universidad Nacional de Colombia, Noviembre. 2001.
9. Villarino C Díaz Jiménez. Nuevas Tecnologías en Medicina Física y Rehabilitación. Universidad de la Coruña, España. Revista de la Sociedad Española de Rehabilitación y Medicina Física. 2007.
10. Ruiz, A.F.; Forner-Cordero, A.; Rocon, E. Exoskeletons for Rehabilitation and Motor Control. Biomedical Robotics and Biomechatronics, 2006. BioRob 2006. The First IEEE/RAS-

- 11.** Mourad Bouzit, Grigore Burdea, George Bopescu, Rares Boian. The Rutgers master New Design Force-Feedback Glove. Ieee/asme Transactions on Mechatronics, vol. 7, no. 2, June 2002.
- 12.** Zoss, ADAM, H. Kazerooni, Andrew CHU. ON THE Mechanical Design of the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton. IEEE international conference on robotics and automation. Ago.2005.
- 13.** A. Selk Ghafari, A. Meghdari, G. R. Vossugui. Intelligent Control OF Powered Exoskeleton To Assist Paraplegic Patients Mobility Using Hybrid Neuro-fuzzy ANFIS Approach. IEEE international conference on robotics and biomimetics, december 17 - 20, 2006, Kunming,China.
- 14.** Fleischer christian and Günter hommel Calibration of an emg-based body model with six muscles to control a leg exoskeleton, proceedings of the 2007 IEEE international conference on robotics and automation. - 2007. - pp. 2514 - 2519.
- 15.** Yoshiyuki Sankai, Hiroaki Kawainoto, Siiwoong lee Y Shigehirokanbe. POWER ASSIST METHOD FOR HAL-3 using emg-based feedback controller. Systems, man and cybernetics, 2003. IEEE internationalconference. 2003.
- 16.** Rienerrobert, Rabuffettimarco Y Frigocarolo, STair ascent and descent at different inclinations, ELSEVIER 2001. [71]Zoss, adam. Design of an electrically actuated lower extremity exoskeleton. department of mechanical engineering, University of California, Berkeley, CA 94720, USA, March 2006.
- 17.** Yang zhiyong [y otros] Research of exoskeleton suit based on sensitivity amplification contro, Jinan-China. IEEE, 2007.
- 18.** Hogan N. Impedance control: an approach to manipulation, parts i, ii, iii. [publicaciónperiódica]. - [s.l.] : transactions of the ASME, journal of dynamic systems, measurement, and control, 1985. - 107, 1-24.
- 19.** Bureau M. Diseño de un exoesqueleto Para Neurorehabilitación basado en detección de Intención

Fundación Fatronik, Centro De Investigación Tecnológica, 2007.

- 20.** Collado Vázquez S. Análisis De La Marcha Humana Con Plataformas Dinamométricas. Influencia Del Transporte De Carga. Departamento De Medicina Física Y De Rehabilitación. Hidrología Médica. Madrid 2002.
- 21.** Adelt Izquierdo, Capitulo 2 marcha normal. http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion/marcha_normal.pdf. fecha de acceso: febrero 16 2011.
- 22.** Rodríguez MA, Berroa A, Martínez HC, Torres J, González Y, Sentmanat A.. Estudio preliminar para la introducción de la banda sin fin y el equipo para el soporte de peso corporal en el sistema de neurorehabilitación multifactorial intensiva. Presentación de casos. Revista Digital. Buenos Aires. 67(9) Diciembre 2003.
- 23.** Eastwood E., Hagglund K., Ragnarsson K., Gordon W., Marino R. Medical Rehabilitation Length Of Stay And Outcomes For Persons With Traumatic Spinal Cord Injury. Arch Phys Med Rehabil; 1999; 80(11): 1457-1463-1990-1997.
- 24.** McKinley, W. O., Jackson, A. B., Cardenas, D. D., & DeVivo, M, J. Longterm medical complications after traumatic spinal cord injury: a regional model systems analysis. Arch Phys Med Rehabil 1999; 80(11): 1402-1410.
- 25.** Jiménez BL., Serrano AT., Enríquez M. Evaluación de la calidad de vida en lesionados medulares. Acta Ortopédica Mexicana. 2004; 18(2): 54-60.
- 26.** Pérez ZR, Granados SJC, León HSR, del Campo ASM. Reeduación de la marcha y mejoría funcional con soporte parcial de peso en pacientes con lesión medular incompleta. Revista Mexicana de Medicina Física y Rehabilitación 2005; 17:111-118.
- 27.** Barnés JA, Bender del Busto JE, Araujo F, Zamora F, Hernández E, Rodríguez ML. Lesión medular traumática. Revista Mexicana Neurociencia 2003. 4(1):21-25.
- 28.** González F.A. Escritura del Estado del Arte. Depto. de Ing. de Sistemas e Industrial. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

- 29.** Milos Jenicek. Robert Cleroux . Capitulo 5 " Realización e interpretación de los estudios descriptivos" En Milos Jenicek. Robert Cleroux " Epidemiología, principios y técnicas" 1ª Ed.. Masson Salvat. Barcelona 1993. pag 77-96.
- 30.** Aharonson Z, et al. Normal foot-ground pressure pattern in children. ClinOrthop Related Research 1980; 150:220-223
- 31.** Viladot Voegeli A. Estudio de la marcha humana. En: Viladot Voegeli A. et al. Lecciones básicas de biomecánica del aparato locomotor. Barcelona: Springer- Verlag; 2001.
- 32.** Grieve DW, Gear RJ. The Relationship Between Length Of Stride, Step Frequency, Time Of Swing And Speed Of Walking For Children And Adults. Ergonomics 1966; 5: 379-399.
- 33.** Vaughan Christopher I, Davis Brian I and o.Connor Jeremy c Dynamics of human gait [Journal] // KIBOHO PUBLISHERS. - 1999.
- 34.** Uribe Tirado A. Acceso, conocimiento y uso de las herramientas especializadas de internet entre la comunidad académica, científica, profesional y cultural de la Universidad de Antioquia. Etapa 1: Creación del modelo para recopilación y análisis de información metodología. Universidad de Antioquia 2004.
- 35.** Colombia, Valle del Cauca, Ministerio de Salud. RESOLUCION N° 008430 DE 1993; Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud. Santiago de Cali, 4 de octubre de 1993.
- 36.** Rosen J, Brand M, M. Fuchs M, and M. Arcan, "A Myosignal-Based Powered Exoskeleton System," IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, vol. 31,N°. 3, Mayo 2001.
- 37.** Kwok, Michael, Survey Guideline, online handout, 2004 http://www.student.cs.uwaterloo.ca/%7Eecs457/survey_guidelines.pdf. consultado en el año 2012.
- 38.** Lim H, Hoon k, K. H. Low, Y. C. Soh, Adela Tow. Pelvic Control and Over-Ground Walking Methodology for Impaired Gait Recovery. Proceedings of the 2008 IEEE, International

Conference on Robotics and Biomimetics, February 21 - 26, 2009.

- 39.** H. Schmidt, C. Werner, R. Bernhardt, S. Hesse, and J. Kruger, "Gait rehabilitation machines based on programmable footplates," *Journal of Neuro Engineering and Rehabilitation*, vol. 4, 2007.
- 40.** C. Werner, S. Von Frankenberg, T. Treig, M. Konrad, and S. Hesse, "Treadmill training with partial body weight support and anelectromechanical gait trainer for restoration of gait in subacute stroke patients: A randomized crossover study," *Stroke*, vol. 33, pp. 2895- 2901, 2002.
- 41.** D. A. Winter, "Energy generation and absorption at the ankle and knee during fast, natural, and slow cadences," *Clinical Orthopaedics and Related Research*, vol. No. 175, pp. 147-154, 1983.
- 42.** M. Bouri, Y. Stauffer, C. Schmitt, Y. Allemand, S. Gnemmi, R. Clavel, P. Metrailler, and R. Brodard, "The WalkTrainer: A Robotic System for Walking Rehabilitation," in *Robotics and Biomimetics, 2006. ROBIO '06. IEEE International Conference on*, pp. 1616-1621, 2006.
- 43.** Husemann B , Müller F , Krewer C , Heller S , Koenig E, efectos del entrenamiento de la locomoción con la ayuda de una ortesis de marcha del robot impulsado en los pacientes hemiparetic después del accidente cerebrovascular: un estudio aleatorizado piloto controlado. 2005.
- 44.** Susan S. Adler, Dominiek Beckers, Math Buck, La facilitación neuromuscular propioceptiva en la práctica, tercera edición, editorial Panamericana, año 2011.
- 45.** Levy AE, Cortés JM. Ortopodología y aparato locomotor.Ortopedia del pie y tobillo. Barcelona: Editorial Masson, 2003.
- 46.** Pedro Gutiérrez Moraño, Guadalupe Basilio Fernández, Belinda Basilo Fernández, Lourdes Mª Fernández Seguí, Victoria Gallego, Elena Escamilla, Ayudas técnicas para la marcha en el paciente geriátrico, 2004.
- 47.** Pountney T, Green E. Parálisis cerebral y trastornos del aprendizaje común. En: Stokes M. Fisioterapia en la Rehabilitación Neurológica. 2ª Edición. Barcelona: Elsevier; 2006. p. 339-359.

- 48.** Revista del pie y tobillo. Tomo XVII, Nº 1, Octubre 2003
Marcha patologica Marco Sanz, Carmen Prof. E. U. de Ciencias de la Salud Universidad de Zaragoza.
- 49.** Shurrager PS, Dykman en la investigacion Walking spinal carnivore,. J Comp Physiol Psych.(3) 252– 262.
- 50.** Marilyn J. MacKay-Lyons, Lydia Makrides, exercise capacity early after stroke, Archives of Physical Medicine and Rehabilitation Volume 83, Issue 12, December 2002, Pages 1697–1702.
- 51.** Marcus Pohl, Jan Mehrholz, Pt, Claudia Ritschel, Pt, Stefan Rückriem, Speed-Dependent Treadmill Training In Ambulatory Hemiparetic Stroke Patients A Randomized Controlled Trial, journal stroke, 2002.
- 52.** P. Beyl, P. Cherelle, K. Knaepen and D. Lefeber, proof-of-concept exoskeleton for robot-assisted rehabilitation of gait, IFMBE Proceedings Volumen 22, año 2008.
- 53.** Ariel A. A. Braidot, Guillermo L Aleman, Diseño de un sistema mecánico de rehabilitación en marcha con adición progresiva de peso, XVIII Congreso Argentino de Bioingeniería SA - VII Jornadas de Ingeniería Clínica Mar del Plata, año 2011.
- 54.** Karen Koott, Katrina Leshner, Gianluca De Leo, Combining a virtual reality system with treadmill training for children with cerebral palsy, Journal of cyber therapy y rehabilitation, 2009, volumen 2.
- 55.** Joyce Fung, Carol L. Richards, Francine Malouin, Bradford J. Mcfadyen, Anouk Lamontagne, Treadmill And Motion Coupled Virtual Reality System For Gait Training Post-Stroke, Journal cyber psychology & behavior volumen 9, 2006.
- 56.** Saso Jezernik, Gery Colombo, Thierry Keller, Hansruedi Frueh, Manfred Morari, Robotic Orthosis Lokomat: A Rehabilitation and Research Tool, 2003.
- 57.** Vijaya Krishnamoorthy, Wei-Li Hsu, Trisha M. Kesar, Daniel L. Benoit, Sai K. Banala, Ramu Perumal, Vivek Sangwan, BTech, Stuart A. Binder-Macleod, FAPTA, Sunil K. Agrawal, John P. Scholz, Gait Training After Stroke: A Pilot Study Combining a Gravity-Balanced Orthosis, Functional

Electrical Stimulation, and Visual Feedback, JNPT Volumen 32, 2008.

- 58.** Benjamin L. Patritti, Monica Sicari, Lynn C. Deming, Fernanda Romaguera, Marlena M. Pelliccio, Patrick Kasi, Maria Grazia Benedetti, Donna L. Nimec, Paolo Bonato, The role of augmented feedback in pediatric Robotic assisted gait training: A case series, Journal technology and Disability, año 2010, volumen 22.
- 59.** Giovanni Morone, Maura Bragoni, Marco Iosa, Domenico De Angelis, Vincenzo Venturiero, Paola Coiro, Luca Pratesi, Stefano Paolucci, Who May Benefit From Robotic- Assisted Gait Training? A Randomized Clinical Trial in Patients With Subacute Stroke, Journal Neurorehabilitation and neural repair, 2011.
- 60.** Tonya Toolea, Charles G. Maitlandb, Earl Warrenc, Monica F. Hubmannd and Lynn Panton, The effects of loading and unloading treadmill walking on balance, gait, fall risk, and daily function in Parkinsonism, Journal of NeuroRehabilitation, volumen 20, año 2005.
- 61.** Audrey L. Hicks, Kathleen A. Martin Ginis, Treadmill training with partial body weight support after stroke, Journal of Rehabilitation Research & Development, año 2008, volume 45, Pag 241-248.
- 62.** Agudelo A, García Paz C, Quiroz Mora CA, Investigación Documental y Estados del Arte, Universidad Autónoma de Manizales Maestría en Neurorehabilitación Maestría en Intervención Integral en el Deportista, 2011.
- 63.** Cardona Gallego A, Lasso Gonzales J, Rojas Sinisterra VF, Asistentes Robóticos Para La Rehabilitación De La Marcha Revisión Sistemática, 2011.
- 64.** Londoño J, Beltrán D, Cuero M, Enríquez DM, Moran Maya A, Solano EM. Rehabilitación de la marcha en pacientes con trauma raquimedular completo e incompleto en banda sin fin mas soporte parcial del peso corporal. Revisión de la literatura, 2008.
- 65.** Bender J, Hernández E, Prida M, Araujo F, Zamora F. Caracterización clínica de pacientes con lesión medular traumática. Rev Mex Neuroci 2002; 3(3): 135-142.

- 66.** Braga P, Ibarra A, Rega E, Servente L, Benzano D, Ketzoian C, Pebet M. Ataque cerebrovascular: un estudio epidemiológico prospectivo en el Hospital de Clínicas de Montevideo. Rev Med Uruguay 2001; 17: 42-54.

11. ANEXOS

ANEXO 1: TABLAS DE CLASIFICACION Y ORGANIZACIÓN DE ARTICULOS

Número de artículo: 1	CONTENIDO
TÍTULO	A Treadmill and Motion Coupled Virtual Reality System for Gait Training Post-Stroke
UBICACIÓN	Engineering Plus
AUTORES	Joyce Fung, Carol L. Richards, Francine Malouin, Bradford J. Mcfadyen, Anouk Lamontagne.
AÑO	2006
TEMA	Arnés, velocidad, características de la banda
RESUMEN DEL DOCUMENTO	En cuanto al tema de arnés manejan, un arnés con una barandilla dinámica, los sujetos caminaron sobre una banda sin fin a su propio ritmo motorizado, montado sobre una plataforma de movimiento de 6 grados de libertad (6 DOF). Aunque el arnés fue conectado a un sistema de suspensión de la cabeza, no fue proporcionado el peso de descarga en el presente estudio. La velocidad de la marcha fue de 1,55 m/s, la velocidad de la cinta se ajusta tanto por la aceleración y la desaceleración voluntaria del sujeto, de modo que este siempre se mantuvo en un punto de calibrado. La cinta de correr (0,6 m X 1,5 m) estaba construida con madera y adaptado a su motor impulsado por servo-control PID.
Número de artículo: 2	CONTENIDO

TÍTULO	Robotic Orthosis Lokomat: A Rehabilitation and Research Tool
UBICACIÓN	Engineering plus
AUTORES	Saso Jezernik, Gery Colombo, Thierry Keller, Hansruedi Frueh, Manfred Morari.
AÑO	2005
TEMA	Descarga de peso
RESUMEN DEL DOCUMENTO	El objetivo de este artículo es presentar la órtesis robótica Lokomat, desarrollada para automatizar la rehabilitación de entrenamiento de locomoción en pasarela rodante. La descarga del peso corporal fue alta en el inicio de la capacitación, 60 - 80%, y más tarde fue reducida gradualmente como la movilidad de los pacientes mejorara con el tiempo.

Número de artículo: 3	CONTENIDO
TÍTULO	Evaluation of Visual and Auditory Feedback in Virtual Obstacle Walking
UBICACIÓN	engineering plus
AUTORES	Mathias Wellner, Audrey Schaufelberger, Joachim v. Zitzewitz
AÑO	2008
TEMA	Velocidad
RESUMEN DEL DOCUMENTO	Este artículo describe los experimentos de evaluación para la retroalimentación visual y auditiva en un escenario virtual de obstáculos para caminar. Dos estudios con voluntarios sanos se realizaron con el Lokomat. Por los experimentos de retroalimentación visual y auditivo, el resultado fue evaluado con los parámetros de desempeño de tareas específicas y cuestionarios. También se muestra que la visión en 3D no reduce el número de sesiones en comparación con el obstáculo de visión 2D. Los sujetos podían controlar intuitivamente

	su velocidad al caminar. Esto se logró con un método de adaptación de cinta automático de velocidad que se basa en la medición de fuerza. Dos sensores fueron integrados en la estructura de 'Lokomat' detrás del sujeto. Esta configuración del sensor, combinado con un modelo geométrico, permite evaluar las fuerzas de tracción del sujeto en el plano horizontal.
--	--

Número de artículo: 4	CONTENIDO
TÍTULO	Therapeutic Effects of Robotic-Assisted Locomotor Training on Neuromuscular Properties
UBICACIÓN	Engineering plus
AUTORES	M.M. Mirbagheri, C. Tsao, E. Pelosin, W.Z. Rymer
AÑO	2005
TEMA	Arnés, velocidad, descarga de peso
RESUMEN DEL DOCUMENTO	Los sujetos se colocaron un arnés para controlar la descarga de peso mediante un contrapeso conectado al sistema. La Formación del Lokomat se realizó 3 días / semana durante un período de 1 hora incluyendo el tiempo de configuración con un máximo de 30 minutos de entrenamiento durante una sola sesión. La velocidad con la que se inició fue de 1,0 mph y llegó a un aumento de hasta 2,5 mph, según la tolerancia. Los sujetos fueron instruidos para mantener una contracción tónica de extensión de 3 Nm. En el tiempo total de entrenamiento, la

	velocidad, la distancia, y la cantidad de descarga se registró durante cada sesión.
--	---

Número de artículo: 5	CONTENIDO	
TÍTULO	Limb Alignment and Kinematics Inside a Lokomat Robotic Orthosis	
UBICACIÓN	Engineering plus	
AUTORES	N. Neckel, W. Wisman, J. Hidler	
AÑO	2006	
TEMA	velocidad, descarga de peso	
RESUMEN DEL DOCUMENTO	La variedad de velocidades seleccionadas al azar fue entre 1,5 km/h y 3,2 km/h de acuerdo con un protocolo experimental diferente. Las fuerzas de reacción del suelo se registraron en 1000 Hz y del mismo modo filtra en Matlab. Estos datos se utilizan para marcar la presión del talón a cada paso, medida como un umbral de 50 N de fuerza de reacción baja. Los algoritmos de Matlab se utilizaron para la separación de los 30 ensayos en pasos individuales (desde el golpe de talón a talón), que se vuelven a muestrear la longitud de la señal misma.	

Número de artículo: 6	CONTENIDO	
------------------------------	------------------	--

TÍTULO	Pelvic Control and Over-Ground Walking Methodology for Impaired Gait Recovery
UBICACIÓN	engineering plus
AUTORES	H. B. Lim, K. H. Hoon, K. H. Low, Y. C. Soh, Adela Tow
AÑO	2009
TEMA	Descarga de peso
RESUMEN DEL DOCUMENTO	La información sobre el control de la condición de descarga de peso corporal no está disponible, excepto que se puede descargar hasta 70 kg (150 lbs).

Número de artículo: 7	CONTENIDO	
TÍTULO	Quantifying Lower Limb Joint Position Sense Using a Robotic Exoskeleton: A Pilot Study	
UBICACIÓN	Engineering plus	
AUTORES	Antoinette Domingo, Eric Marriott, Remco Benthem de Grave, Tania Lam.	
AÑO	2006	
TEMA	Velocidad, Arnés	
RESUMEN DEL DOCUMENTO	El propósito de este estudio fue desarrollar una herramienta de evaluación cuantitativa para medir el sentido de la posición conjunta en las piernas. Se utilizó el Lokomat, un exoesqueleto robótico, y un software a medida para evaluar el sentido de posición articular en la cadera y la rodilla en 9 sujetos sanos (AB) y una persona con SCI incompleta. Se han utilizado dos paradigmas diferentes de pruebas. El tema de mover la pierna a un ángulo objetivo, es muy complejo, pero la presentación de la meta era determinar como se obtiene un mejor ángulo objetivo por memoria o visualmente. Se encontró que los sujetos AB habían sentido una posición más precisa en la tarea de recordar que en la tarea visual, y que tendían a tener una	

	mayor precisión en la cadera que en la rodilla. Sentido de la posición de los sujetos con SCI era comparable a las de los sujetos AB, se muestra que el uso del Lokomat para evaluar el sentido de la posición común puede ser una herramienta efectiva de medición clínica. Establecieron mover las piernas a los 7 ° por segundo, excepto cuando se utiliza un joystick para mover las piernas, donde se estableció la pierna para mover a 6 ° por segundo. Utilizaron el Lokomat con un software a la medida para poner a prueba dos modelos experimentales para evaluar cuantitativamente la posición común de la extremidad. Tres ángulos de la cadera (-10 °, 10 °, 30 °) y tres ángulos de la rodilla (20 °, 40 °, 60 °) fueron utilizados como posiciones de destino para un total de 9 combinaciones de ángulos. Estos ángulos fueron elegidos porque es el rango de movimiento que suele utilizar durante la marcha. Sólo una articulación se puso a prueba a la vez, de manera que cada combinación se hizo dos veces (la primera vez para evaluar la cadera, la segunda vez para evaluar la rodilla) en cada uno de los dos paradigmas de evaluación diferentes, lo que resulta en 36 ensayos por sujeto. El orden de los ángulos de la prueba fue al azar dentro de cada tarea y la articulación a prueba. La pierna dominante fue probada en todas las materias sin discapacidad. La pierna más afectada (derecha) fue probada en el tema con SCI. Se administró a los descansos de la descarga del peso corporal cada 3-5 minutos.
--	--

Número de artículo: 8	CONTENIDO
TÍTULO	Gait Training After Stroke: A Pilot Study Combining a Gravity-Balanced Orthosis, Functional Electrical Stimulation, and Visual Feedback.
UBICACIÓN	EBSCO
AUTORES	Vijaya Krishnamoorthy, PT, PhD, Wei-Li Hsu, PT, PhD, Trisha M. Kesar, MS, PT, Daniel L. Benoit, PhD, Sai K. Banala, PhD, Ramu Perumal, PhD, Vivek Sangwan, BTech, Stuart A. Binder-Macleod, PT, PhD, FAPTA, Sunil K. Agrawal, PhD, and John P. Scholz,
AÑO	2008
TEMA	Características de la banda-velocidad
RESUMEN DEL DOCUMENTO	La velocidad al caminar (1,5 km / hora o 0,67 m / seg), fue determinada durante las evaluaciones iniciales de andar. La velocidad era aumenta gradualmente durante las sesiones a la tolerancia de los participantes, alcanzando un máximo de 1,9 millas / h (0,85 m / seg) por el final del entrenamiento. La capacitación comenzó con el total (100%) la gravedad equilibrar tanto de la pierna y el dispositivo. Poco a poco, a lo largo de varias sesiones, el equilibrio de la gravedad de la pierna se redujo a 75%, 50%, 25% y, finalmente, el equilibrio de 0% gravedad, mientras que el dispositivo siempre fue 100% gravedad equilibrado (es decir, el dispositivo en sí era siempre gravedad neutro para que el usuario no lo haría "Sentir" la masa del dispositivo).

Número de artículo: 9	CONTENIDO	
TÍTULO	A proof-of-concept exoskeleton for robot-assisted rehabilitation of gait	
UBICACIÓN	EBSCO	
AUTORES	P. Beyl, P. Cherelle, K. Knaepen ² and D. Lefeber.	
TEMA	Velocidad- arnés	
RESUMEN DEL DOCUMENTO	El uso de un sistema de suspensión con un arnés conduce a un peso corporal antinatural de distribución y dificulta el equilibrio y reacciones posturales del paciente, que se requiere en la marcha funcional. Además, debido a su sistema de accionamiento y control de aproximación de éstos los robots carecen a menudo de un cumplimiento, que se considera un requisito previo importante para la seguridad de interacción humano-robot. Es el mismo robot que ayuda a controlar la descarga de peso que realiza el paciente.	

Número de artículo: 10	CONTENIDO	
TÍTULO	Rehabilitación de la marcha en pacientes con trauma raquímedular completo e incompleto en banda sin fin mas soporte parcial del peso corporal. Revisión de la literatura.	
UBICACIÓN	Ebsco	
AUTORES	Jerónimo Londoño, Diana Lizeth Beltrán, Yadira María Cuero, Diana Marcela Enríquez, Andrea Moran Maya, Eliana	

	Marcela Solano
AÑO	2008
TEMA	Soporte de peso
RESUMEN DEL DOCUMENTO	Recopilar la evidencia científica del entrenamiento con banda sin fin más soporte parcial de peso corporal para señalar los beneficios en la rehabilitación de la marcha en pacientes con lesión medular completa e incompleta sometidos a dicho tratamiento. Metodología: Se seleccionaron 90 artículos publicados en las bases de datos: Ebsco, Hinari, Pubmed, Proquest, y Delnet; de los cuales se realizó un análisis que permito conocer los principales resultados, estos artículos fueron incluidos por presentar, revisión de la literatura, intervención con entrenamiento terapéutico en banda sin fin mas soporte parcial de peso corporal en pacientes con lesión medular y la sustentación fisiológica del entrenamiento. Discusión: La literatura revisada sobre el entrenamiento con banda sin fin mas soporte parcial de peso corporal mostró que los pacientes con alteraciones de la marcha debido a lesión de medula espinal lograron mejoría en aspectos fundamentales para la locomoción tales como: Equilibrio, velocidad, coordinación, longitud de paso y paso completo, fase de apoyo, fase de balanceo y cadencia. Conclusión: La revisión literaria encontrada sobre el entrenamiento de la marcha demuestra que efectivamente la técnica logra recuperar la habilidad locomotora en animales con lesión medular; en lo referente a humanos con igual patología, existe un buen número de artículos cuyos resultados son muy prometedores para la recuperación de estos pacientes, aunque la mayoría de ellos no cuentan con población representativa. Además se ha demostrado la existencia de centros generadores de patrones de marcha en la

	médula espinal lo cual constituye la base fisiológica de la técnica.
--	--

Número de artículo: 11	CONTENIDO	
TÍTULO	Synchronous stimulation and monitoring of soleus H reflex during robotic body weight-supported ambulation in subjects with spinal cord injury	
UBICACIÓN	EBSCO	
AUTORES	Ross G. Querry, Fides Pacheco, Thiru Annaswamy, Lance Goetz, Patricia K. Winchester, Keith E. Tansey,	
AÑO	2008	
TEMA	Arnés, velocidad, descarga de peso	
RESUMEN DEL DOCUMENTO	Los sujetos fueron equipados con un arnés de apoyo, y el sistema de contrapeso los ayudó a estar en la caminadora. La velocidad seleccionada para trabajar fue 1,8 y 2,5 km / h. Se establecido el peso corporal de apoyo a 40 por ciento del peso de la persona.	

Número de artículo: 12	CONTENIDO	
TÍTULO	Automating activity-based interventions: The role of robotics	
UBICACIÓN	EBSCO	

AUTORES	Joseph Hidler, Larry F. Hamm, Alison Lichy, Suzanne L. Groah
AÑO	2008
TEMA	Velocidad, descarga de peso
RESUMEN DEL DOCUMENTO	La velocidad de formación inicial fue de 1,9 km / h, avanzando a un máximo de 3,2 km / h La deambulaci3n en la cinta fue con una descarga de peso del 30 a 40 por ciento del peso corporal.

Número de artículo: 13	CONTENIDO	
TÍTULO	Efectividad del entrenamiento de la marcha mediante el sistema lokomat en pacientes agudos con lesi3n medular incompleta.	
UBICACI3N	E-Prints Complutense	
AUTORES	Alcobendas Maestro, M3nica	
AÑO	2011	
TEMA	Descarga de peso	
RESUMEN DEL DOCUMENTO	Se seleccion3 aquella en la que el paciente trabajaba m3s c3modamente. La descarga del peso corporal seleccionada de inicio fue del 60% del peso de cada individuo.	

Número de artículo:	
----------------------------	--

14	CONTENIDO	
TÍTULO	Reeducación de la marcha y mejoría funcional con soporte parcial de peso en pacientes con lesión medular incompleta	
UBICACIÓN	EBSCO	
AUTORES	Dr. Ramiro Pérez Zavala, Dr. Juan Carlos Granados Sánchez, Dr. Saúl Renán León Hernández, Dra. Susana Martín del Campo Arias	
AÑO	2005	
TEMA	Soporte de peso, velocidad, arnes	
RESUMEN DEL DOCUMENTO	A 10 pacientes con lesión medular incompleta, se les dio entrenamiento con soporte parcial de peso en una caminadora por 25 minutos, 3 días a la semana por 30 sesiones. Resultados: De tres escalas usadas se encontró significativa la evaluación de la calidad de la marcha. La independencia funcional presentó tendencia a ser significativas, la capacidad para caminar no tuvo significancia. Las tres escalas presentan correlación entre ellas. Conclusiones: Esta técnica ofrece una opción de recuperación funcional objetiva y práctica muy alentadora para el entrenamiento de la marcha, en pacientes con lesión medular incompleta. En el área de plasticidad cerebral del Centro Nacional de Rehabilitación, se usó la caminadora y la grúa de soporte parcial de peso. Se les colocó el arnés para adulto regular (de 68,5 cm mínimo y 152 cm máximo) en la grúa de soporte parcial de peso, (marca Mobility Research, modelo Lite Gait MR-SF- 350 con capacidad de peso máximo de 350 lb ó 158,76 kg) y se inició el entrenamiento en la caminadora, (Mobility Research Modelo Gait Keeper , fuerza de torque .817 Nw/m, motor de 2 caballos de fuerza y velocidad de	

	0,1609 a 6,44 km/h) El entrenamiento se dio por 25 minutos, 3 días a la semana por 30 sesiones, con cambios cada 10 sesiones de la siguiente manera: las primeras 10 sesiones a una velocidad de 1,3 km/h (0,8 mph) con soporte del peso suficiente para dar un paso con apoyo sobre el talón libremente, siempre auxiliado por dos terapeutas, quienes realizaron la reeducación del patrón de la marcha manualmente dirigiendo el movimiento de los miembros pélvicos del paciente a manera y con la cadencia de una marcha normal. En las siguientes 10 sesiones se incrementó la velocidad a 3,2 km/h (2 mph) con soporte del peso a la mitad de la altura del brazo de la grúa y el apoyo de los terapeutas; las últimas 10 sesiones, se dejó al paciente la velocidad máxima que a él mismo le resultara cómodo, con o sin ayuda del terapeuta, según cada caso. Al término se practicó nuevamente toda la batería de test, la exploración física, determinación del grado en escala de ASIA, y la evaluación de la bipedestación y la marcha.
--	---

Número de artículo: 15	CONTENIDO
TÍTULO	Walking After Stroke: What Does Treadmill Training With Body Weight Support Add to Overground Gait Training in Patients Early After Stroke? A Single-Blind, Randomized, Controlled Trial
UBICACIÓN	EBSCO
AUTORES	Marco Franceschini, MD; Stefano Carda, MD; Maurizio Agosti, PT; Roberto Antenucci, MD; Daniele Malgrati, MD;

	Carlo Cisari, MD; on behalf of Gruppo Italiano Studio Allevio Carico Ictus
AÑO	2009
TEMA	Velocidad
RESUMEN DEL DOCUMENTO	En cuanto a la velocidad se manejo en la deambulaci3n asistida por robot en 1,8 y 2,5 km / h. Tiempo de entrenamiento 20 minutos 5 veces a la semana, 20 sesiones de tratamiento.

Número de artículo: 16	CONTENIDO	
TÍTULO	Gait Training Combining Partial Body-Weight Support, a Treadmill, and Functional Electrical Stimulation: Effects on Poststroke Gait	
UBICACIÓN	Hinari	
AUTORES	Ana RR Lindquist, Christiane L Prado, Ricardo ML Barros, Rosana Mattioli, Paula H Lobo da Costa, Tania F Salvini	
AÑO	2007	
TEMA	Soporte de peso	
RESUMEN DEL DOCUMENTO	Consiste en un sistema de suspensi3n en el que un paciente est3 conectado de modo que soporta un porcentaje de peso ayuda en el equilibrio y la velocidad puede ser controlada. Soporte de 40% del peso corporal	

Número de artículo: 17	CONTENIDO
TÍTULO	Repetitive locomotor training and physiotherapy improve walking and basic activities of daily living after stroke: a single-blind, randomized multicentre trial
UBICACIÓN	EBSCO
AUTORES	M Pohl, G Kroczeck, S Hesse, M Holzgraefe
AÑO	2006
TEMA	Soporte de peso- arnés- velocidad
RESUMEN DEL DOCUMENTO	En el transcurso de 21 meses (agosto de 2001 de mayo 2003) todos los pacientes elegibles en cuatro centros de rehabilitación en Alemania fueron contratados. Participaron los pacientes que había sufrido por primera vez un accidente cerebrovascular, ya sea isquémico o hemorrágico, su edades comprendidas entre los 18 y 79 años, y el intervalo entre el accidente cerebrovascular y el inicio de estudio fue de menos de 60 día. Ellos fueron capaces de sentarse sin ayuda (es decir, sin tener en soportes tales como el borde de la cama), con los pies apoyados, no podía caminar al todo, o requiere la ayuda de uno o dos terapeutas independientemente del uso de una órtesis de tobillo-pie o una ayuda para caminar. La máquina de entrenamiento de la marcha consistió en dos placas de apoyo, cuyos movimientos impulsada simulaban la postura y balanceo; los movimientos del centro de masa fueron controlados de una manera dependiente de la fase por cuerdas atadas al arnés

	La velocidad que oscila desde 1,4 hasta 1,8 km / h. El apoyo del peso osciló entre 10% a 20%
--	--

Número de artículo: 18	CONTENIDO
TÍTULO	Combined transcranial direct current stimulation and robotassisted gait training in patients with chronic stroke: a preliminary comparison
UBICACIÓN	Hinari
AUTORES	Christian Geroin ¹ , Alessandro Picelli ¹ , Daniele Munari ¹ , Andreas Waldner ^{2,3} , Christopher Tomelleri ² and Nicola Smania
AÑO	2010
TEMA	Velocidad, descarga de peso, arnes
RESUMEN DEL DOCUMENTO	Cada paciente se sometió a un programa de formación que consta de diez sesiones de 50 minutos (Incluyendo 20 minutos de caminata y la formación 30 minutos de fortalecimiento muscular y los ejercicios de movilización articular), cinco días a la semana (de lunes a viernes) para dos años consecutivos. Los pacientes asignados al grupo 1 realizaron entrenamiento de la marcha asistida por robot en combinación con estimulación de corriente continua transcraneal directa que se aplicaba a través de electrodos de superficie de esponja (35cm²) remojados en solución salina conectados a un estimulador de corriente constante. En los pacientes de formación de marcha asistida por robot fueron apoyados con un arnés y los pies Se colocaron en placas de apoyo a motor.

	De acuerdo con la metodología de Hesse, los pacientes recibieron un máximo de alivio de peso corporal de 30% en el primer entrenamiento. Durante el programa de capacitación, el apoyo del peso corporal fue disminuyendo progresivamente. La velocidad fue seleccionada 1,4 a 1,8 km / h según la del paciente.
--	--

Número de artículo: 19	CONTENIDO
TÍTULO	Enhanced Gait-Related Improvements After Therapist- Versus Robotic-Assisted Locomotor Training in Subjects With Chronic Stroke A Randomized Controlled Study
UBICACIÓN	Hinari
AUTORES	T. George Hornby, PhD, MPT; Donielle D. Campbell, PTA; Jennifer H. Kahn, DPT; Tobey Demott, MPT; Jennifer L. Moore, MPT; Heidi R. Roth, MSPT
AÑO	2008
TEMA	Soporte de peso, arnes
RESUMEN DEL DOCUMENTO	48 sujetos con déficit locomotores. Se dividieron en 2 grupos. Ambos recibieron 12 sesiones de LT durante 30 minutos a una velocidad similar, con la asistencia guiada con una órtesis robótica en comparación con las instrucciones la facilitación de un solo terapeuta utiliza un paradigma de asistencia-cuando sea necesario. Las medidas de resultado incluyen la velocidad de la marcha y simetría, y las medidas clínicas de la actividad y la participación. Formación del Protocolo LT en ambos grupos de tratamiento consistió en 12 sesiones (30 minutos período de sesiones) con el terapeuta, o asistencia robótica. En ambos grupos, los sujetos llevaban un arnés conectado a un sistema de contrapeso para proporcionar apoyo del peso corporal. Aproximadamente el 30% al 40% del cuerpo de un sujeto de peso fue apoyado durante la primera sesión, y se redujo en incrementos de aproximadamente 10% por sesión según lo tolerado. LT se inició a 2,0 mph durante el la sesión inicial, se incrementó en un 0,5 mph cada 10 minutos como tolera hasta 3,0 mph, y permaneció allí durante las subsiguientes visitas.

Número de artículo: 20	CONCEPTO	CONTENIDO
TÍTULO		Treadmill training with partial body weight support after stroke: A review
UBICACIÓN		computer source
AUTORES		Stefan Hesse
AÑO		2008
TEMA		arnés, velocidad, descarga de peso
RESUMEN DEL DOCUMENTO		Los pacientes llevan un arnés de paracaídas modificado para sustituir los reflejos de equilibrio deficientes. La rueda de molino provoca y refuerza los movimientos complejos paso a paso. El arnés es compatible con una proporción de su peso corporal por lo que los sujetos pueden llevar a su peso corporal restante de manera adecuada, es decir, sin colapso de la rodilla o excesiva flexión de la cadera durante la fase de postura única sobre la pierna afectada. Las velocidades de la rueda de ardilla es de aproximadamente 0,25 m por segundo. Se recomienda inicialmente en pacientes no ambulatorios un soporte de peso de no más del 30% del peso corporal. Durante la terapia, la velocidad de la cinta debe ser aumentada y el apoyo del peso corporal reducido tan pronto como sea posible.

Número de artículo: 21	CONTENIDO	
TÍTULO		The effects of loading and unloading treadmill walking on balance, gait, fall risk, and daily function in Parkinsonism
UBICACIÓN		computer source
AUTORES		Tonya Toolea,*, Charles G. Maitlandb, Earl Warrenc, Monica F. Hubmannd and Lynn

	Pantona
AÑO	2005
TEMA	arnés, velocidad, descarga de peso, características de la banda
RESUMEN DEL DOCUMENTO	Este artículo tiene como objetivo: determinar si la carga de peso asistida o la carga de peso adicional es más beneficioso para la mejora de la función y mayor estabilidad en la marcha y equilibrio dinámico en pacientes con Parkinson, en comparación con controles pareados (cinta de correr solo). Todos los sujetos caminaron en la cinta durante 20 minutos por día durante 3 días a la semana durante 6 semanas. El arnés de descarga de peso fue retirado durante los últimos 4 minutos de caminata en cinta horizontal. La velocidad de la cinta se fijó en un nivel que es cómodo para cada participante que no exceda del 60% de la capacidad teórica del ritmo cardíaco. El sujeto realizaba una descarga del 25% del peso corporal con el uso de un arnés que llevaba. Esta pasarela electrónica contiene seis paneles sensores incrustados en una alfombra para producir un área activa de 24 pulgadas de ancho y 144 pulgadas de largo.

Número de artículo: 22	CONTENIDO
TÍTULO	Improving gait after stroke--treadmill or walking; quantity or quality

UBICACIÓN	computer data base
AUTORES	Birgitta Langhammer and Johan K. Stanghelle
AÑO	2009
TEMA	Velocidad
RESUMEN DEL DOCUMENTO	El objetivo principal del presente estudio fue evaluar la capacitación en pasarela rodante versus caminando al aire libre con el fin de mejorar los aspectos de calidad como la longitud del paso, ancho de paso, los aspectos cuantitativos, como la cadencia y la resistencia, la velocidad de la marcha y la distancia al caminar. Un objetivo secundario fue evaluar los factores que podrían influir en la recuperación de la capacidad de caminar. La velocidad media de la cinta durante el ejercicio fue de 0,5 m / s, con un intervalo de 0,4 a 1,1 m / s, en una superficie plana.

Número de artículo: 23	CONTENIDO	
TÍTULO	Robotics in Neurorehabilitation: locomotor training.	
UBICACIÓN	Engineering Plus	
AUTORES	Williamson, John	
AÑO	2006	

TEMA	Velocidad
RESUMEN DEL DOCUMENTO	Las características de velocidad recomendada del motor a poca velocidad de hasta 3 km / h (cadencia de 90).

Número de artículo: 24	CONTENIDO	
TÍTULO	Combining a virtual reality system with treadmill training for children with cerebral palsy	
UBICACIÓN	computer data base	
AUTORES	Gianluca DeLeo , Karen Kott and Katrina Leshner	
AÑO	2009	
TEMA	Velocidad, características de la banda	
RESUMEN DEL DOCUMENTO	El propósito de este estudio piloto fue determinar el impacto de un sistema de realidad virtual con un elemento de juego, más entrenamiento en pasarela rodante en el rendimiento y la capacidad de caminar de los niños con parálisis cerebral. El cambio en la velocidad de formación de la cinta también fue significativa ($Z = -2,0$, $p = 0,02$) a partir de la media de la sesión inicial de 1,2 millas por hora (SD 0,6, intervalo 0.8-1.9 mph) a la velocidad media final de 2,0 millas por hora (SD 0.7, rango 1,1-2,9 mph). Es una pasarela diseñada pelo corto alfombrado (39,5 "de largo y 36" de ancho)	

Número de artículo: 25	CONTENIDO	
TÍTULO	Speed Adaptation Control of a Small-sized Treadmill with State Feedback Controller	
UBICACIÓN	Ieeexplore	
AUTORES	Auralius Manurung, Jungwon Yoon*, and Hyung-Soon Park	
AÑO	2010	
TEMA	Velocidad, Características de la banda	
RESUMEN DEL DOCUMENTO	Máxima velocidad de la cinta se establece en 1,5 m / s. El algoritmo se implementa en un comercial de la cinta de correr (1,2 m x 0,5 m) y puede mantener la posición de un sujeto cerca de una posición de referencia predefinida en variaciones rápidas en la velocidad para caminar intencionalmente puesto por el tema.	

Número de artículo: 26	CONTENIDO	
TÍTULO	A Novel Method for Automatic Treadmill Speed Adaptation	
UBICACIÓN	Ieeexplore	
AUTORES	Joachim von Zitzewitz, Michael Bernhardt, and Robert Riener	
AÑO	2007	

TEMA	arnés, velocidad
RESUMEN DEL DOCUMENTO	El arnés comprende dos placas de metal, que están fijados en la parte posterior del sujeto con correas no elásticas. La placa inferior (LP) está conectado a la cintura, y la superior (UP) entre los omóplatos. Un bloque de almohada cojinete de fricción (FB) está conectado a la placa superior y puede ser deslizado a lo largo de un eje (A) fijado a la placa inferior. Los grados de libertad de La rotación de la placa superior están garantizados en primer lugar debido a la posible rotación del FB alrededor de A y en segundo lugar a la posible compensación de errores de alineación de FB alrededor de los otros dos ejes de rotación. Debido a la traslación resultante y los tres grados de rotación de libertad entre la parte superior y la placa inferior, el arnés se puede ajustar para diferentes tamaños del cuerpo (en nuestros ensayos, la altura de los sujetos cuerpo osciló desde 1,70 hasta 2,00 m). El arnés puede girar y doblar la parte superior del cuerpo independientemente de la postura de la cintura. El límite superior para la velocidad de la cinta se establece en 1,66 m / s.

Número de artículo: 27	CONTENIDO	
TÍTULO	Who May Benefit From Robotic- Assisted Gait Training? A Randomized Clinical Trial in Patients With Subacute Stroke	
UBICACIÓN	Hinari	
AUTORES	Giovanni Morone, Maura Bragoni, Marco Iosa, Domenico De Angelis, Vincenzo	

	Venturiero, Paola Coiro, Luca Pratesi, and Stefano Paolucci.
AÑO	2011
TEMA	Soporte de peso, velocidad
RESUMEN DEL DOCUMENTO	La velocidad de la marcha fue seleccionado para estar cerca de 1 a 1,5 km / h en la primera sesión de GT y se aumentó pronto como sea posible de conformidad con el andar cómodo para cada paciente. BWS fue de 0% a 50% del peso corporal. El BWS se seleccionado y ajustado durante la terapia en línea con 3 principios: una disminución progresiva de BWS durante la rehabilitación, la comodidad del paciente, y la capacidad del paciente para extender la cadera y lo suficientemente soportar el peso de la pierna parética. Durante la Sesión de GT, un período de descanso era posible, si así lo requiere los pacientes. Después de una semana de ingreso, los pacientes del GC realizaban 2 sesiones de fisioterapia diarias. Uno de ellos fue dedicado a caminar de formación, que consta de 20 sesiones de 40 minutos terapia (5 veces por semana), 25 en lugar de un segundo período de sesiones fisioterapia estándar. A la luz de la capacidad del paciente, el la terapia de caminar se ha centrado en la estabilización del tronco, el peso transferir a la pierna parético, y caminar entre los paralelos bares o en el suelo. Si es necesario, el paciente fue ayudado por 1 ó 2 terapeutas y de ayuda para caminar.

Número de artículo: 28	CONTENIDO	
TÍTULO	Treadmill training after spinal cord injury: It's not just about the walking	
UBICACIÓN	Hinari	
AUTORES	Audrey L. Hicks, PhD;* Kathleen A. Martin Ginis, PhD	
AÑO	2008	
TEMA	Soporte de peso	
RESUMEN DEL DOCUMENTO	El soporte de peso corporal en el entrenamiento en pasarela rodante (BWSTT) está siendo utilizado en todo el mundo como un método para mejorar la deambulaci3n funcional despu3s de lesiones de la m3dula espinal (LME). Esta terapia, Sin embargo, es muy intensiva en trabajo, y sugiere la evidencia reciente que no puede ser superior a otro m3s convencional las formas de rehabilitaci3n para mejorar la capacidad del aparato locomotor. Reconociendo que el valor de BWSTT puede extenderse m3s all3 de su potencial para mejorar la deambulaci3n funcional es importante, y los beneficios fisiol3gicos y psicol3gicos asociados con este.	

Número de artículo: 29	CONTENIDO	
TÍTULO	La plataforma NedAMH/IBV como indicador de cambios tras sesiones de rehabilitaci3n con el robot Lokomat	
UBICACIÓN	Revista de Biomecanica	

AUTORES	Carolina Colomer Font, Miquel Revert Sanz, Carlos Bermejo Cutanda, Nuria Navalón Sánchez, Enrique Noé Sebastián, Joan Ferri Campos, Javier Chirivella Garrido
AÑO	2006
TEMA	Velocidad, soporte de peso
RESUMEN DEL DOCUMENTO	La pauta de tratamiento es la misma en todos los pacientes y consta de 3 sesiones semanales de 1 hora de duración durante 12 semanas, asociado a tratamiento fisioterápico convencional diario. Parámetros terapéuticos como la velocidad, el grado de soporte del peso corporal o el rango de movimiento de caderas y rodillas, se van ajustando a lo largo de las sesiones en función de la capacidad del paciente.

Número de artículo: 30	CONTENIDO
TÍTULO	Diseño de un sistema mecánico de rehabilitación en marcha con adición progresiva de peso.
UBICACIÓN	Hinari
AUTORES	Ariel A. A. Braidot, Guillermo L Aleman
AÑO	2011
TEMA	Soporte de peso, arnés, características de la banda.

RESUMEN DEL DOCUMENTO	Se diseñó y desarrolló un dispositivo mecánico de rehabilitación de la marcha basado en la aplicación de la "Terapia de descarga parcial del peso corporal". Se realizó una evaluación de las características de los dispositivos disponibles actualmente en el mercado que utiliza esta terapia y se realizó una búsqueda de información de los diferentes mecanismos utilizados. El dispositivo fue diseñado para adaptarse a diferentes estaturas y pesos de pacientes y ser utilizado con distintos equipos complementarios de ayuda en rehabilitación de la marcha, por ejemplo, cinta caminadora, escalador elíptico y escalador vertical. Se contempló la posibilidad de ser utilizado por pacientes con capacidades hemisféricas diferentes. Se desarrolló una estructura estable en acero ASTM A36 que no depende de las condiciones edilicias del lugar de instalación. Se utilizó el programa Ram Advanse para el cálculo de estabilidad de la estructura. Se logró realizar la elevación/descenso de paciente, amarrado a un arnés cómodo, mediante un mecanismo de malacate con freno automático que brinda seguridad al paciente y al terapeuta. Se logró cuantificar de manera precisa, mediante contrapesos, la carga soportada por el paciente en el transcurso de la terapia. Se obtuvo un prototipo ergonómico de dimensiones pequeñas con prestaciones similares a aquellos que se encuentran a la vanguardia, a un bajo costo. El diseño consideró la capacidad de cuantificar la carga para conocer con certeza cuanto peso soporta el paciente, conociendo la carga del contrapeso. Se diseñó un sistema con facilidad de cuantificar el contrapeso, de fácil
------------------------------	--

	manipulación y precio accesible. El mecanismo de contrapesos se basa en lingotes de acero de 5 (Kg) mediante los cuales se obtiene una exacta cuantificación del peso restado al paciente, satisfaciendo esta y las demás características citadas. Los lingotes se articulan verticalmente mediante dos ejes cilíndricos los cuales permiten el correcto ascenso y descenso de los mismos. La sujeción del paciente debe estar a cargo de un elemento el cual redistribuya la carga de contrapesos de manera cómoda en el cuerpo. Teniendo en cuenta lo anterior se escogió un elemento tipo arnés, el cual redistribuye la carga del paciente hacia la pelvis y el tronco, disminuyendo el peso soportado por los miembros inferiores. El arnés debe ser cómodo, regulable en tamaño y seguro, además de poseer elementos de sujeción del mismo por encima de los hombros. Aquellos que se ajustan a estas características son: arnés de cuerpo completo y arnés tipo paracaídas. El arnés tipo paracaídas tiene elementos de sujeción cómodos para realizar la terapia. Además, posee una amplia sujeción del torso confiriendo una correcta postura erguida al paciente. La desventaja de este arnés es su elevado costo.
--	--

ANEXO 2: ACTA DE APROBACION COMITÉ DE ETICA

Comité Institucional de Revisión de Ética Humana

Facultad de Salud



ACTA DE APROBACIÓN N° 022-011

Proyecto: **ESTADO DEL ARTE DE LOS REQUERIMIENTOS, VARIABLES Y PARAMETROS DE LAS PLATAFORMAS PARA EL ENTRENAMIENTO DE LA MARCHA ASISTIDA CON EXOESQUELETOS**

Sometido por: **GLORIA PATRICIA ARANGO/LEYDY MELISSA BARONA/LEYDY VIVIANA CHAMORRO**

Código Interno: **222-011** Fecha en que fue sometido: **16** **11** **2011**

El Consejo de la Facultad de Salud de la Universidad del Valle, ha establecido el Comité Institucional de Revisión de Ética Humana (CIREH), el cual está regido por la Resolución 008430 del 4 de octubre de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud, los principios de la Asamblea Médica Mundial expuestos en su Declaración de Helsinki de 1964, última revisión en 2002; y el Código de Regulaciones Federales, título 45, parte 46, para la protección de sujetos humanos, del Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Institutos Nacionales de Salud de los Estados Unidos 2000.

Este Comité certifica que:

1. Sus miembros revisaron los siguientes documentos del presente proyecto:

- | | |
|---|---|
| ☒ Resumen del proyecto | ☒ Protocolo de investigación |
| ☐ Formato de consentimiento informado | ☒ Instrumento de recolección de datos |
| ☐ Folleto del investigador (si aplica) | ☒ Cartas de las instituciones participantes |
| ☐ Resultados de evaluación por otros comités (si aplica) | |

2. El presente proyecto fue evaluado y aprobado por el Comité:

3. Según las categorías de riesgo establecidas en el artículo 11 de la Resolución N° 008430 de 1993 del Ministerio de Salud, el presente estudio tiene la siguiente **Clasificación de Riesgo**:

☒ SIN RIESGO ☐ RIESGO MÍNIMO ☐ RIESGO MAYOR DEL MÍNIMO

4. Que las medidas que están siendo tomadas para proteger a los sujetos humanos son adecuadas.

5. La forma de obtener el consentimiento informado de los participantes en el estudio es adecuada.

6. Este proyecto será **revisado nuevamente** en la próxima reunión plenaria del Comité, sin embargo, el Comité puede ser convocado a solicitud de algún miembro del Comité o de las directivas institucionales para revisar cualquier asunto relacionado con los derechos y el bienestar de los sujetos involucrados en este estudio.

7. Informará inmediatamente a las directivas institucionales:

- Todo desacato de los investigadores a las solicitudes del Comité.
- Cualquier suspensión o terminación de la aprobación por parte del Comité.

8. Informará inmediatamente a las directivas institucionales toda información que reciba acerca de:

- Lesiones a sujetos humanos.

ANEXO 3: ACTA COMITÉ DE ETICA APROBACION CAMBIO DE NOMBRE

Comité Institucional de Revisión de Ética Humana
Facultad de Salud



Santiago de Cali, 31 de Mayo de 2012

CEFS- 231-2012

Profesora:
GLORIA P. ARANGO
Escuela de Rehabilitación Humana
Facultad de Salud
La Universidad



El Comité de Ética revisó su comunicación con relación al proyecto "ESTADO DEL ARTE DE LOS REQUERIMIENTOS, VARIABLES Y PARAMETROS DE LAS PLATAFORMAS PARA EL ENTRENAMIENTO DE LA MARCHA ASISTIDA CON EXOESQUELETOS". Y se acepta el cambio con el nuevo título del proyecto: "ESTADO DEL ARTE DE LAS PLATAFORMAS PARA EL ENTRENAMIENTO DE MARCHA ASISTIDA CON EXOESQUELETOS" (222-011).

Atentamente,

Laura Elvira Piedrahita J.
LAURA ELVIRA PIEDRAHITA Enf. Psíc. MSc.
Presidente
Comité Institucional
Revisión de Ética Humana