

Desarrollo de una plataforma robótica para estimulación cognitiva y física en niños con discapacidad.

Developing a robotic platform for cognitive stimulation in children with disabilities

Luis Carlos Murillo Penagos.¹
luis.murillo06@usc.edu.co

María Paula Delgado Otalora.²
maría.delgado07@usc.edu.co

Aura María Millán Castro.³
aura.millan01@usc.edu.co

Javier Ferney Castillo Garcia Ph.D¹
javier.castillo00@usc.edu.co

Universidad Santiago de Cali (Colombia), Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Electrónica (1)
Universidad Santiago de Cali (Colombia), Facultad de Salud, Programa de Fisioterapia (2)
Universidad Santiago de Cali (Colombia), Facultad de Salud, Programa de Medicina (3)

Resumen.

La problemática inherente a la intervención de animales en terapias está asociada a los riesgos que implican esta interacción y la baja capacidad de realizar una valoración cuantitativa. El abordaje dado a esta problemática se realiza utilizando una plataforma robótica dividida en tres sistemas, integrando elementos para la rehabilitación motora, cognitiva y sensorial: El primero consiste en la emulación de la cabeza y el cuello del animal; el segundo sistema es la base, la cual permite emular movimientos de rotación y traslación del lomo del caballo en los tres ejes; finalmente el sistema del asiento que en su parte inferior calcula el vector de fuerza relacionando la distribución del peso del niño, mientras en la parte superior se realiza la emulación de la temperatura que varía de 38 °C a 42 °C dependiendo de la velocidad de trabajo, adicionalmente se registraron los ángulos articulares de la región cervical, la caja torácica, lumbar y la cadera; evaluando la postura del paciente, incorporando además un juego de luces que facilitan observar hacia qué lado está dirigido el vector de fuerza resultante, permitiéndole modificar su postura y mejorar su propiocepción.

El presente documento es una prueba de concepto que trata del empleo de una plataforma robótica de rehabilitación que tiene como finalidad ayudar a que los pacientes con discapacidad motriz, sensorial y cognitiva puedan acceder a una opción de tratamiento diferente a la hipoterapia tradicional, generando resultados que brinden beneficios, y al mismo tiempo una recuperación e implementación de planes de trabajo que generen bienestar en la salud del paciente. La plataforma robótica propuesta emula las grandes ventajas que conceden los caballos y se puede acceder a medidas y datos en tiempo real. El sistema comprende una interacción de comandos para el usuario, de modo que pueda desarrollar nuevas capacidades y habilidades psicomotoras. Los datos que se obtienen pueden servir como indicadores para la evaluación diferencial de cada paciente, así mismo la posibilidad de monitorear variables como: La temperatura, ángulos articulares y peso.

Palabras Clave: Hipoterapia, Robot paralelo, Plataforma robótica, Robótica de rehabilitación.

Abstract

The problem inherent to the intervention of animals in therapies is associated with the risks involved in this interaction and the low capacity to make a quantitative assessment. The approach given to this problem is carried out using a robotic platform divided into three systems, integrating elements for motor, cognitive and sensory rehabilitation: The first consists of the emulation of the head and neck of the animal; the second system is the base, which allows emulating movements of rotation and translation of the back of the horse in the three axes; finally the system of the seat that in its inferior part calculates the vector of force relating the distribution of the weight of the child, while in the superior part the emulation of the temperature is made that varies from 38 °C to 42 °C depending on the speed of work, additionally the articular angles of the cervical region were registered, the thoracic cage, lumbar and the hip; evaluating the patient's posture, also incorporating a set of lights that make it easier to observe to which side the resulting force vector is directed, allowing him to modify his posture and improve his proprioception.

This document is a proof of concept that deals with the use of a robotic rehabilitation platform that aims to help patients with motor,

sensory and cognitive disabilities can access a treatment option different from traditional hypotherapy, generating results that provide benefits, and at the same time a recovery and implementation of work plans that generate welfare in the health of the patient. The proposed robotic platform emulates the great advantages granted by horses, and measures and data can be accessed in real time. The system comprises an interaction of commands for the user, so that he can develop new psychomotor skills and abilities. The data obtained can serve as indicators for the differential evaluation of each patient, as well as the possibility of monitoring variables such as: Temperature, acceleration, joint angles and weight.

Keywords: Hypotherapy, Parallel Robot, Robotic Platform, Rehabilitation Robotics.

1. INTRODUCCIÓN

La hipoterapia es una terapia que cuenta con la ayuda de un caballo. En este tratamiento un fisioterapeuta, un caballo especializado y un entrenador de caballo son quienes logran integrar el movimiento del caballo (Berneche García María Eugenia, 2015); también proporciona una base dinámica de apoyo, lo que la convierte en una excelente herramienta terapéutica para mejorar el equilibrio, el control y la fuerza del tronco de los pacientes. Así mismo la hipoterapia adquiere su efecto distintivo a través de la facilitación neuronal, la estimulación vestibular, la estimulación propioceptiva y la influencia psicosomática (McGibbon, Benda, Duncan, & Silkwood-Sherer, 2009); además mejora el equilibrio, la postura, la movilidad, las funciones psicológicas, cognitivas, de comportamiento y comunicación en personas de todas las edades y con padecimientos tales como: parálisis cerebral, esclerosis múltiple, retraso del desarrollo, lesión cerebral traumática, accidente cerebrovascular, autismo y discapacidades de aprendizaje y lenguaje. No obstante, la hipoterapia no es para todos los pacientes, cada cual debe ser evaluado de forma individual por los profesionales de la salud especialmente capacitados (López Roa & Moreno Rodríguez, 2015).

El movimiento del caballo es regulado durante el tratamiento del paciente, el tono muscular, el equilibrio, la postura, la coordinación motora, la concentración, la autoconfianza y la autoestima son algunas de las habilidades desarrolladas en el proceso de montar a caballo. La hipoterapia se puede adaptar a las necesidades individuales, tendientes al desarrollo de músculos específicos ayudando en el estiramiento, tonificación y fortalecimiento (Berneche García María Eugenia, 2015; López Roa & Moreno Rodríguez, 2015); estimulando física y sensorialmente, gracias a su cadencia y variabilidad lo que conduce a una respuesta en la cual el paciente percibe un movimiento en la pelvis, como si caminara (López Roa & Moreno Rodríguez, 2014).

Las discapacidades que han sido tratadas en la hipoterapia son diversas, entre las que se incluyen el trastorno del espectro autista, el abuso de sustancias, la esclerosis múltiple, distrofia muscular, amputación, trastornos del desarrollo, lesión de la médula espinal, lesión cerebral, parálisis cerebral, trastornos convulsivos, visual y discapacidad auditiva, trastornos del aprendizaje, problemas emocionales, trastornos de ansiedad, problemas de comportamiento, entre otros (Snider, Korner-Bitensky, Kammann, Warner, & Saleh, 2007; Zadnikar & Kastrin, 2011).

Sin embargo cualquier animal que sea usado en tratamientos médicos implica un riesgo sin importar lo dócil que este sea, además, lograr cuantificar con instrumentos de medición los movimientos del animal para determinar la viabilidad como tratamiento es bastante complejo. sin olvidar que en un proceso de rehabilitación se requiere tener repetitividad de los movimientos los cuales son los que garantizan la evolución del paciente. Por consiguiente la presente investigación se refiere al diseño e implementación de una plataforma robótica que permite integrar una red de sensores para la rehabilitación cognitiva y física en niños en condiciones de discapacidad, aprovechando el movimiento de la plataforma para mejorar la postura, el equilibrio y la función general de personas con problemas cognitivos o motores.

1.1 Movimientos tridimensionales en hipoterapia.

El caballo que cumple la función de coterapeuta se mueve tridimensionalmente, por lo tanto, se mueve de manera horizontal, vertical y circular. Estos movimientos generan estímulos en el cuerpo del paciente enfocándose en la cadera y repercuten a su vez en la columna, pelvis y médula. Para poder llevar a cabo esta terapia el caballo debe ser manso, dócil, ágil, receptivo y que cuente con trote cruzado, lo que conlleva dificultades a la hora de tener a disposición un efectivo con estas características. La estructura realizada y expresada en este artículo permite a un costo mucho menor tener todas estas ventajas con los movimientos que realiza el caballo, resaltando que la plataforma consta de 3 niveles de intensidad (paso, trote y galope), los cuales se reflejarán en la hipotonía y aumento del tono.

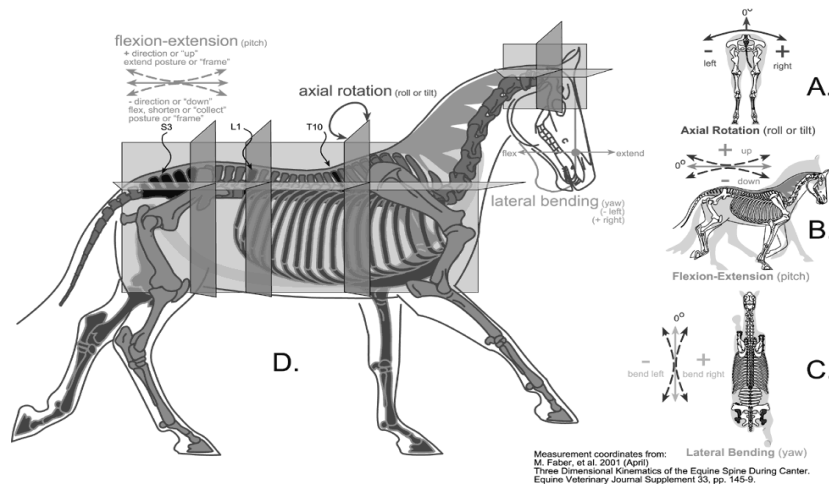
1.2 Abducción-aducción.

Es un movimiento en el plano frontal que divide el cuerpo en anterior y posterior, por esto cuando el caballo inicia su marcha levantando sus músculos lumbares verticalmente generan que el paciente también se levante de manera vertical, alejándose del lomo de este unos 4 cm, esta elevación repercute en la pelvis que realiza movimientos laterales de 8 a 9 cm, al moverse hacia los lados el paciente con su columna busca estabilizarse; este movimiento tiene una igualdad en la marcha que realizamos a diario en condiciones normales (Espinosa Luz E., 2007).

1.3 Extensión-flexión.

Este movimiento es en el plano sagital que divide el cuerpo en izquierda y derecha, por esto cuando el caballo mueve los miembros anteriores y empuja los posteriores, ambos al mismo tiempo transmiten su punto de gravedad del dorso al centro de gravedad del jinete. La pelvis se extiende y recoge rítmicamente con respecto al desplazamiento hacia delante y atrás, dando como resultado la extensión-flexión sobre esta zona del cuerpo (Espinosa Luz E., 2007).

Ilustración 1: Cinemática tridimensional de la columna equina durante el trote.



Fuente: **Three-Dimensional Kinematics of the Equine Spine during Carrier** (Faber, Schamhardt, Weeren, & Barneveld, 2001).

1.4 Calor del caballo.

El calor del caballo es un aspecto primordial en la hipoterapia y de las características de la rehabilitación más difícil de simular en las plataformas robóticas de esta índole, donde según el paso del caballo se transfiere el calor al jinete, mejorando considerablemente todos los estímulos del cinturón pélvico y la médula espinal de la persona, utilizado para distender y relajar la musculatura, estimular la sensopercepción táctil y mejorar el flujo sanguíneo que estimula el sistema circulatorio, lo que beneficia en general la función fisiológica de los órganos internos.

1.5 Áreas de impacto de la hipoterapia.

A continuación se presentan las áreas y las características que son impactadas por el uso de la hipoterapia:

Psicológica/cognitiva: En personas que no presentan un deterioro cognitivo asociado a una enfermedad, el objetivo de la estimulación cognitiva (entrenamiento cognitivo) es lograr la estimulación, mejora y funcionamiento óptimo de las capacidades cognitivas importantes para el día a día de las personas. Logrando mejorar el bienestar y autonomía personal, la autoestima y autoeficacia, así como la adquisición de habilidades necesarias para afrontar satisfactoriamente situaciones de estrés y desequilibrio emocional; sin embargo cuando la persona presenta deterioro cognitivo, el objetivo principal de la estimulación cognitiva (rehabilitación cognitiva) será la recuperación y restablecimiento de las funciones alteradas. De este modo, se procura la ralentización del deterioro consiguiendo una mayor autonomía funcional durante más tiempo. Las métricas utilizadas son la Escala Australiana para el Síndrome de Asperger –ASAS (del inglés, Australian Scale for Asperger's Syndrome) (Attwood T, 2008) y el Test Infantil del Síndrome de Asperger –CAST (del inglés, Childhood Asperger Syndrome Test) (Scott, F. J, Baron-Cohen, Bolton P., & Brayne C., 2002).

Comunicación y lenguaje: Mejora/aumenta la comunicación gestual y oral, aumenta el vocabulario, ayuda en el proceso de construcción de frases correctamente y mejora la articulación de las palabras (Madrona Pedro, Onofre Ricardo, & Gomez Isabel, 2008).

Psicomotora: Desarrollo de la posición horizontal y vertical, construcción de la simetría corporal, fomenta la coordinación psicomotriz gruesa y fina, ayuda en el desarrollo de la lateralidad. Escala de Evaluación del Desarrollo Psicomotor (Madrona Pedro, Onofre Ricardo, & Gomez Isabel, 2008).

Adquisición de nuevos aprendizajes y técnica de equitación: Subir y bajar del caballo lo más automáticamente posible, aprender a conducir el caballo al paso, al trote y al galope.

Socialización: Relacionarse con personas que no pertenecen a su entorno familiar o escolar, crear relaciones de amistad con los compañeros, desarrollar el respeto y el amor hacia los animales, aumentar el número de vivencias. Escala Australiana para el Síndrome de Asperger (ASAS), Test Infantil del Síndrome de Asperger (CAST).

Médica: Estimulación de la peristalsis, estimulación del sistema circulatorio y estimulación del sistema respiratorio.

Motora: regulación del tono muscular, inhibición de reflejos tónicos y movimientos asociados, grabación y automatización del patrón de locomoción, estabilización de tronco y cabeza, incremento de la elasticidad, agilidad, fuerza muscular y desarrollo del sistema propioceptivo. Función motora gruesa - GMFM del inglés, gross motor function measure (Rosenbaum et al., 2002). Escala de evaluación sentada sas (del inglés, sitting assessment scale) (Myhr, 1993).

1.6 Robótica de Rehabilitación.

Las investigaciones en ingeniería de rehabilitación y la aplicación de este tipo de tecnologías en escenarios clínicos particularmente en terapia ocupacional o de fisioterapia es casi nula, debido a los altos costos, la accesibilidad a las nuevas tecnologías robóticas y la poca sensibilidad en considerar a las personas en condiciones de discapacidad, como personas con necesidades especiales, además la falta de integración entre academia y sector salud. Debido a esto, únicamente el 11% de personas con discapacidad logran acceder a algún servicio de rehabilitación (Helena, Agudelo, & Seijas, 2012).

El término de ingeniería de rehabilitación puede ser definido como: la aplicación de soluciones tecnológicas a los diferentes problemas que podrían enfrentar en la cotidianidad personas con discapacidad. La rehabilitación robótica es un sub campo de la ingeniería de rehabilitación y hace parte de las nuevas tecnologías que están siendo implementadas en terapia ocupacional y fisioterapia (Napper S et al, 1989). El campo de la rehabilitación robótica en general, puede ser visto desde dos enfoques o dividirse en dos categorías que son: Los robots terapeutas o de asistencia a la rehabilitación (rehabilitación robótica) y robots para asistir al niño en tareas de la vida cotidiana como comer, lavarse los dientes o desplazarse en su hogar, tareas que son fáciles para niños sanos pero para aquellos con necesidades especiales es casi imposibles.

En Colombia por causa de la discapacidad motora y cognitiva los niños son excluidos del sistema educativo y de adultos son casi nulas las oportunidades de empleo, por lo que se ocasionan elevados costos sociales y económicos (DANE, 2005). Por lo cual se presenta una valiosa oportunidad de implementar tecnologías que basadas en la robótica de rehabilitación promuevan la inclusión y el crecimiento de las potencialidades de la población en condición de discapacidad, promoviendo además la rehabilitación cognitiva y física de niños en condiciones especiales, en el cual se plantea un protocolo de terapia con un sistema para medir y evaluar determinados parámetros que puedan ser tenidos en cuenta a la hora de evaluar a un paciente.

1.7 Plataformas robóticas utilizadas para hipoterapia.

A través de la hipoterapia se analizan ciertos estímulos sensitivos y sensoriales que recibe el jinete, es decir, los movimientos rítmicos y simétricos generados por el caballo al caminar, lo cual reporta grandes beneficios a nivel físico. Además, se logra trabajar los déficits cognitivos a través de la motivación. La hipoterapia va dirigida a personas con distintos tipos de discapacidad física, psicológica y social. Algunos de ellos son: la parálisis cerebral, lesiones medulares, disfunciones motoras, enfermedades neurodegenerativas y traumatológicas.

A pesar de que este tipo de rehabilitación cuenta con años de abordaje empleando un caballo en sí, existen algunas aplicaciones en este campo que buscan estudiar la interacción con terapias asistidas por plataformas robóticas en niños, con el fin de observar la aceptación por parte del paciente y terapeuta como las que se describen a continuación:

Caren system: esta plataforma es utilizada para el control motor y aprendizaje motor, impacta las áreas médica y motora. Se realizaron pruebas en 11 niños, los pacientes no presentaban condición de discapacidad y los resultados obtenidos sugieren que el uso de sistemas asistidos pueden afectar positivamente la terapia (Barton, Moine, & Hawken, 2015).

Joba: Con esta plataforma se analizan los efectos terapéuticos y las contraindicaciones del uso de un simulador de hipoterapia profesional en niños con parálisis cerebral, y se evalúa el desarrollo motor, el control de la postura sentado y la abducción de la cadera. Las áreas impactadas fueron la médica y motora. La métrica utilizada para la valoración de pacientes fue Gross Motor Function Classification System, Sitting Assessment Scale (SAS) (42). La cantidad de participantes en este estudio fue de 38 niños (4-18 años) (Herrero et al., 2010).

Fortis-102: Este sistema robótico es utilizado para hipoterapia, el área impactada es el área motor, la métrica de validación fue la aceleración. Los resultados obtenidos muestran que las aceleraciones entre el robot y el caballo real son muy similares (H et al., 2014).

Plataforma stewie: Es un sistema robótico de 6° de libertad para hipoterapia, las áreas impactadas fueron la motora de aprendizaje de técnicas de equitación y la motora. El simulador desarrollado realiza las tres maniobras básicas: caminar, trotar y galopar. (Fuente: Burton B., 2018).

IM-hirob: Es un sistema robótico de 6° de libertad para hipoterapia, su área de impacto es la motora. Se logran movimientos similares a los de un caballo en sus tres ejes. Permite asistir al paciente hasta montarse en el caballo (Mayr A, Kofler M., & Saltuari L., 2012).

Robot-HBRT: Es una plataforma utilizada en pacientes con escoliosis neuromuscular progresiva antes y después de la terapia, impacta el área médica y motora. La métrica de valoración de pacientes utilizada es la Gross Motor Function Measure y manual muscle testing. En esta participaron 12 niños de 11 años de edad, siendo este el primer estudio que proporciona evidencia de la eficacia terapéutica de una nueva forma de robot-HBRT sobre la función motora y las mejoras asociadas de control estructural y motor (Kwon et al., 2015).

Este tipo de investigaciones buscan profundizar en aspectos que generen opciones y a partir de ello ofrecer mejoras significativas en los pacientes, en comparación con la terapia tradicional con el caballo; junto a una mayor comodidad tanto para los usuarios como para el fisioterapeuta.

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1 Materiales.

2.1.1 Sensores MPU6050.

La ubicación postural del paciente se lleva a cabo con sensores inerciales MPU 6050-GY 521, es una unidad de medición inercial (IMU) de seis grados de libertad (6DOF), combina un acelerómetro de 3 ejes y un giroscopio de 3 ejes (InvenSense, 2019).

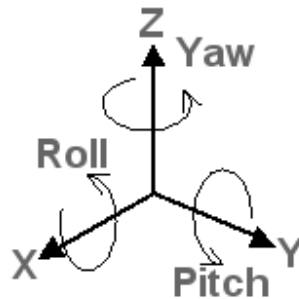
La comunicación puede realizarse tanto por SPI como por bus I2C, por lo que es sencillo obtener los datos medidos siendo este último la forma de comunicación incluida, debido a que se utilizó un multiplexor I2C al que se conecta el

microcontrolador, un sensor de temperatura GY 21 y 6 MPU 6050.

Los sensores MPU6050 requieren un corto periodo de tiempo para estabilizarse y dar mediciones válidas, transcurrido uno segundos vemos como los sensores MPU empiezan a tomar datos reales.

Este sensor juega un papel importante ya que aparte de ver la postura del paciente permite ver la ubicación de la silla, en este sensor se interpretan los ejes X, Y y Z siendo Roll, Pitch y Yaw como lo muestra la ilustración 2.

Ilustración 2: Ejes de movimiento.



Fuente: Propia

2.1.2 Celdas de carga.

Conformado por galgas extensiométricas, las cuales al mínimo cambio de esfuerzo de la resistencia sometido a tensiones se genera la deformación de la celda, la que conectada a un módulo HX711 se encarga de convertir la señal analógica en señal digital.

2.1.3 Sensores de temperatura.

En este proyecto se usaron 2 diferentes sensores de temperatura los cuales son los encargados de obtener la temperatura acorde a un caballo, sea en reposo, caminando y en trote, con temperaturas desde 38° hasta los 42° respectivamente.

Este sensor junto a un Relé de estado sólido 24-380vac 40a Ssr-40da, son los encargados mediante un sistema PID (proporcional, integral y derivativo) de controlar el sistema de temperatura que es llevado por un hilo de nicromo forrado con silicona capaz de soportar temperaturas de hasta 55°.

2.1.4 Fuente de alimentación.

Para la propuesta se utilizaron 2 fuentes de poder S-400, de 24 voltios 16.6 amperios cada una.

2.1.5 Servomotores de alto torque.

Para el desarrollo de la propuesta de hipoterapia se utilizan 8 servomotores de alto torque ASMB04B, Voltaje de trabajo: DC 11-24V, torque max.380 kg.cm, Ángulo de rotación: 300° MAX ($\pm 150^\circ$ o $0^\circ - 300^\circ$ MAX (*Electropro.Pe, s. f.*).

2.1.6 Arduino uno y mega 2560.

Estos dispositivos fueron utilizados para el procesamiento de las ecuaciones matemáticas y crear los movimientos tridimensionales en la plataforma Stewart, el movimiento de la cabeza y el cuello, el procesamiento del control de temperatura, la toma de datos de los sensores MPU6050, el control del anillo de leds RGB, el control de las celdas de carga y recibir la orden de los sensores de fuerza resistivos (fsr402).

los criterios que se utilizaron para seleccionar los materiales y equipos de este proyecto son: que la plataforma se pudiera presentar de forma modular, que se sea liviana, resistente, que cumplan la funcionalidad de movimiento requerida, que los sensores al momento del montaje presentarán un error muy bajo en comparación con el datasheet, que su programación

fuera en un lenguaje conocido, que se encontrará información vigente de los sensores y que fuera posible adquirirlo en corto tiempo.

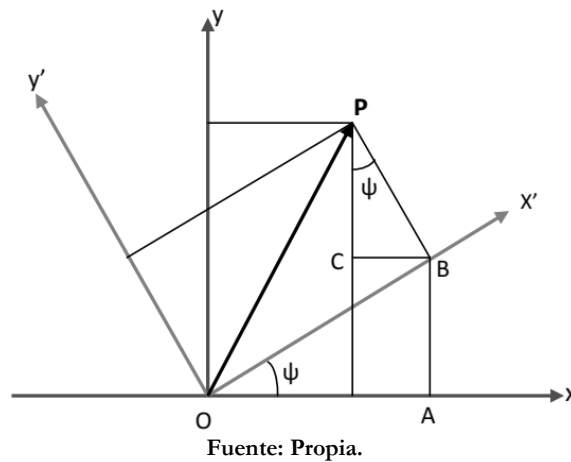
2.2 Métodos.

2.2.1 Plataforma Stewart.

Para el desarrollo de la propuesta se utilizó la resolución del problema matemático de una plataforma Stewart Gough presentada en el artículo Kinematic analysis of a Stewart platform manipulator, a partir de ahí se toma dichas soluciones, se calculan los datos reales de la estructura y se implementa en el algoritmo encargado de la movilidad de los servos (Liu, Fitzgerald, & Lewis, 1993)

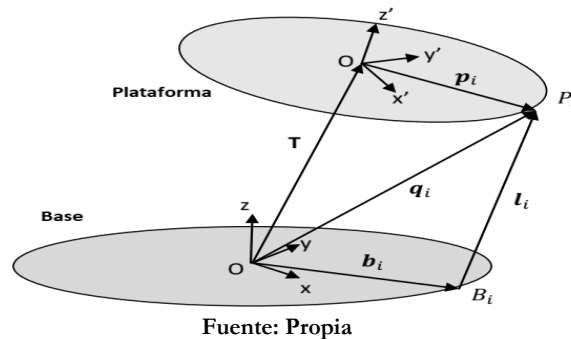
La plataforma presenta un desplazamiento angular con respecto a la base, lo que se muestra en la ilustración 3.

Ilustración 3: Desplazamiento angular con respecto a la base.



Ahora comparando la ilustración 3 con la ilustración 4 de una plataforma Stewart.

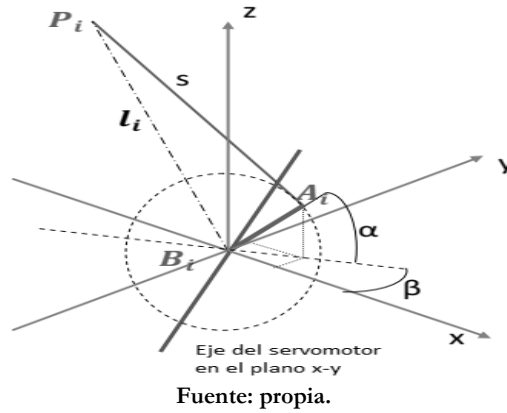
Ilustración 4: Plataforma Stewart y sus coordenadas.



Sin embargo al utilizar la matemática planteada se encontró 40 soluciones posibles de las cuales en la práctica muchas de estas soluciones no serían útiles.

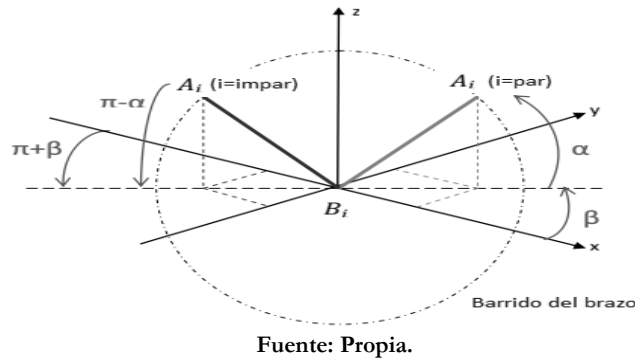
Si las longitudes de los brazos se logran mediante servos giratorios, en lugar de servos lineales, un cálculo más se requiere para determinar el ángulo de rotación del servo. Cada combinación servo/brazo puede representarse como la ilustración 5.

Ilustración 5: Eje del Servomotor en el Plano X - Y.



En la ilustración 6 se muestra los servomotores pares e impares.

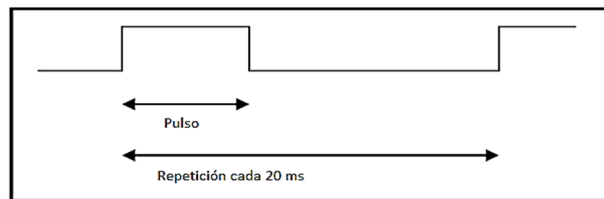
Ilustración 6: Puntos pares e impares de los brazos de los servomotores.



El punto A tiene restricciones debido al uso de los servos, la disposición significa que hay impares y pares, los cuales son un reflejo el uno del otro.

Ahora Los servos están controlados por un pulso desde el microcontrolador cuya duración define el ángulo del brazo.

Ilustración 7: Modulación por ancho de pulsos (PWM).



Movimientos tridimensionales de la estructura Stewart.

Visto en el apartado de movimientos tridimensionales de la hipoterapia, se planteó como solución la incorporación de los 3 movimientos de los diferentes planos en uno solo, donde el terapeuta es quien decide cuantos grados en yaw, pitch y roll o cuanta distancia en x, y, z necesita el paciente en el estado actual de su examen preliminar junto con los 3 niveles de intensidad (caminata, trote y galope).

En la hipoterapia el caballo debe cumplir ciertos requisitos como: su andar, tamaño, contextura, temperatura y edad; mientras que con la solución de la plataforma Stewart resolvemos estos requisitos previos teniendo un modelo estándar con total control en su accionar lo que no se tiene en la hipoterapia con el caballo. El terreno influye en gran medida en

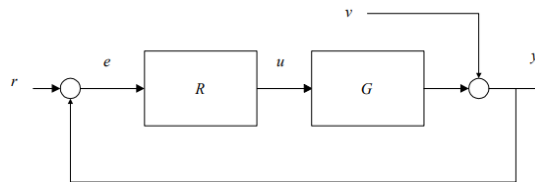
la terapia debido a que tiene que ser totalmente plano, diferente a la estructura que no necesita un ambiente por fuera de las instalaciones de una clínica.

El software realizado para la estructura es mediante el microcontrolador arduino que ofrece un menú al terapeuta en el cual tiene que introducir los respectivos valores en posición de x, y, z; y de ángulos de inclinación yaw, pitch y roll, para la etapa actual del paciente junto al nivel de intensidad adecuada para la misma. En cualquier momento de la terapia el terapeuta tiene total libertad de cambiar los parámetros, con el fin de mejorar los resultados que se reflejan en el paciente.

2.2.2 Temperatura.

La temperatura en hipoterapia permite relajar y distender los músculos, para ello se implementó sobre el asiento de la estructura con un microcontrolador y un relé de estado sólido un hilo de nicromo forrado con silicona, en el cual se desarrolló un control proporcional, integral y derivativo (PID) basado en un modelo de control interno (IMC); el cual permite obtener el modelo de los datos de planta (respuesta escalón), la respuesta en lazo cerrado, eligiendo la respuesta deseada del sistema y un β el cual puede funcionar como un potenciómetro de diseño, y además se pueden calcular las constantes del controlador (P, I y D) con fórmulas apropiadas, como se presenta en la ilustración 8.

Ilustración 8: Control PID.



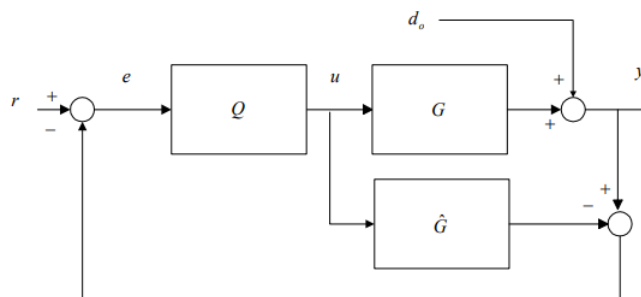
Fuente: Propia.

Una vez obtenido el modelo y diseñado el controlador para el sistema objeto, es posible aplicar los diferentes métodos de sintonización de controladores como: el método Ziegler Nichols, el método Cohen Coon, o el modelo de control interno (IMC) entre otros, los cuales se utilizan para cumplir con los requerimientos del sistema.

Sintonizar un controlador PID significa ajustar las ganancias de cada una de las acciones de control afin de obtener una respuesta aceptable de la variable de proceso (Alfaro Ruíz, 2011). Los métodos de sintonización para controladores proporcional, integral y derivativo; permiten determinar el ajuste de los requerimientos del sistema como la ganancia, el tiempo derivativo y el tiempo integral. En la sintonización de los controladores, primero se debe identificar la dinámica del proceso, luego se selecciona el método de sintonización de controladores y a partir de esta respuesta se determinan los parámetros del controlador a implementar.

Al existir la inversa matemática del operador que describe la planta, dicha inversa se utiliza como controlador y el sistema en lazo cerrado es estable con dicho controlador (Puerto Jorge A., Rincon Liz K., & Jacinto Edwar, 2011). El IMC ha sido empleado como una estrategia de control que proporciona excelentes resultados, gracias a su robustez contra las perturbaciones ocasionadas por disturbios. El esquema de control por modelo interno (IMC) está constituido por un controlador y un modelo del proceso real como es presentado en la Ilustración 9.

Ilustración 9: Control con modelo interno (IMC).



Donde la salida es:

$$Y = \frac{QG}{1 + Q(G - \hat{G})}r + \frac{1 - Q\hat{G}}{1 + Q(G - \hat{G})}d_0$$

Si el modelo es perfecto:

$$Y = QGr + (Q\hat{G})d_0$$

Si la planta es estable se elige Q como la inversa de G quedando:

$$Y = QGr - (Q\hat{G})d_0$$

$$Y = \hat{G}^{-1}Gr + (1 - \hat{G}^{-1}\hat{G})d_0$$

$$Y = \frac{G}{\hat{G}r} + (1 - \frac{G}{\hat{G}})d_0$$

$$\frac{G}{\hat{G}} \approx 1 \Rightarrow Y \approx r$$

Con $Q = \hat{G}^{-1}$ se obtiene el control perfecto para el PID de temperatura.

El control por modelo interno depende directamente de la estructura del sistema y de su modelo matemático, este método consiste en diseñar el controlador de acuerdo a los requerimientos del sistema. Para aplicar este método de sintonía se deben realizar pruebas a la planta para ver cómo responde. A partir de esta respuesta se escogen los parámetros de diseño; con dichos parámetros se diseña el controlador y finalmente se aplica este controlador a la planta para ver su respuesta.

Para el caso de estudio se enfocará en los modelos de primer orden más tiempo muerto. La función de transferencia que describe a estos sistemas está dada por la ecuación 1.

$$G_0(s) = \frac{K_0 e^{-s\tau_0}}{\gamma_0 s + 1}; \gamma_0 > 0 \text{ Ecuación 1,}$$

Donde se obtiene que K_0 es la ganancia, γ_0 la constante de tiempo, s la variable compleja, y τ_0 es el tiempo muerto.

Para el cálculo del desempeño del control de temperatura fueron utilizados los siguientes criterios:

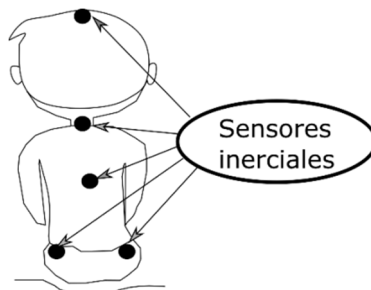
- Integral del error absoluto IAE.
- Integral del error cuadrático ISE.
- Tiempo de establecimiento T_s .
- Sobrepasso máximo M_p .

Estos criterios se utilizan para evaluar la calidad de respuesta de un sistema ante una entrada, además permite evaluar si el proceso posee un error permanente al presentarse un cambio en algunos de sus parámetros de entrada.

Al realizar el análisis de los criterios de desempeño IAE e ISE se establece cuál de los métodos de sintonización presenta el menor error en su respuesta, lo cual significa que el sistema será más estable al presentarse algún cambio en alguno de sus parámetros de entrada. Con el sobrepasso máximo y el tiempo de establecimiento se busca minimizar dicho valor, esto trae consigo generar un menor esfuerzo de control en el sistema y una respuesta más rápida del mismo.

Para las pruebas de los MPU se realizó una prueba con cada uno de ellos determinando su error, los cuales se utilizaran en un arnés ajustado al cuerpo del paciente ubicando los sensores como se muestra en la ilustración 10, quedando ubicados: 1 en cabeza, 1 en vértebras cervicales, 1 en vértebras lumbares y 2 en cadera. Los cuales permitirán examinar el movimiento lateral de todo el segmento del tronco.

Ilustración 10: Ubicación sensores MPU6050.

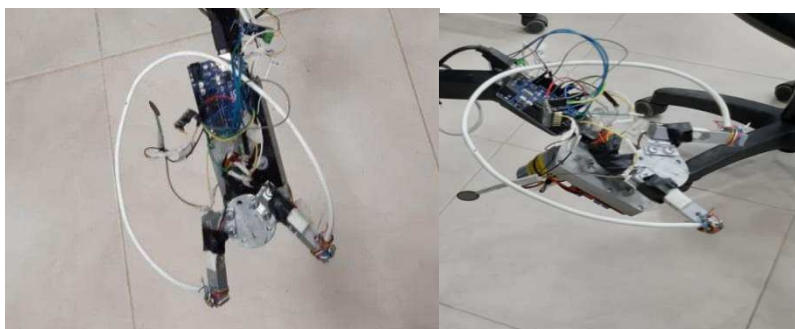


Fuente: propia.

2.2.3 Distribución de peso y estimulación cognitiva.

Para el desarrollo de la propuesta se utilizaron 5 celdas de carga ELN 0418 con sus respectivos módulos HX711, dos de los cuales se encargaron de dar la instrucción a los servos de la cabeza y cuello determinando frenado y dirección de la estructura, comandado por un microcontrolador ATMEGA 16u2 el encargado de enviar la señal PWM a cada servo de la cabeza y cuello, siendo la velocidad de la plataforma ordenada por los sensores FSR 402 como se muestra en la ilustración 11.

Ilustración 11: Diseño de la cabeza con celdas de carga, parlante, servomotor y microcontrolador.



Fuente: Propia.

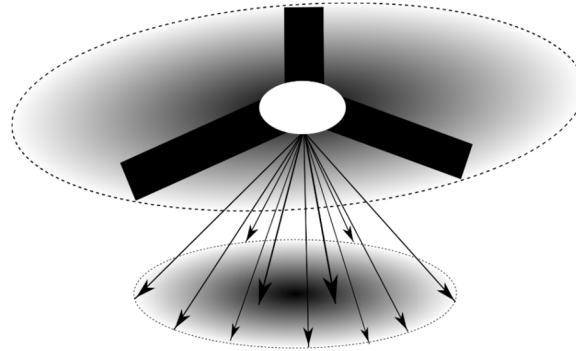
Ilustración 12: EL0418 y HX711 en asiento.



Fuente: Propia.

La ilustración 12 y 13 muestran tres celdas de carga que logran determinar la ubicación del paciente en el asiento mediante el cálculo del determinante resultante entre una celda de carga y la otra, con las que además se puede obtener el peso total del paciente y el vector fuerza, y así mostrar su ubicación en la estructura mediante un anillo de leds RGB.

Ilustración 13: Vector fuerza para análisis de postura.



Fuente: Propia.

La ubicación del paciente en el asiento se muestra mediante un anillo de 24 leds RGB programables, este anillo es alimentado a 5 volt y comandado por una señal PWM desde el microcontrolador, en el que dependiendo de la ubicación del paciente se iluminara un color en la dirección en que este se encuentra, informando al paciente que debe corregir la distribución de su peso en la estructura.

2.2.4 Anillo de leds RGB.

El anillo de leds que se utilizó para determinar la ubicación del paciente también fue programado para ser utilizado en los estímulos visuales, los cuales funcionan con un protocolo de comunicación serial de una línea, lo que significa que cada color corresponde a una señal, este anillo es uno de los instrumentos que permite analizar si la plataforma está realizando una estimulación cognitiva, ya que el paciente al ver los leds que fueron programados por el terapeuta este deberá seguir las señales, sea con movimientos del cuerpo o simplemente jalando las riendas de la plataforma.

2.2.5 Estímulos auditivos.

Los estímulos auditivos se logran con un módulo mp3 y la señal es amplificada y reproducida por un parlante de 3w.

2.2.6 Protocolo Para la realización de Hipoterapia

Con la implementación de la plataforma se a construido un protocolo para su aplicación, ya que esto ayuda a obtener información y así mismo garantizar el buen trabajo de rehabilitación al paciente para lograr una labor totalmente confiable y esencial en el proceso de este. (Espinosa, 2007).

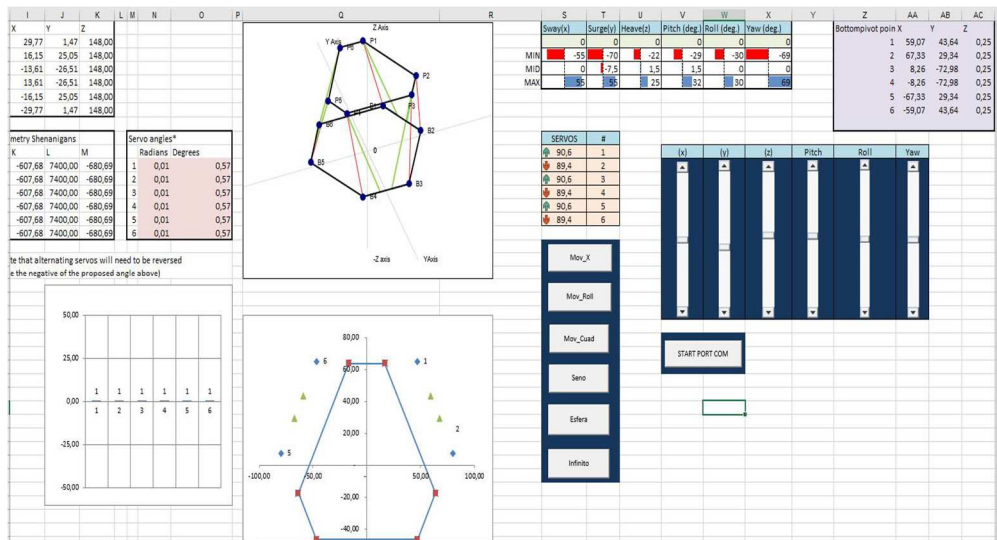
Las siguientes recomendaciones para la hipoterapia son:

- Realizar una evaluación completa por parte del equipo interdisciplinario.
- Realizar una evaluación de destrezas y habilidades.
- Prevenir complicaciones.
- Adaptar manejos especiales para cada paciente.
- Integración familiar.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La ilustración 14 muestra el macro realizado en excel que permitió realizar la simulación de los cálculos ingresando los valores antes de montar el proyecto físico, gracias a este, se descartó que en el momento de conectar los servos ASMB04B, estos con su torque fuera a dañar el resto de la estructura.

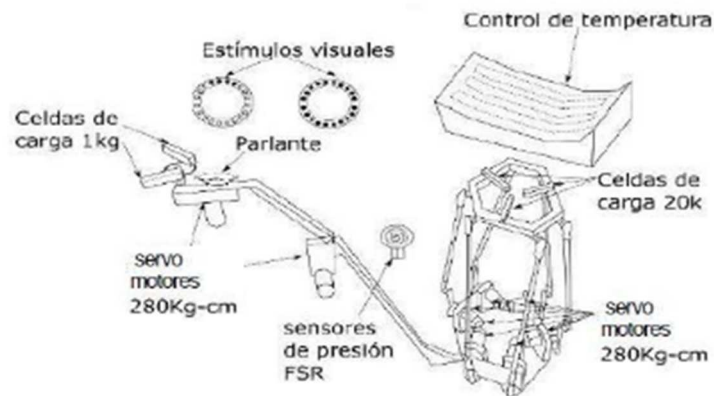
Ilustración 14: Simulador de la plataforma robótica realizado en Excel.



Fuente: propia.

La ilustración 15 muestra el diseño final de la estructura en la cual se encuentran cada uno de los elementos que hacen parte de la propuesta.

Ilustración 15: Diseño de la estructura; cabeza, cuello y base.



Fuente: propia.

La tabla 1 presenta los errores obtenidos para los movimientos de rotación y traslación en la plataforma. Estas mediciones se realizaron definiendo valores en el rango de -12 a 12 cm en los tres ejes, y para las mediciones angulares se definieron valores desde -20° hasta 20°.

Tabla 1: Errores obtenidos para los movimientos de rotación y traslación en la plataforma.

Coordenada	Error Traslación (%)	Error Rotación (%)
X	3,2	4,5
Y	2,9	4,8
Z	3,9	7,3

Fuente: Propia.

La plataforma trabaja con base en el análisis matemático realizado en simulaciones de excel como lo muestra la ilustración 14, en la que se presenta una tasa de error muy pequeña, sin embargo al plantear la estructura en la realidad presenta porcentajes de error considerables debido a diferentes factores físicos, entre ellos el mecánico.

El porcentaje de error es relevante de acuerdo a las simulaciones, pero, se debe considerar que para tener un porcentaje de error más bajo hay que examinar la calidad de los materiales, la mano de obra y pesos de cada elemento de la estructura con la que se construye la plataforma, ya que esto puede influir a que las medidas de la estructura varíen un poco.

La tabla 2 presenta los valores de error para los sensores inerciales, teniendo en cuenta que para el sistema se utilizaran 5 en el niño y un sensor inercial en el asiento de la plataforma.

Tabla 2: Error obtenido para los sensores inerciales.

Ángulo	Error (%)
Roll	4.7
Pitch	5
Yaw	4.5

Fuente: Propia.

Los ángulos de la plataforma presentan un porcentaje de error diferente de la simulación donde todo es perfecto, sin embargo, se encontró que en la plataforma real existen errores los cuales se lograron detectar gracias al sensor inercial ubicado en el asiento de la estructura, práctica que se reforzó con la medida arrojada por un sensor de distancia VL53LOX desde el centro a cada ubicación de los brazos de los servos, además como experimento se quiso comparar con Angle meter, una aplicación de Smartphone. En la tabla 3 se muestra la diferencia desde el centro de la base a cualquier ángulo de ubicación del asiento entre la App y el sensor de distancia VL53LOX. Para esta última comparación no se utilizó un sensor calibrado ya que se realizó como experimento.

Tabla 3: Distancia desde el centro a cada ángulo de la plataforma en mm.

Angulo	Sensor inercial.	App.
Roll	92,6	108,3
Pitch	85,5	79,3
Yaw	74,8	98,2

Fuente: Propia.

Los errores presentados en los sensores y en la plataforma se consideran valores aceptables, teniendo en cuenta que en hipoterapia los ángulos y los desplazamientos del caballo no son controlables y repetibles, lo que sí se puede lograr con la propuesta.

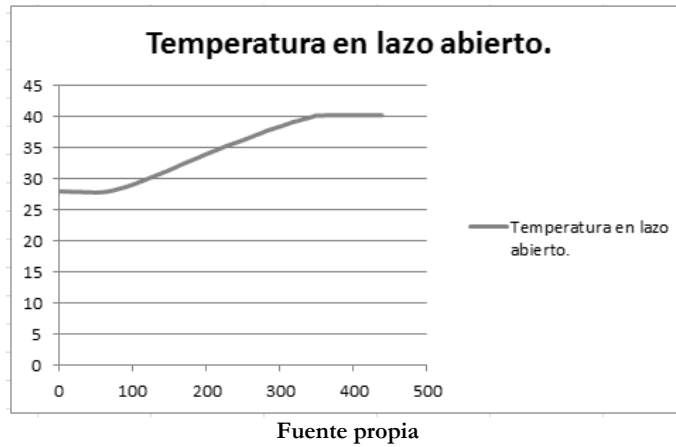
Para el cálculo del desempeño del control de temperatura se utilizan criterios de evaluación de la calidad de respuesta de un sistema ante una entrada, lo que además permite evaluar si el proceso posee un error permanente al presentarse un cambio en algunos de sus parámetros de entrada.

Al realizar el análisis de los criterios de desempeño integral del error absoluto IAE e integral del error cuadrático ISE, se establece cuál de los métodos de sintonización entre: El modelo de control interno (IMC), el método Cohen Coon, el método Ziegler Nichols y el método manual, presentan el menor error en su respuesta, lo que significa que el sistema será más estable al presentarse algún cambio en alguno de sus parámetros de entrada. Con el sobrepeso máximo y el tiempo de establecimiento se busca minimizar dicho valor, esto trae consigo generar un menor esfuerzo de control en el

sistema y una respuesta más rápida del mismo.

En la ilustración 16 se muestra el sistema de temperatura en lazo abierto alcanzando los 40° en 365 segundos, el inconveniente es que se debe controlar manualmente de lo contrario la temperatura seguiría en aumento.

Ilustración 16: Respuesta de temperatura en lazo abierto.



Por lo anterior el control de temperatura PID, es el recomendado ya que mantiene la temperatura estable en los grados que la estructura le solicite, alcanzando dicha temperatura en 484 segundos. Iniciando en una temperatura ambiente de 27°.

Al utilizar la ecuación de función de transferencia de primer orden para sintonización de controladores con IMC se obtienen los siguientes índices de desempeño.

Tabla 4: Índice de desempeño variación del sistema con el controlador PI.

Método	IAE	ISE	Mp	Ts/seg
Empírico	222.1535	135.4448	1.2	484
ZyN	311.4675	135.4925	1.3	520
CyC	242.5618	122.3332	1.35	601
IMC	38.6743	39.9203	1.0	360

Fuente: Propia.

Al observar los indicadores o criterios de desempeño mencionados en la tabla 4, se puede observar que un controlador PID, utilizando el método de sintonización por modelo interno o IMC es el que presenta los mejores resultados, ya que presenta un menor tiempo de establecimiento, el menor sobrepaso y el menor error dinámico, según los criterios de error IAE y ISE.

Por otro lado la estructura del asiento permite evaluar y entrenar la postura del niño, ya que registra los valores del vector fuerza expresado por el valor angular y de magnitud del vector resultante de las tensiones presentes en las tres celdas de carga, ubicadas en la base del asiento y cuya salida es enviada y representada por un arreglo de leds en forma circular.

La cabeza y cuello de la plataforma pueden ser controlados para emular los movimientos del caballo, el control del giro de la cabeza se logra por la variación de las dos celdas de carga conectadas a las riendas, al realizar mayor tensión en un lado que en otro, la plataforma gira la cabeza. Cuando se presionan los estribos “sensores fsr 402”, el sistema incrementa la velocidad y cuando se realiza una tensión igual en ambos lados de las riendas el sistema reduce la velocidad.

El sistema propuesto presenta 3 funcionalidades, las cuales son:

- Motora.
- Cognitiva (postura y estimulación).
- Motora + Cognitiva.

La función motora trabaja exclusivamente la base realizando movimientos suaves para estimular la parte baja de la espalda y cadera; en la función cognitiva funciona solamente la cabeza y cuello con los estímulos auditivos y visuales haciendo que el paciente con sus propias manos pueda hacer que estos se muevan; y la función motora y cognitiva agrupa todo en la estructura llevando así a que el paciente interactúe directamente con la plataforma siendo el mismo quien haga que la estructura se mueva, vale aclarar que la plataforma tiene ciertas restricciones para evitar algún tipo de accidente.

Como se enunció en el apartado de plataformas robóticas utilizadas para hipoterapia en el cual se mencionan las plataformas similares realizadas, además, las áreas de impacto las cuales se pueden comparar con la tabla 5, donde se presenta una relación de las áreas impactadas por la plataforma y las patologías que pueden ser estudiadas con el desarrollo de este proyecto.

Tabla 5: Funcionalidades de la plataforma y las patologías asociadas a las áreas de intervención impactadas por la hipoterapia.

Funcionalidad	Plataformas similares	Patología	Métricas	Áreas impactadas						
				Ps/Cg	C& L	PsM	A&T	S	Me	Mt
Motora	Caren system	Parálisis cerebral espástica	GMFCS			x			x	x
	Fortis-102	Parálisis cerebral discinética	GMFCS			x			x	x
	IM-hirob									
Cognitiva-postural	Joba	Parálisis cerebral atáxica	GMFCS SAS			x			x	x
Cognitiva-estímulos	Plataforma stewie:	Asperger	ASAS CAST	x	x					
		Síndrome de Down	PDAS KidsLife-Down	x	x					
Motora-cognitiva	Robot-HBRT	Escoliosis neuromuscular	GMFCS	x		x			x	x
	Plataforma stewie	Asperger	ASAS CAST	x		x			x	x
		Síndrome de Down	PDAS KidsLife-Down		x		x			x
	Estructura planteada			x	x	x	x		x	x

Fuente: Propia.

La plataforma propuesta en comparación con las plataformas robóticas utilizadas para hipoterapia, logra impactar múltiples áreas lo cual muestra una versatilidad del sistema.

4. CONCLUSIONES.

Las pruebas se hicieron validando las distintas posiciones angulares obteniendo la lectura del sensor de peso en distintas posiciones sobre la plataforma y la respuesta del vector resultante, con los sensores inerciales se validó que los ángulos que se generaban se pudieran replicar y cuantificar; así mismo el hecho de que la plataforma permite controlar los distintos ángulos, generar movimientos a la derecha e izquierda y generar estímulos visuales, significa que puede impactar distintas áreas. Con este proyecto lo que se buscó fue realizar un diseño e implementación de una plataforma robótica la cual va a ser usada por una persona facultada o sea un médico o un fisioterapeuta. Si el terapeuta tiene que evaluar las secuencias es aquí en donde se comprueban la estimulación cognitiva; Por ejemplo si el terapeuta enciende un color en el anillo de leds y el niño responde a este estímulo haciendo girar la estructura sea la izquierda o a la derecha, significa que el paciente está recibiendo correctamente la estimulación.

La hipoterapia dado que es una técnica utilizada en el campo de la rehabilitación tiene sus beneficios, pero no cuenta con estudios clínicos concluyentes que lo soporten, las razones derivan de la dificultad de llevar un registro cuantitativo de la intervención. La plataforma propuesta permite implementar una metodología apropiada para los pacientes que requieran este tipo de terapia y llevar un registro de la información captada por la red de sensores implementada (sensores inerciales, medición de temperatura, peso y ubicación postural).

Así mismo, para los profesionales de este campo de la hipoterapia es más fácil evaluar los distintos grados y separar o combinar los desplazamientos en los distintos ejes y los ángulos con alta precisión, aspecto que no se puede cuantificar con un caballo.

El proyecto planteado puede proporcionar patrones de movimientos repetitivos lo que no se logra con caballos reales, disminuyendo costos asociados a las terapias y los riesgos que implican la interacción con animales, lo que dificultan el proceso de ejecución y acceso de personas de bajos recursos, además, el sistema propuesto al ser una plataforma robótica reduce los riesgos ya que cuenta con un sistema controlado y sus costos pueden reducirse para ser llevado en el ambiente clínico.

El sistema visto de forma integral permitirá la valoración de las distintas dimensiones útiles para evaluar la validez clínica de la hipoterapia, así mismo queda abierta la posibilidad de trabajos futuros en cuanto a la validación del sistema por parte de otras áreas de estudio ya que la plataforma se presentó como una propuesta multidisciplinaria.

REFERENCIAS.

- Alfaro Ruíz, V. M. (2011). Métodos de sintonización de controladores PID que operan como reguladores. *Revista Ingeniería*, 12(1-2).
- Attwood T. (2008). *The-Complete-Guide-to-Aspergers-Syndrome*. Recuperado de <http://www.autismforthvalley.co.uk/files/5314/4595/7798/Attwood-Tony-The-Complete-Guide-to-Aspergers-Syndrome.pdf>
- Barona R., & Prado G. (2018). Plataforma robótica para emular los movimientos de un equino en tratamientos de hipoterapia. U. Santiago de Cali.
- Barton, G. J., Moine, C., & Hawken, M. B. (2015). Hippotherapy without a horse: The effects of passive movement on core control. *Gait & Posture*, 42, S29.
- Berneche Garcia Maria Eugenia. (2015). Berneche García, M. (2015). Terapias asistidas por caballos (TAC): El arte de la rehabilitación al paso y el rol del psicólogo: La Equinoterapia. Pre-proyecto de investigación. Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Psicología. 2015.
- DANE. (2017). Proyecciones de población. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- Electropro.Pe.(s. f.).Recuperadode<http://electropro.pe/image/data/imgProductos/212.%20Servomotor%20ASME-03B%20de%20380kgCm/ASME-03B.pdf>
- Espinosa Luz E. (2007). Generalidades de hipoterapia. Recuperado de

<https://uscfsioavanzados.files.wordpress.com/2013/08/generalidades-de-hipoterapia>

- Faber, M., Schamhardt, H., Weeren, R. van, & Barneveld, A. (2001). Methodology and validity of assessing kinematics of the thoracolumbar vertebral column in horses on the basis of skin-fixated markers. *American Journal of Veterinary Research*, 62(3), 301-306.
- Park Ji, Shurtleff Timothy, Jack, E., Rafferty Sandy, & You Sung. (2014). Comparison between the robot-horse and real horse movements for hippotherapy. *Bio-Medical Materials and Engineering*, (6), 2603–2610.
- Helena, L., Agudelo, L., & Seijas, V. (2012). La discapacidad en Colombia: Una mirada global Colombia disability: a global perspective.
- Herrero, P., Asensio, Á., García, E., Marco, Á., Oliván, B., Ibarz, A., Casas, R. (2010). Study of the therapeutic effects of an advanced hippotherapy simulator in children with cerebral palsy: A randomised controlled trial. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 11(1).
- InvenSense. (2019). TDK | Atrayendo el Mañana. Recuperado 28 de junio de 2019, de <https://www.invensense.com/>
- Kwon, J., Chang, H., Yi, S., Lee, Y., Shin, H., & Kim, Y. (2015). Effect of Hippotherapy on Gross Motor Function in Children with Cerebral Palsy: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Alternative & Complementary Medicine*, 21(1), 15.
- López Roa, M., & Moreno Rodríguez, E. D. (2015). Hipoterapia como técnica de habilitación y rehabilitación. *Universidad y Salud*, 17(2), 271.
- Madrona Pedro, Onofre Ricardo, & Gomez Isabel. (2008, Agosto). Habilidades motrices en la infancia y su desarrollo desde una educación física animada. (47).
- Mayr A, Kofler M., & Saltuari L. (2012). IM-hirob: Robotic hippotherapy or improvement of impaired trunk function- preliminary results. *Neurorehabilitation and Neural Repair*.
- McGibbon, N. H., Benda, W., Duncan, B. R., & Silkwood-Sherer, D. (2009). Immediate and long-term effects of hippotherapy on symmetry of adductor muscle activity and functional ability in children with spastic cerebral palsy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 90(6), 966-974.
- Myhr, U. (1993). SITTING ASSESSMENT SCALE. 13.
- Kwon, J., Chang, H., Lee, J., Shin, H., & Kim, Y. (2015). Effect of Hippotherapy on Gross Motor Function in Children with Cerebral Palsy: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Alternative & Complementary Medicine*, 21(1), 15.
- Liu, K., Fitzgerald, J. M., & Lewis, F. L. (1993). Kinematic analysis of a Stewart platform manipulator. *IEEE Transactions*

on *Industrial Electronics*, 40(2), 282-293. <https://doi.org/10.1109/41.222651>

- Park Ji, Shurtleff Timothy, Jack, E., Rafferty Sandy, & You Sung. (2014). Comparison between the robot-horse and real horse movements for hippotherapy. *Bio-Medical Materials and Engineering*, (6), 2603–2610.
- Puerto Jorge A., Rincon Liz K., & Jacinto Edwar. (2011). Control robusto por modelo interno aplicado como laboratorio virtual a un pendulo motorizado.
- Rosenbaum, P. L., Walter, S. D., Hanna, S. E., Palisano, R. J., Russell, D. J., Raina, P., Galuppi, B. E. (2002). Prognosis for Gross Motor Function in Cerebral Palsy: Creation of Motor Development Curves. *JAMA*, 288(11), 1357-1363.
- Scott, F. J, Baron-Cohen, Bolton P., & Brayne C. (2002). The CAST (Childhood Asperger Syndrome Test): Preliminary Development of a UK Screen for Mainstream Primary-School-Age Children.
- Snider, L., Korner-Bitensky, N., Kammann, C., Warner, S., & Saleh, M. (2007). Horseback riding as therapy for children with cerebral palsy: Is there evidence of its effectiveness? *Physical & Occupational Therapy In Pediatrics*, 27(2), 5-23. (17442652).
- Zadnikar, M., & Kastrin, A. (2011). Effects of hippotherapy and therapeutic horseback riding on postural control or balance in children with cerebral palsy: A meta-analysis. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 53(8), 684-691.