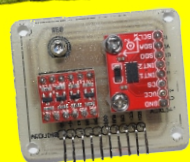
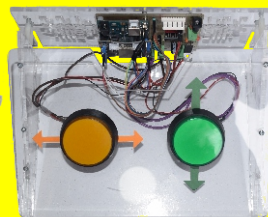
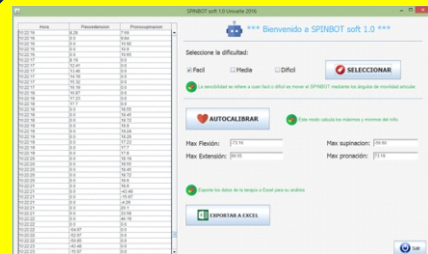
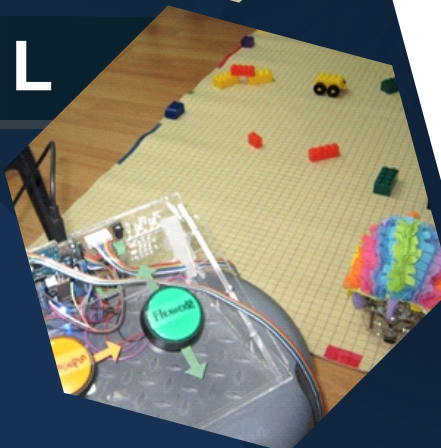
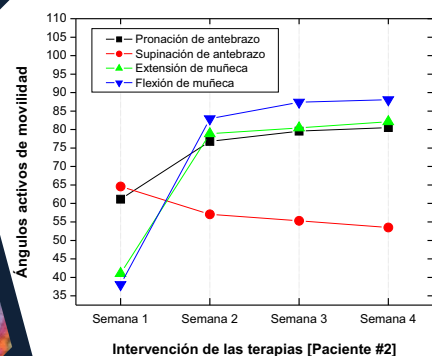


UNA PROPUESTA PARA LA REHABILITACIÓN DE NIÑOS CON LESIÓN DE MIEMBRO SUPERIOR BASADA EN UN AMBIENTE ROBÓTICO LÚDICO



$$T = 50 + 10 \frac{\sum w_i x_i}{\sqrt{(1-\rho) \sum w_i^2 + \rho (\sum w_i)^2}}$$



TESIS DE MAESTRÍA POR:
Jairo Andrés Acevedo L

INGENIERO ELECTRÓNICO

Universidad del Valle

Programa de posgrados en ingeniería eléctrica y electrónica
Cali, Valle. Colombia



UNA PROPUESTA PARA LA REHABILITACIÓN DE NIÑOS CON LESIÓN DE MIEMBRO SUPERIOR BASADA EN UN AMBIENTE ROBÓTICO LÚDICO

Trabajo de investigación presentado por Jairo Andrés Acevedo Londoño

Programa de Posgrado en Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Dirigida por Eduardo Caicedo Bravo



UNA PROPUESTA PARA LA REHABILITACIÓN DE NIÑOS CON LESIÓN DE MIEMBRO SUPERIOR BASADA EN UN AMBIENTE ROBÓTICO LÚDICO

Trabajo de investigación presentada por Jairo Andrés Acevedo Londoño

Programa de Posgrado en Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Dirigida por Eduardo Caicedo Bravo

Asesorada por Javier Ferney Castillo García

Cali, febrero 2017

*A Dios por la vida. A mis padres Jairo De Jesús Acevedo y María Virginia
Londoño.*

RESUMEN

En este documento se presenta una propuesta de apoyo a la rehabilitación de niños con lesión del miembro superior, basada en el desarrollo de un ambiente lúdico de asistencia tecnológica, cuyo objetivo es aportar al aumento de la motivación, beneficio y avance de las terapias del paciente. Las lesiones de miembro superior ocasionan un profundo impacto en la calidad de vida del paciente, y las terapias tradicionales generan estrés emocional; así como traumas psicológicos asociados al uso de dispositivos como prótesis y sillas de ruedas, ocasionando desmotivación por las terapias.

La propuesta busca integrar a las terapias tradicionales el ambiente robótico lúdico denominado SpinBOT, compuesto por: La plataforma robótica SPINBOT (vehículo semi-autónomo), un guante didáctico, un módulo de control y una herramienta de visualización. El guante se instrumentó con un acelerómetro, que se adaptó en el miembro lesionado con el fin de medir los ángulos activos de movilidad articular tales como: Flexión y extensión de muñeca; así como pronación y supinación de antebrazo. Se seleccionaron 4 sujetos de estudio, divididos en dos grupos. El primer grupo fue el grupo objetivo (12 años – 1 paciente con parálisis cerebral espástica, 17 años – 1 paciente con hemiparesia), y el segundo grupo fue el grupo de control, también con lesión del miembro superior. La intervención de la terapia consistió en el desarrollo de 3 tareas, durante 4 semanas y 2 sesiones por semana. Según la escala de valoración de objetivos utilizada (GAS del inglés: “Goal Attainment scale”) en la cuarta semana se obtuvo un puntaje para el sujeto P1 de 62.7 y para el sujeto P2 de 55.8, donde se observó el progreso del uso operativo del robot, lo que ayudó en la motivación por asistir a las terapias; además de generar habilidades adyacentes, tal como un mayor uso del miembro lesionado en la vida diaria y diferenciar entre izquierda y derecha. También con el fin de evaluar la usabilidad del sistema desarrollado, se utilizó la Escala de Evaluación de la Usabilidad (del inglés SUS: “System Usability Scale”), mostrando una excelente usabilidad del sistema con puntajes de 95, 80 y 100 para el ambiente robótico lúdico de 3 usuarios entrevistados, ofreciendo a los usuarios satisfacción, eficiencia y eficacia. Los pacientes que participaron, pertenecen a la población pediátrica de la Asociación ABRAZAR, ubicada en Calarcá, departamento del Quindío.

Los resultados obtenidos son muy importantes, porque muestran como la implementación de robótica lúdica ofrece la posibilidad de aumentar la eficacia de la rehabilitación tradicional y utilizarse en una variedad de entornos como centros de rehabilitación y viviendas; mediante la explotación de las potencialidades de las terapias asistidas por robots.

ABSTRACT

This paper presents a proposal for supporting the rehabilitation of children with upper limb injury, based on the development of a playful environment of technological assistance, whose objective is to increase the motivation, benefit and progress of the therapies of the patient. Upper limb injuries cause a profound impact on the patient's quality of life, and traditional therapies generate emotional stress; As well as psychological trauma associated with the use of devices such as prostheses and wheelchairs.

The proposal seeks to integrate into the traditional therapies, the playful robotic environment called SpinBOT, composed by: A didactic glove, a control module, a robotic platform and a visualization tool. The glove was instrumented with an accelerometer, which was adapted in the injured limb in order to measure the active angles of joint mobility such as: Flexion and wrist extension; As well as, forearm pronation and supination. Four study subjects were selected, divided into two groups. The first group was the target group (12 years - 1 patient with spastic cerebral palsy, 17 years - 1 patient with hemiparesis), and the second group was the control group, with similar characteristics. The intervention of the therapy consisted in the development of 3 tasks, during 4 weeks and 2 sessions per week. According to the Goal Attainment Scale (GAS) in the fourth week, a score was obtained for the subject P1 of 62.7 and for the subject P2 of 55.8, we observed the progress of the robot's operational use, which helped in the motivation to attend the therapies; in addition to generating adjacent skills, such as increased use of the injured limb in daily life and differentiating between left and right. Also, in order to evaluate the usability of the developed system, the Usability Scale (SUS) was used, showing an excellent usability of the system with scores of 95, 80 and 100 for the playful Robotic environment of 3 users interviewed, offering users satisfaction, efficiency and effectiveness. The patients who took part, belong to the pediatric population of the Association ABRAZAR, located in Calarcá, department of Quindío.

The results obtained are very important because they show how the implementation of playful robotics offers the possibility of increasing the effectiveness of traditional rehabilitation and used in a variety of environments such as rehabilitation centers and homes; by exploiting the potential of robots assisted therapies.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios por ser mi amigo incondicional, y darme la vida necesaria para culminar las metas y proyectos trazados. Son muchas las personas y entidades que se vincularon de manera desinteresada, posiblemente aquí se me escape alguno. Agradezco de manera muy especial a la Fundación COVIDA y su directora Gladys Amanda Ramírez Ríos, también a la Asociación ABRAZAR y su coordinadora Mónica Lorena Piedrahita, a los profesionales: Julieth Calderón, el psicólogo Alejandro Valencia, a la trabajadora social Diana Lady Hurtado. Porque sencillamente sin esta sinergia entre academia y sector privado, sería imposible desarrollar proyectos de este estilo y avanzar en la innovación tecnológica en Colombia.

A mis padres por el apoyo incondicional durante estos años y en las adversidades que se presentaron para culminar este estudio de maestría.

Al profesor Eduardo Caicedo, director del presente trabajo de maestría, por haberme dado la oportunidad de hacer parte del grupo de investigación PSI, también por su paciencia y valiosos aportes para la exitosa culminación de este proyecto, y sobre todo para mi formación como profesional e investigador. También, un especial agradecimiento al profesor Javier Castillo, asesor de este proyecto, por sus sugerencias fundamentales durante la etapa de desarrollo del proyecto, y la redacción de este informe final.

También, a Alexandra Acosta, Laura Alejandra Cardona, Adriana M. Ríos Rincón docente de la Universidad del Rosario, Kim Adams docente de la Universidad de Alberta Canadá, por sus aportes en el diseño conceptual del sistema. Un agradecimiento especial al docente de la Universidad del Quindío, Jaime Buitrago por sus contribuciones en la definición del problema y diseño preliminar. También a los profesores del programa de posgrado en Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad del Valle por la formación académica recibida.

Jairo Andres Acevedo,
Armenia, febrero 2017

Índice General

Introducción..... 1

1.1	IMPORTANCIA Y APLICABILIDAD.....	3
1.2	OBJETIVOS DE LA TESIS	4
1.1.1	<i>Objetivo general</i>	4
1.3	ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO	4

Aplicación de tecnologías de rehabilitación robótica en pacientes de pediatría con lesión del miembro superior.. 5

2.1	METODOLOGÍA DE LA REVISIÓN SISTEMÁTICA.....	5
2.1.1	<i>Métodos y criterios de Búsqueda</i>	5
2.1.2	<i>Criterios de elegibilidad de los estudios</i>	6
2.1.3	<i>Resultados</i>	6
2.2	ESTADO DEL ARTE DE LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE REHABILITACIÓN ROBÓTICA EN PACIENTES DE PEDIATRÍA CON LESIÓN DEL MIEMBRO SUPERIOR	7
2.2.1	<i>Tendencias</i>	10
2.2.2	<i>Discusión</i>	12
2.2.3	<i>Conclusiones</i>	12
2.3	REHABILITACIÓN DEL MIEMBRO SUPERIOR	13
2.3.1	<i>La discapacidad</i>	13
2.3.2	<i>Lesión del miembro superior y terapias de rehabilitación</i>	14
2.4	AMBIENTES ROBÓTICOS LÚDICOS	16
2.4.1	<i>Ingeniería de rehabilitación</i>	16
2.4.2	<i>Plataformas tecnológicas robóticas</i>	18

Ambiente robótico lúdico SpinBOT 22

3.1	DESCRIPCIÓN FORMAL DEL PROBLEMA.....	22
3.2	AMBIENTE ROBÓTICO LÚDICO PROPUESTO PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA	24
3.2.1	<i>Diagrama general del sistema: Descripción de hardware y software</i>	25

Desarrollo de la terapia con el ambiente SpinBOT: Pruebas y resultados..... 34

4.1	PROTOCOLO DE EXPERIMENTACIÓN	34
4.1.1	<i>Descripción de los usuarios: Criterios de inclusión y exclusión</i>	34
4.1.2	<i>Criterios de Selección de las tareas</i>	36
4.1.3	<i>Instrumentos para recolección y análisis de la información</i>	36
4.2	AMBIENTE ROBÓTICO LÚDICO EXPERIMENTAL PARA LA REHABILITACIÓN DE NIÑOS CON LESIÓN DEL MIEMBRO SUPERIOR	37

4.3	PROCEDIMIENTO PARA LA INTERVENCIÓN	42
4.3.1	<i>Estudio piloto del ambiente robótico lúdico</i>	43
4.4	RESULTADOS	47
4.4.1.1	<i>Escala valoración de objetivos</i>	64
4.4.2	<i>Escala de medición de la usabilidad</i>	69
4.4.3	<i>Entrevistas con terapeutas, padres o cuidadores</i>	71
4.4.4	<i>Discusión y análisis de los resultados</i>	73
4.4.5	<i>Discusión del desempeño del grupo de control</i>	76
Conclusiones.....		77
5.1	CONCLUSIONES SOBRE EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	77
5.2	LIMITACIONES	78
5.3	TRABAJOS FUTUROS	78
5.4	PUBLICACIONES	79
	<i>Artículos publicados en revistas</i>	79
	<i>Artículos sometidos en revistas</i>	80
	<i>Artículos para ser sometidos en revistas</i>	80
Bibliografía.....		80

Índice de figuras

Figura 1. Proceso de búsqueda para revisión bibliográfica	7
Figura 3. Registro de caracterización de la población en condición de discapacidad.....	14
Figura 4. Causas y tipos de parálisis cerebral	15
Figura 5. Movimientos principales (grados de libertad) del miembro superior.....	16
Figura 6. Ventajas y desventajas de la rehabilitación robótica (RR) frente a la rehabilitación tradicional (RT).	17
Figura 7. Ejemplos de plataformas tecnológicas robóticas.....	19
Figura 8. Soluciones de acceso a la comunicación para niños con discapacidad motriz	20
Figura 9. Áreas presentes en el problema de diseño de dispositivos o sistemas de rehabilitación robótica. ...	21
Figura 10. Diagrama en bloques del ambiente SpinBOT	24
Figura 11. Diagrama en bloques del arreglo experimental del ambiente robótico lúdico.....	25
Figura 12. Esquemático de la tarjeta Accelerometer Breakout ADXL345 de SparkFun.....	26
Figura 13. Esquemático de la tarjeta diseñada en este proyecto	26
Figura 14. Diagrama en bloques del sistema electrónico del SpinBOT.....	27
Figura 15. Diagrama de flujo para el protocolo generador de trayectoria del sistema de procesamiento ubicado en la plataforma SpinBOT.	27
Figura 16. Esquemático de la tarjeta Motor Shield para Arduino Rv. 3	29
Figura 17. Diagrama de flujo de la herramienta de visualización.....	30
Figura 18. Diagrama de flujo del protocolo generador de trayectoria de la tarjeta Control SpinBOT 2016 V-1 diseñada en este proyecto.	32
Figura 19. Esquemático de la tarjeta “Control SpinBOT 2016 V-1” diseñado en este proyecto.....	33
Figura 20. Diagrama de flujo de la rutina de auto calibración.....	38
Figura 21. Diagrama de flujo para el control del ambiente robótico lúdico, en el desarrollo de las tareas planteadas	39
Figura 22. Pista para la navegación del vehículo semi-utónomo SPINBOT	40
Figura 23. Estructura interna de la plataforma robótica SPINBOT diseñada y construida.....	47
Figura 24. Plataforma robótica SpinBOT	48
Figura 25. Módulo de control.	48
Figura 26. Guante instrumentado con acelerómetro ADXL345	49
Figura 27. Herramienta de visualización SPINBOT Soft 1.0.	50
Figura 28. Ambiente robótico lúdico diseñado e implementado en este proyecto.....	51
Figura 29. Arreglo de ángulos activos del brazo derecho del paciente #1, modo facil.....	52
Figura 30. Arreglo de ángulos activos del brazo derecho del paciente #1, modo medio.....	53
Figura 31. Arreglo de ángulos activos del brazo derecho del paciente #1, modo difícil	54
Figura 32. Ángulos activos promedio de movilidad del paciente #1.....	55
Figura 33. Desempeño del paciente # 1 en las intervenciones de las terapias para la tarea realizada en modo Fácil.....	56
Figura 34. Desempeño del paciente # 1 en las intervenciones de las terapias para la tarea realizada en modo medio.....	56
Figura 35. Desempeño del paciente # 1 en las intervenciones de las terapias para la tarea realizada en modo difícil.	57
Figura 36. Arreglo de ángulos activos del brazo izquierdo del paciente #2, modo facil	58
Figura 37. Arreglo de ángulos activos del brazo izquierdo del paciente #2, modo medio.	59
Figura 38. Arreglo de ángulos activos del brazo izquierdo del paciente #2, modo difícil.....	60
Figura 39. Ángulos activos promedio de movilidad del paciente #2.....	61

Figura 40. Desempeño del paciente # 2 en las intervenciones de las terapias para la tarea realizada en modo Fácil.....	62
Figura 41. Desempeño del paciente # 2 en las intervenciones de las terapias para la tarea realizada en modo Medio..	62
Figura 42. Desempeño del paciente # 2 en las intervenciones de las terapias para la tarea realizada en modo difícil..	63
Figura 43. Comparación de los valores calculados de la escala GAS entre los pacientes #1 y #2.	68

Índice de tablas

Tabla 1. Resumen de estudios sobre rehabilitación robótica infantil del miembro superior	11
Tabla 2. Descripción breve de los pacientes participantes del estudio	35
Tabla 3. Botones disponibles en el módulo de control para seleccionar la trayectoria.....	38
Tabla 4. Habilidades relacionadas con el uso de robots.	45
Tabla 5. Desempeño de los pacientes #1 y #2 en la prueba piloto	46
Tabla 6. Respuestas de los pacientes al cuestionario aplicado al final del estudio piloto.....	63
Tabla 7. Metas de escala por logro de objetivos para el paciente #1	65
Tabla 8. Metas de escala por logro de objetivos para el paciente #2	66
Tabla 9. Resultados de la escala GAS para el paciente #1.	67
Tabla 10. Resultados de la escala GAS para el paciente #2.	67
Tabla 11. Resultados de la escala de medición de usabilidad SUS, para el SPINBOT.	70
Tabla 12. Resultados de la escala de medición de usabilidad SUS, para la herramienta de visualización.	70

Introducción

La robótica es un campo de la ingeniería que tiene un gran desarrollo y se ha aplicado en gran diversidad de escenarios y campos de acción humanos, tal como ha venido ocurriendo en el campo de la rehabilitación [1][2][3]. Fundamentalmente, con el fin de mejorar de manera significativa la calidad de vida de pacientes y asistir importantes tareas como: Intervenciones quirúrgicas [4][5] de todo tipo, lo que incluye la microcirugía [6], rehabilitación del accidente cerebro vascular [7][8] y cognitiva [9], rehabilitación motora [10] de pacientes que han sufrido accidentes de miembros superiores [11][12], asistencia robótica para diferentes tareas [13], adecuación de ambientes inteligentes para viviendas de personas con discapacidad [14] o para adultos mayores [15]. Las capacidades que presentan los robots en la actualidad, se han estado perfeccionando para hacer más versátiles los procesos de manufactura de la industria. Es precisamente en este campo donde se utiliza con mayor frecuencia la robótica, para asistir a diferentes operarios en tareas propias de sus oficios.

Debido a esto, en la actualidad el potencial uso de la robótica en la asistencia y rehabilitación se ha comenzado a apreciar fácilmente. Si bien el crecimiento de la robótica industrial ha sido acelerado, no se ha visto reflejado en la actualidad como alternativa de rehabilitación de personas con discapacidad en Colombia. Hablar de aplicaciones de rehabilitación robótica, aun es algo nuevo en nuestro país.

Actualmente, existen una gran cantidad de sistemas robóticos para la rehabilitación del miembro superior, que permiten realizar terapias mediante tareas repetitivas en entornos controlados, que asociados a software especializado de carácter lúdico permiten mantener una alta motivación del paciente. Sin embargo, hay pocos desarrollos para población infantil y aún falta por explorar y documentar de forma sistemática este campo. Debido al escaso número de aplicaciones para niños, algunas que han sido desarrolladas para adultos se están utilizando también con población infantil; como son: AMADEO® [16][17], PABLO® [18], DIEGO®, ARMEO® spring [19], el sistema YouGrabber [20] y el sistema pediátrico interactivo basado en realidad virtual PITS [21] (del inglés: “*paediatric interactive therapy system*”). En general, las primeras aplicaciones en niños tenían el propósito de estudiar sólo la interacción con terapias asistidas por robots [22][23], con el fin de observar la aceptación

por parte del paciente y el terapeuta, pero dejando de lado aspectos como: Criterios de inclusión, aumento del componente interdisciplinar, delimitación del problema, realimentación de resultados y terapias lúdicas. No obstante, estas primeras investigaciones contribuyeron al avance del campo de la rehabilitación robótica para niños. Por ejemplo, en el año 1988 Cook y colaboradores [24], desarrollaron un sistema que permitió explorar el ambiente por parte de niños discapacitados usando un brazo robot. Albert Cook [25], ha sido uno de los investigadores más prolíferos en este campo con múltiples trabajos reportados en la literatura [26][27], como son: Proyectos orientados a la asistencia en tareas cotidianas [28][29], el juego [30][31] e interacción con un robot en el aprendizaje de niños con discapacidad física severa [32].

Por el contrario, actualmente las investigaciones enfocadas en rehabilitación del miembro superior en población pediátrica, son cada vez más completas. Sin embargo, se debe profundizar con más investigaciones que puedan determinar si los sistemas pueden producir mejorías significativas de pacientes, en comparación con las terapias tradicionales. Por lo tanto, el objetivo de este proyecto de investigación fue diseñar un ambiente de robótica lúdica y de asistencia tecnológica para la rehabilitación de niños con lesión del miembro superior, como: Parálisis cerebral espástica, hemiparesia e hipotonía de miembro superior, que además, permitiera el aumento del beneficio de las terapias, como la motivación por asistir a las terapias y el avance del componente de rehabilitación físico.

En este trabajo de maestría se presenta el diseño, implementación y evaluación de un ambiente lúdico de asistencia tecnológica, como una propuesta para la rehabilitación de niños con lesión del miembro superior, agregando a las terapias tradicionales un sistema lúdico denominado SpinBOT, compuesto por un guante didáctico, un módulo de control, la plataforma robótica SPINBOT (vehículo semi-autónomo) y una interfaz de software o herramienta de visualización. Este adelanto tecnológico permitió verificar el beneficio, la motivación y avance de las terapias del paciente. Así como, producir habilidades adyacentes que han sido muy importantes debido al poco tiempo que duró la intervención.

1.1 Importancia y aplicabilidad

Las lesiones de miembro superior ocasionan un profundo impacto en la calidad de vida del paciente, asociado al uso de dispositivos como prótesis, sillas de ruedas, caminadores y muletas. Además, es bien conocido que, para la recuperación del paciente pediátrico debe permitírsele jugar un papel activo en su proceso de rehabilitación. En nuestro país, el campo de investigación en ingeniería de rehabilitación y la aplicación de este tipo de tecnologías en escenarios clínicos, particularmente en terapia ocupacional es casi nula: Debido a los costos, accesibilidad a las nuevas tecnologías robóticas, poca sensibilidad frente a la realidad de los discapacitados en el país y escasos grupos de investigación con proyecciones de satisfacer estas necesidades; así como, la falta de integración entre campo académico de ingeniería electrónica y afines, con el sector de la terapia ocupacional.

Por esta razón, las nuevas tecnologías como la robótica, se están implementando para abordar este problema; tal como el ambiente robótico lúdico que se obtuvo como resultado del trabajo de investigación. Una ventaja de las interfaces tecnológicas para rehabilitación robótica podrá verse como mayor relación costo-eficacia. La rehabilitación tradicional aumenta considerablemente el estrés del niño por asistir al médico, y muchas veces no aplica a las necesidades del niño; así como ser insuficiente para la rehabilitación motora intensiva.

El ambiente robótico lúdico obtenido en este proyecto, es muy importante debido a que en el ámbito local, hasta donde se conoce, no existen trabajos reportados de este tipo, lo cual constituyó una excelente oportunidad de contribuir en este campo de la ingeniería. De la misma forma, permite al paciente la interacción con dispositivos tecnológicos de bajo costo, generando nuevas posibilidades de acceder a ayudas tecnológicas para terapias de rehabilitación, para personas que no disponen de la capacidad económica para usar dispositivos de prestaciones similares, como por ejemplo: El Armeo®Power [33], que aunque es un sistema desarrollado y validado para rehabilitación del miembro superior (*por supuesto con características superiores*), excede exorbitantemente el precio de construcción, frente a la herramienta SpinBOT (*ARMEO®Power, Costo aproximado 250 k€, EUR*). [34]

La investigación presentada en este documento, podría ser utilizada para abrir nuevas vías terapéuticas, a través de implementar interfaces tecnológicas para el tratamiento terapéutico en niños, que ayuden al beneficio de las terapias, como son: La motivación por asistir a las terapias y el avance del componente de rehabilitación físico. También, esta aplicación de la rehabilitación robótica innovadora puede involucrar al niño, y lo hace parte de la terapia; además permite la creación de personajes artificiales, de esta manera los niños logran tener un “compañero” o “interlocutor” mucho más accesible. Asimismo, este ambiente de robótica lúdica diseñado se podría utilizar en una variedad de entornos como escuelas, hospitales y viviendas; con la posibilidad de aumentar la eficacia de la rehabilitación tradicional, mediante la explotación de las potencialidades de las terapias asistidas por robots.

1.2 Objetivos de la tesis

1.1.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un ambiente de robótica lúdica y de asistencia tecnológica para la rehabilitación de niños con lesión del miembro superior.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar la revisión bibliográfica mediante el estudio del estado del arte de los sistemas para rehabilitación del miembro superior en población pediátrica.
- Diseñar e implementar un guante didáctico en interacción con una plataforma robótica, que permita medir rangos activos de movilidad articular del miembro superior, específicamente de muñeca y antebrazo, en un paciente con lesión del miembro superior.
- Desarrollar un protocolo de terapia en un ambiente lúdico que permita su posterior evaluación por parte de un terapeuta ocupacional.
- Evaluar la usabilidad del sistema implementado mediante evaluación por objetivos GAS (del inglés: “Goal Attainment Scaling”).
- Analizar, documentar y difundir los resultados obtenidos sobre el diseño, la implementación y el uso del ambiente robótico lúdico propuesto como medio para realizar terapias e intervenciones a niños con discapacidad del miembro superior.

1.3 Estructura del documento

El presente informe se encuentra distribuido por títulos de la siguiente manera. En el segundo título “**Aplicación de tecnologías de rehabilitación robótica en niños con lesión del miembro superior**”, se abordan aspectos conceptuales y propios de la ingeniería de rehabilitación, importantes en el desarrollo de este trabajo; estos aspectos son: Estado del arte de la aplicación de tecnologías de rehabilitación, rehabilitación del miembro superior y ambientes robóticos lúdicos. En el tercer título se encuentra el “**Ambiente robótico lúdico SpinBOT**”, en el cual se hace una descripción formal del problema y de la plataforma de experimentación, la cual se desarrolló en la ejecución de este trabajo. En el cuarto título, se tiene el “**Desarrollo de las terapias con el ambiente SpinBOT: Pruebas y resultados**” donde se especifican las pruebas hechas, los parámetros de evaluación, resultados y discusión. En el título quinto, se encuentran las “**Conclusiones**” obtenidas de la realización del presente trabajo junto con las proyecciones. Finalmente, el lector encontrará el soporte bibliográfico que se logró recopilar en el desarrollo del presente trabajo de investigación y los anexos.

Aplicación de tecnologías de rehabilitación robótica en pacientes de pediatría con lesión del miembro superior

A continuación, se describen aspectos conceptuales y propios de la ingeniería, requeridos en el desarrollo del presente trabajo. Aunque hay una gran cantidad de sistemas robóticos para la rehabilitación del miembro superior, hay pocos desarrollos para población infantil, y aún falta por explorar y documentar de forma sistemática este campo. Debido a esto, el estado del arte presentado en este proyecto de investigación, fue una revisión sistemática de literatura, siguiendo la metodología indicada en las guías PRISMA (Del inglés: “*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement*”) [35]. Esta revisión sistemática fue muy importante porque, mediante la síntesis observacional y retrospectiva de múltiples investigaciones, se brindó información que permitió actualizar los conocimientos que se tenían en el campo de la rehabilitación robótica de pacientes pediátricos, y fue un punto de partida para realizar el diseño preliminar y conceptual del sistema desarrollado. La metodología usada para la revisión sistemática se describe a continuación.

2.1 Metodología de la revisión sistemática

2.1.1 Métodos y criterios de Búsqueda

Se buscaron artículos publicados hasta el mes de diciembre de 2016 utilizando los motores de búsqueda de las bases de datos SCIENCE DIRECT, SCOPUS, EBSCO, SPRINGER

LINK, RESEARCH GATE, IEEE Xplore, TAYLOR & FRANCIS. Las palabras claves utilizadas para la búsqueda electrónica fueron “Rehabilitation therapies for children”, “Upper limb rehabilitation therapies”, “Children rehabilitation robotics” y “Rehabilitation robotics”. La búsqueda realizada, se limitó a estudios con niños que sufrieran de lesión del miembro superior. También, se tuvieron en cuenta estudios que incluyeran la evaluación de dispositivos de comunicación aumentada, la interacción y el aprendizaje con robots para el desarrollo cognitivo.

2.1.2 Criterios de elegibilidad de los estudios

Se hizo una revisión del estado presente de este campo de investigación que ha sido reportado en la literatura, principalmente tratándose de una revisión de publicaciones de los últimos 30 años. Se revisaron artículos en inglés o español, que correspondieran a estudios pediátricos culminados o algunos que aún se encuentran en fase de desarrollo. Debido a que no se conoce aún una revisión bibliográfica para rehabilitación robótica infantil del miembro superior, algunos artículos de revisiones de rehabilitación robótica sirvieron de referencia. Principalmente, se trató de enfocar a niños hasta los 14 años; sin embargo, debido a la gran dificultad de encontrar investigaciones hechas y reportadas en la literatura enfocadas a población infantil, se debió revisar estudios que incluían jóvenes de edades hasta los 19 años, y extraer la información útil. Además, se verificó que estos estudios incluyeran información metodológica sobre los criterios de inclusión (edad, diagnóstico, habilidades, nivel de desarrollo motor y cognitivo), protocolo de terapia, duración de la terapia, escalas funcionales de evaluación y métodos de análisis de la información.

2.1.3 Resultados

Ciento veinte estudios cumplieron con los criterios de búsqueda, de los cuales fueron excluidos 70 por ser claramente irrelevantes o no cumplir con al menos un criterio de elegibilidad. También se descartan 15 por no estar disponibles los criterios de inclusión, 10 por no incluir información sobre la intervención (número de sesiones y duración de la terapia), 10 porque se centraron en la interacción con el robot con fines pedagógicos o lúdicos, y aunque se usaba el miembro superior no se le dio importancia, y 3 porque se tratan exclusivamente del estudio de habilidades para el uso de robots. De esta manera, se logró una base de datos de 12 documentos en formato PDF, proceso de búsqueda que se presenta en el diagrama de flujo de la **Figura 1**, que se describió anteriormente.

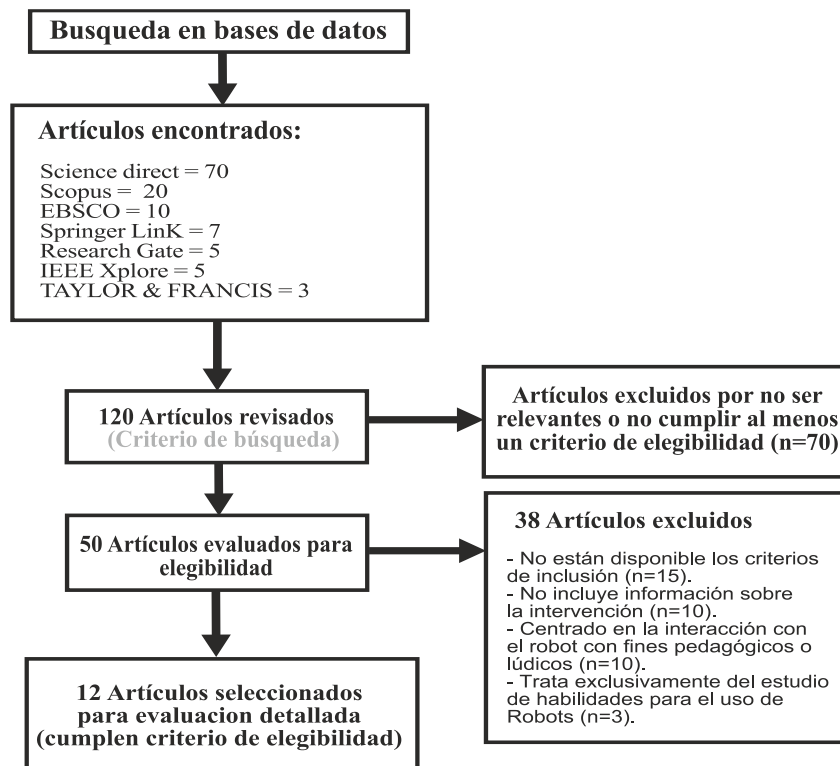


Figura 1. Proceso de búsqueda para revisión bibliográfica

2.2 Estado del arte de la aplicación de tecnologías de rehabilitación robótica en pacientes de pediatría con lesión del miembro superior

Las aplicaciones estudiadas sobre rehabilitación robótica en niños se han enfocado en las siguientes áreas: Aprendizaje de pacientes con discapacidad leve [36] y severa [24][22], diseño de dispositivos para comunicación aumentada [37][38], asistencia en actividades lúdicas como el sistema **PLAYBOT** [39][31], determinación de la edad del desarrollo cognitivo [25] y asistencia robótica en las tareas de la vida cotidiana [40][41][42]. Lo anterior fue muy importante, porque permitió obtener sistemas capaces de ser aceptados por niños e integrarlos a las terapias. Debido a esto, y mediante diferentes resultados [27][28] se demostró que la robótica abriría nuevas vías terapéuticas. En la actualidad, la aplicación de robots para rehabilitación del miembro superior en niños está dando sus primeros pasos y promete un avance promisorio en los próximos años. De esta manera, el robot **InMotion2** [54][43], fue el primer sistema adaptado y utilizado en 12 niños entre los 5 y los 12 años de edad con hemiplejía del miembro superior, causada por parálisis cerebral. Este fue un brazo robótico ubicado en un escritorio junto con una computadora personal, donde el brazo del paciente se posicionaba en un módulo conectado al mismo brazo. La terapia se aplicó 2 veces por semana, durante 8 semanas, con 60 minutos de duración por cada sesión. En esta se trató

de motivar a los niños mediante un reto cognitivo y entretenido, para lograr tareas desafiantes mediante prácticas motoras y sensoriales, donde el computador le pedía al paciente que realizará una tarea, como conectar puntos o dibujar las manecillas de un reloj. Como escalas de evaluación se utilizaron Melbourne Assessment of Unilateral Upper Limb, Fulg-meyer y Modified Ashworth Scale. Asimismo, el proyecto concluyó que era posible utilizar dispositivos y terapias para adultos en niños que sufren de hemiplejia. También se aplicó en niños el sistema pediátrico **Armeo®Spring** [44][45]. Este se basó en el sistema **T-WREX** usado en adultos con derrame cerebral o lesión de medula espinal [46]. El Armeo®Spring es todo un concepto de rehabilitación, compuesto por una órtesis para el brazo, instrumentada con un mecanismo con resorte para sostener la mano. El sistema Armeo®Spring pediátrico, usa un Joystick que sirve de mando en un amplio espacio de trabajo 3D. En la actualidad, se está llevando a cabo un estudio por el servicio nacional de instituciones de salud de Estados Unidos [47], con el propósito de evaluar el estado del paciente con lesión de miembro superior, antes y después de usar este sistema. Las terapias se hicieron 3 veces por semana, durante 3 semanas, con 45 minutos de duración por cada sesión, con 15 niños entre 7 a 17 años. Además, la terapia se hizo con el aumento progresivo de la dificultad. Aún no se reportan resultados en la literatura.

Aparte de las aplicaciones con robots físicos, se han desarrollado terapias mediante tecnologías como: Robots virtuales, realidad virtual, realidad aumentada o la combinación de plataformas robóticas con las tecnologías en mención. Cifuentes [48], mediante la herramienta de programación gráfica LabView, simuló un carro de fórmula uno. La terapia se desarrolló con 1 niña de 11 años, ella debió conducir el carro 5 veces a través de la pista con movimientos de su brazo. Como resultado se pudo ver el aumento de la habilidad de la motricidad fina. Otro sistema robótico para el entrenamiento del miembro superior es el **NJIT-RAVR** [49] (*del inglés: “New Jersey Institute of Technology Robot-Assisted Virtual Rehabilitation System”*). Este consistió en un robot Haptic Master de 6 grados de libertad, en combinación con un anillo mecánico para sostener la mano. Se probó con 2 niños con PC, quienes hicieron varios juegos en entornos de realidad virtual. La terapia se aplicó 3 veces por semana, durante 3 semanas, con 60 minutos de duración por cada sesión. Los escenarios se plantearon con el fin de lograr metas específicas de rehabilitación, tal como mejorar la velocidad y la precisión de los movimientos del hombro y codo; así como, mejorar los movimientos de supinación y pronación del antebrazo. En general, según la escala de valoración Melbourne, los pacientes mejoraron su actividad motora.

Asimismo, la empresa Tyromotion ha desarrollado varios dispositivos para el miembro superior. El primero es **AMADEO®**, utilizado en pacientes con dificultad para mover los dedos. Este es un dispositivo mecánico para rehabilitación, el cual permite la terapia pasiva, asistida o activa de los dedos. Aunque AMADEO® posee una limitación, no es adaptable para niños menores de 7 años que tienen una mano pequeña. El segundo es **DIEGO®**, un dispositivo para pacientes que necesitan rehabilitación intensiva, con el fin de recuperar parámetros funcionales del miembro superior. DIEGO® fue el primer robot del mundo para rehabilitación en usar compensación inteligente de gravedad o IGC (*del inglés: “Intelligent Gravity Compensation”*), esto se hace removiendo el peso del brazo del paciente al mismo

tiempo que permite terapias pasivas, activas o asistidas del miembro superior. El tercer sistema es **PABLO®**, y se usa para rehabilitación del movimiento del hombro. Además, los tres sistemas anteriores están combinados con extensos juegos de realidad virtual, que a su vez son motivantes y desafiantes. Sin embargo, no hay estudios pediátricos reportados en la literatura, lo que constituye una desventaja de estos sistemas frente a las ventajas de la rehabilitación tradicional. En 2009 Wille y colaboradores [20], desarrollaron un sistema de rehabilitación con protocolos de terapia, compuesto por un guante instrumentado para hacer actividades basadas en realidad virtual, denominado: Sistema pediátrico interactivo de terapia basado en realidad virtual. Además, este sistema es comercializado como **YouGrabber** por la compañía YouRehab [50] (Interactive Rehabilitation Systems). Se hizo una terapia donde participaron 5 niños con lesiones del miembro superior congénitas o lesiones neurológicas periféricas. La terapia se aplicó 3 veces por semana, durante 3 semanas, con 45 minutos de duración por cada sesión. Como instrumentos de evaluación se utilizaron Melbourne Assessment (MA), Box and Block Test (BBT) y Nine Hole Peg Test (NHPT). El resultado fue la motivación y la facilidad de aplicar en niños las terapias basadas en realidad virtual. También, Hayes et al [56] en 2009, desarrollaron una importante investigación en términos de diseño. El estudio se basó en la participación de los pacientes en el diseño y evaluación de dos dispositivos para rehabilitación del miembro superior de niños con parálisis cerebral, estos sistemas se denominaron: **PSAMD** y **RSAMD**. El proyecto se desarrolló con niños entre 5 a 12 años, 37 sanos y 15 con compromiso en sus miembros superiores. Lo anterior fue una buena oportunidad de explorar el campo de interacción humano-computador, debido a que generalmente el diseño se hace con participación solo de maestros, padres y terapeutas; pero no con los niños directamente.

Green y Wilson [57], evaluaron la viabilidad y el efecto terapéutico de un tablero de mesa con realidad virtual para mejorar habilidades motoras del miembro superior. Participaron 4 pacientes de 9 a 19 años en 3 sesiones de 30 minutos por semana, durante 4 semanas. La evaluación se hizo por medio de la escala ICF-CY (del inglés: “*International Classification of Functioning, Disability and Health*”). Se obtuvo como resultado, el progreso en el desarrollo de actividades de la vida diaria. De igual forma, la adaptación de sistemas comerciales de realidad virtual brindan la posibilidad de hacer terapias y estudios de rehabilitación del miembro superior, tal es el caso del **Nintendo Wii™**, usado por Winkels [58] para tratar lesiones del miembro superior causadas por la parálisis cerebral. Se hicieron terapias 2 veces por semana durante 6 semanas, con una duración de 45 minutos por cada sesión, con 15 niños de 6 a 15 años. Para evaluar las actividades se usaron las escalas Melbourne Assessment of Upper Limb Function y ABILHAND-Kids. Como resultado se observó que, no hubo cambio de la calidad de los movimientos del miembro superior; sin embargo, se aumentó el uso del miembro superior en la vida diaria. En 2009 Wood, Lathan, Kaufman presentaron un ambiente y una plataforma robótica llamada **CosmoBot** [51]. Este robot detectó gestos y movimientos de los miembros superiores del paciente y realimentó la actividad a través del mismo robot. Se aplicaron pruebas a 3 niños de 4 a 11 años, con lesión del miembro superior debido a parálisis cerebral. Como resultado se observó la facilidad de desarrollar terapias mediante robótica y realimentación de la actividad. Otro proyecto en 2013 [60], mediante el uso de **CosmoBot**, se llevó a cabo con 6 pacientes que sufrían de

parálisis cerebral con edades entre 5 a 18 años y con niveles de discapacidad de I, III y IV según la escala funcional GMFM. De esta manera, se aplicó una terapia donde se evaluó el desempeño de los miembros superiores frente a pronosupinación y flexoextensión de muñeca. Una ventaja del sistema respecto a la terapia tradicional, es el tiempo de realimentación con las tareas del paciente que ocurre en menos de 500 ms aproximadamente, lo que es muy rápido. Por el contrario, una desventaja fue identificar claramente la eficacia del sistema debido al número de pacientes que participaron del estudio.

En 2013, Suárez Mejías y colaboradores [59], diseñaron un robot para neurorehabilitación llamado: “**URSUS**”, que se complementó con actividades de realidad aumentada. Este fue un robot social diseñado especialmente para rehabilitación de miembros superiores de niños con discapacidades motoras como hemiplejía. El estudio se llevó a cabo con 6 niños de 3 a 6 años, y se evaluaron las actividades mediante GAS y Nine hole peg. Como resultado se mostró mayor motivación respecto a las terapias tradicionales. El mismo año Calderita, Bustos y colaboradores [52], apropiándose del potencial de los robots sociales, desarrollaron **THERAPIST**, un ambiente tecnológico compuesto por un software con múltiples funciones y la plataforma robótica **URSUS**, el resultado es un sistema interactivo más completo para asistencia en neurorehabilitación. Éste interactúa con el paciente mediante percepción de movimientos y realizando acciones específicas, y al terapeuta le brinda herramientas administrativas de monitoreo y planeación de tareas. Recientemente, Shire y colaboradores [61] en 2016 adaptaron un lápiz a un dispositivo de percepción háptica denominado: **PHANTOM** Omni, con el fin de desarrollar una serie de actividades en un ambiente virtual 3-D. El número de pacientes fue de 51, entre 5 a 11 años, correspondiente a 34 hombres y 17 mujeres. Como resultado de la terapia se observó el aumento de motivación en la terapia utilizando el robot.

2.2.1 Tendencias

En la literatura estudiada, se pueden observar dos tendencias que permiten clasificar los sistemas o dispositivos de rehabilitación robótica, de acuerdo con el nivel de interacción entre el paciente y la plataforma robótica. **Tipo 1:** Robots que usan habilidades motoras del paciente; es decir, establecen contacto con el paciente mediante la aplicación de fuerza como comando para lograr ciertas tareas, y **Tipo 2:** Robots que motivan al paciente en un ambiente controlado para imitar o seguir ciertos ejercicios, sin tener contacto. Esta última es una aplicación de la rehabilitación robótica innovadora que involucra al niño y lo hace parte de la terapia; este es el campo de los robots sociales [53], que permiten la creación de personajes artificiales, de esta manera los niños logran tener un compañero o interlocutor mucho más accesible. También, los robots sociales poseen dos perspectivas de diseño, [75][76] la primera son los inspirados en sistemas biológicos; y la segunda se denomina “Diseño funcional”, donde se busca alcanzar un robot “socialmente inteligente”. Bajo este enfoque, la clasificación de los sistemas estudiados se presenta en el resumen de la **Tabla 1** descrita en el título 2.2, donde también se citan los artículos revisados y se describen brevemente de acuerdo con el tipo de sistema robótico (Tipo 1 o 2), diagnóstico, intervención, escalas de evaluación, participantes y resultados.

Tabla 1. Resumen de estudios sobre rehabilitación robótica infantil del miembro superior

Artículo	Sistema robótico	Diagnóstico	Intervención	Escalas de evaluación	Participantes	Resultados
[54] Fasoli, E.U. 2008	Robot InMotion (Interactive Motion Technologies Inc., Cambridge, MA). Tipo: 1	Parálisis cerebral, Hemiplejía del miembro superior.	2 veces/semana Durante 8 semanas	Quality of Upper Extremity Skills Test (QUEST), Fugl-Meyer, Modified Ashworth Scale, Parent questionnaire scores.	n=12, 5-12 años	Aumento de control y habilidad motora. Aumento del uso del brazo parético en las tareas cotidianas.
[55] Wood, E.U. 2009	CosmoBot, Sistema robótico de realimentación de movimientos de miembro superior. Tipo: 2	Parálisis cerebral Lesión del miembro superior.	2 sesiones de 20 minutos	NO se describe	n=3, 4-11 años	Se facilitó terapias mediante robótica y realimentación de movimientos.
[20] Wille, Suiza 2009	Guante instrumentado, en complemento con actividades basadas en realidad virtual (Robot PITS). Tipo: 1	Lesión miembro superior congénita o lesiones neurológicas periféricas.	3 veces/semana durante 3 semanas Duración: 45 min	Melbourne Assessment (MA), Box and Block Test (BBT), Nine Hole Peg Test (NHPT).	n=5, 11-15 años 1 mujer, 4 hombres	Fácil aplicación en niños.
[49] Qiu, E.U. 2009	Robot Haptic Master (Moog, The Netherlands). Tipo: 1	Parálisis cerebral, Hemiplejía.	3 veces/semana durante 3 semanas Duración: 60 min	Melbourne Assessment of Unilateral Upper Limb Function (MAUULF).	n=2, hombre de 10 años y 1 mujer de 7 años	Mejora de la actividad motora.
[56] Hayes Reino Unido 2009	Sistemas PSAMD, RSAMD. Juego de computador e interfaz de realimentación de fuerza. Tipo: 1	Parálisis cerebral	4 semanas	Cuestionarios, entrevistas para padres y niños.	n=15 con lesión n=37 sanos, 5-12 años	Aumento de la funcionalidad en general del miembro superior.
[43] Fasoli, E.U. 2010	InMotion Interactive Motion Technologies, Watertown, MA. Tipo: 1	Hemiplejía por parálisis cerebral.	2 veces/semana Durante 8 semanas	The Quality of Upper Extremity Skills Test (QUEST), Fugl-Meyer Assessment.	n=13, 4-12 años	Aumento de parámetros de funcionalidad motora de miembro superior.
[48] Cifuentes, México 2011	Robot virtual mediante LabView o video juego. Tipo: 1	Parálisis cerebral.	5 veces	Porcentaje de error de la trayectoria real.	1 niña de 11 años	Aumento de las habilidades finas del miembro superior.
[57] Green, Israel 2012	Tablero de mesa con realidad virtual. Tipo: 1	Hemiplejía, Parálisis cerebral.	3 sesiones/semana Durante 4 semanas Duración: 30 min/sesión	ICY-CY International Classification of Functioning, Disability and Health.	n=4, 9-19 años	Progreso en el desarrollo de actividades de la vida diaria.
[58] Winkels, Holanda 2012	Nintendo Wii™ Tipo: 1, 2	Parálisis cerebral.	2 veces /semana Durante 6 semanas Duración: 45 min	Melbourne Assessment of Upper Limb Function, ABILHAND-Kids.	n=15, 6-15 años	No cambio la calidad de los movimientos del miembro superior pero aumentó el uso del miembro superior en la vida diaria.
[59] Suárez, España 2013	Robot social URSUS, con realidad aumentada. Tipo: 2	Hemiplejía, parálisis cerebral Lesión obstétrica plexo braquial.	NO se describe	Función de los miembros usando la evaluación "Nine hole peg", Goal Attainment Scale.	n=6, 3-6 años	Mayor motivación respecto a las terapias tradicionales
[60] Lathan, E.U. 2013	Sistema basado en CosmoBot. Tipo: 2	Hemiplejía, Parálisis cerebral Lesión del miembro superior.	2 veces/semana Durante 5 semanas Duración: 20 min/sesión	GMFM.	n=6, 5-18 años	Aumento de parámetros de funcionalidad del miembro superior.
[61] Shire, Reino Unido 2016	Lápiz unido a un Robot PHANTOM Omni (Sensable Technologies, Inc.), Dispositivo de tecnología de tacto. Percepción Háptica. Tipo: 1	Dificultades motoras. Lesión miembro superior.	20 min/semana Durante 5 semanas	Clinical Kinematic Assessment Tool, (CKAT).	n=51, 5-11 años 34 hombres y 17 mujeres	Motivación en la terapia con el robot, completando las tareas planteadas.

2.2.2 Discusión

Aunque se trató de seleccionar los artículos más citados, es claro que otra cantidad de artículos han sido omitidos. En la literatura estudiada, se observó que los primeros trabajos que contribuyeron en el campo de rehabilitación robótica no describían con detalle el tipo de discapacidad ni el rango de edad del paciente. Sobre todo, esta tendencia se mantuvo en las primeras investigaciones de la década de los 80.

Definir el rango de edad de los niños y el tipo de discapacidad, por supuesto es de suma importancia e ineludible en el desarrollo de dispositivos o sistemas de rehabilitación robótica. Además, los criterios de inclusión eran muy generales, carecían de un enfoque interdisciplinario y no era frecuente el uso de herramientas de evaluación.

Esta falta de enfoque podría ser causada probablemente por la complejidad del problema, porque es un campo de frontera en la investigación; por lo tanto, un campo nuevo que demanda ser explorado. También, no se describían con claridad la duración de las terapias y el número de sesiones, que permitieran afianzar los beneficios de aplicar nuevas tecnologías de rehabilitación. No obstante, estas primeras investigaciones contribuyeron al avance del campo de la rehabilitación robótica para pacientes de pediatría.

Por el contrario, actualmente las investigaciones enfocadas a rehabilitación del miembro superior en niños, son cada vez más completas. Sin embargo, se debe profundizar con más investigaciones que puedan determinar si las terapias con sistemas robóticos pueden producir mejorías significativas en pacientes, en comparación con las terapias tradicionales.

2.2.3 Conclusiones

Esta sección presentó los avances que ha concebido la ingeniería de rehabilitación a través de la rehabilitación robótica para pacientes pediátricos con lesión del miembro superior. Esto se consideró al estudiar la literatura reportada, donde cada año se desarrollan nuevos dispositivos, software y protocolos de terapia; aunque muchos de estos desarrollos son escasos para niños o no tienen aplicación alguna en población infantil. Sin embargo, en diferentes estudios reportados en la literatura especializada, las terapias con sistemas robóticos están demostrando ser igual de efectivas frente a las terapias convencionales, bajo los mismos parámetros de intensidad y tiempo de tratamiento. No obstante, se debe entender que el propósito de robots en terapias es ser una herramienta, en ningún momento puede sustituir el papel del fisioterapeuta o médico especialista para orientar la terapia e interpretar los resultados. Sin negar la importancia de la autonomía en los sistemas robóticos y su carácter lúdico, que permitan mantener una alta motivación por parte del paciente de pediatría. En este orden de ideas, se debe garantizar el recurso humano necesario para que las sesiones de rehabilitación tengan una frecuencia deseable y así obtener los mejores resultados.

2.3 Rehabilitación del miembro superior

2.3.1 La discapacidad

La discapacidad se puede definir como ha propuesto la ONU (Convención de la ONU en 2006): "La discapacidad es un concepto que evoluciona y que resulta de la interacción entre las personas con deficiencias y las barreras debidas a la actitud y al entorno que evitan su participación plena y efectiva en la sociedad, en igualdad de condiciones con las demás". La Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF), también define la discapacidad como un término genérico que engloba deficiencias, y restricciones para la participación en la vida cotidiana. En este contexto, la discapacidad es un concepto que ha ido cambiando a lo largo de la historia, lo que da como resultado diversos análisis que van desde el enfoque biomédico, hasta el enfoque social. En el enfoque biomédico, la discapacidad se entiende como un problema del individuo, ocasionado por afecciones de la salud, a quien se le brinda atención médica y terapia ocupacional para superarlo. Sin embargo, este enfoque tiene varias limitaciones: Se centra en lo patológico, desconociendo las circunstancias sociales y culturales que rodean la discapacidad; además, descarga la responsabilidad en el sujeto con discapacidad al mostrarlo como un individuo que no se encuentra capacitado para insertarse en la sociedad.

En Colombia, hay 1.051.971 personas registradas con discapacidad, el 51,46% (541.344) son hombres y el restante 48,54% (510.620) mujeres. El 17% (187.145) de la población que vive en condición de discapacidad tiene 80 años o más; así mismo, el 55,28% de la población está entre los 15 y 65 años. El Departamento del Quindío cuenta con una población de 562.144 (*proyección DANE 2014*). En el departamento del Quindío, los rangos de edad de personas con discapacidad se encuentran distribuidos como se presenta en la **Figura 2**.

Asimismo, el departamento del Quindío está clasificado entre los cinco departamentos con mayor índice de discapacidad en Colombia, 40.837 personas fueron censadas en el 2005 manifestando algún tipo de discapacidad; sin embargo, solo se tienen registradas 12.359 personas con algún tipo de discapacidad.

Casi todas las personas sufrirán algún tipo de discapacidad transitoria o permanente en algún momento de su vida, y las que lleguen a la vejez experimentarán dificultades crecientes de funcionamiento orgánico. La discapacidad es compleja, y las intervenciones para superar las desventajas asociadas a ella son múltiples, sistémicas y varían según el contexto. Es por esto que, la robótica y el sistema desarrollado en este proyecto de investigación, puede brindar alternativas para las terapias de rehabilitación.

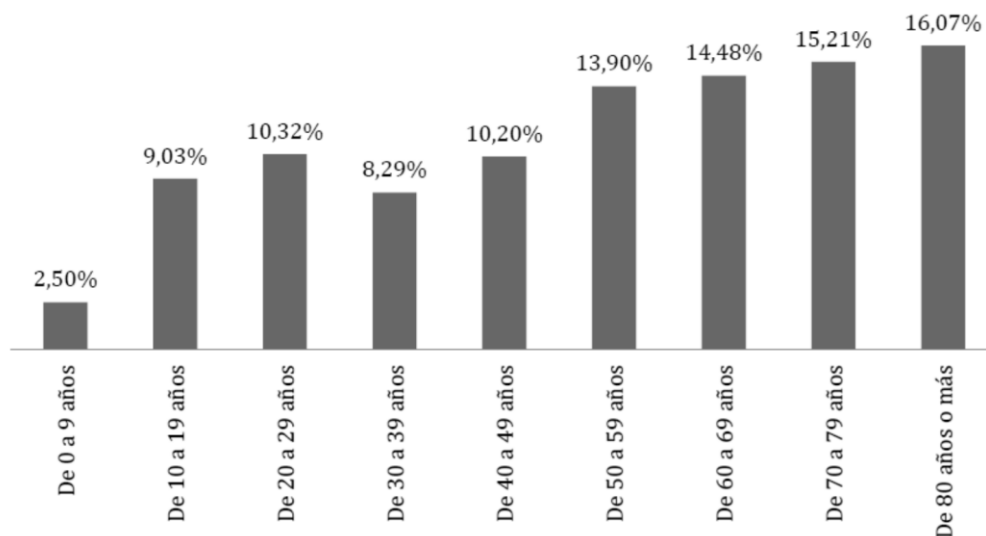


Figura 2. Registro de caracterización de la población en condición de discapacidad. Datos disponibles del Ministerio de Salud y Protección Social. 2013

2.3.2 Lesión del miembro superior y terapias de rehabilitación

Las lesiones de miembros superiores son causadas por eventos tales como: Defectos congénitos, accidente cerebro vascular, parálisis cerebral (Cuadriparesia, hemiparesia, diplejía, etc), hemiparesia (*pérdida de fuerza, pérdida de control motor selectivo*), hemiplejía (*mitad contralateral del cuerpo paralizada*), lesiones en la práctica deportiva como epicondilitis (*el codo de tenista*) y fracturas; así mismo, por eventos atraumáticos como la sobreutilización del brazo en posiciones forzadas y recurrentes. Estas lesiones son numerosas en características y síntomas, afectando áreas del miembro superior como: El hombro, codo, mano, huesos del brazo (*solo la mano tiene al menos 27 huesos: la muñeca Carpio, tiene 8, la palma, metacarpio tiene 5 y los restantes 14 son huesos digitales*), músculos, nervios periféricos [62] y ligamentos que proporcionan su gran movilidad y destreza para realizar las tareas de la vida cotidiana.

La ocurrencia de defectos congénitos en miembros superiores se estima que sea de un 0.3 a 1.0 por cada 1000 nacimientos [63]. Las causas de las lesiones congénitas de miembros superiores son poco conocidas. Sin embargo, a diferencia de las lesiones ocasionadas por defectos congénitos, se conoce que la parálisis cerebral (PC) es la principal causa de discapacidad en niños, lo que afecta directamente el miembro superior [64][65]. Un resumen de las causas y tipo de parálisis se presenta en la **Figura 3**.

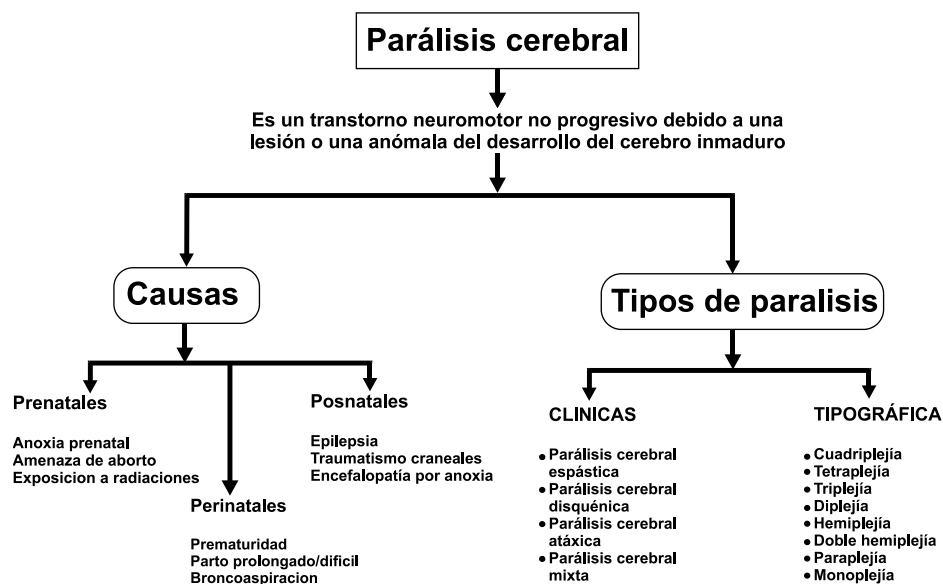


Figura 3. Causas y tipos de parálisis cerebral

En las lesiones del miembro superior, se hace necesario terapias de rehabilitación con profesionales en terapia ocupacional, quienes, a través de técnicas y ejercicios de diversas praxias, logran con la participación activa del paciente la recuperación de patrones funcionales de movimiento. Algunos de estos, necesarios para la independencia de la vida, como los agarres funcionales útiles para la escritura. De esta manera se tiene como resultado una mejor expectativa y calidad de vida para personas con algún tipo de discapacidad de miembros superiores, y una óptima rehabilitación neurológica, física y sensorial.

En la **Figura 4**, se presenta los principales movimientos del miembro superior. Cada uno de estos movimientos se deben ejercitar a través de actividades lúdicas, en el caso del niño que sufre de hemiparesia, porque sus patrones de movimientos son escasos y asociados a la alteración del esquema corporal. Como paso posterior a la actividad viene la evaluación, esta es una herramienta clave en terapia ocupacional, y se utiliza para analizar el potencial terapéutico de una actividad y valorar las habilidades o destrezas del paciente necesarias para su realización. Con esta herramienta, se puede comprender mejor la tarea, pero cada paciente puede tener unas capacidades o limitaciones diferentes para afrontar una misma actividad, por lo que antes de la participación de un paciente en terapias del miembro superior, se debe evaluar si sus rangos de movilidad articular podrían servir para lograr los objetivos de la terapia con un robot. Existen diferentes modelos para el análisis de la actividad, algunos bastante sencillos, otros más complejos. Su elección depende de la situación y son los terapeutas quienes lo deciden. Para la evaluación, se han propuesto modelos de análisis básico, complejo y detallado [66].

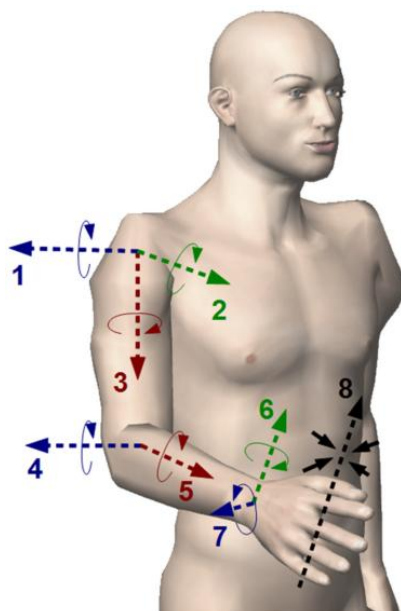


Figura 4. Movimientos principales (grados de libertad) del miembro superior. 1) Flexión/ extensión de brazo. 2) Aducción/ abducción de brazo. 3) Rotación interna y externa de brazo 4) flexión/ extensión de codo 5) pronación/ supinación de antebrazo 6) Flexión/ extensión de muñeca (de interés en este proyecto) 7) aducción de muñeca (desviación cubital) abducción (desviación radial) 8) Empuñadura de mano [67]

Es por esto que, en el desarrollo de este proyecto de investigación, se evaluará la aplicación de la asistencia e interacción robótica en el desarrollo de actividades, como apoyo terapéutico a niños con lesiones de miembro superior, buscando desarrollar patrones funcionales de movimiento útiles para: la escritura, lavarse los dientes, peinarse, beber de una taza, amarrarse los zapatos, entre otras.

2.4 Ambientes robóticos lúdicos

2.4.1 Ingeniería de rehabilitación

La ingeniería de rehabilitación puede ser definida como: “La aplicación de soluciones tecnológicas a los diferentes problemas que podrían enfrentar en la cotidianidad personas con discapacidad”. En la actualidad, como resultado del acelerado avance en tecnologías para rehabilitación aplicadas en terapias; se puede proponer el concepto: “Nuevas Tecnologías en Asistencia y Rehabilitación”.

Las terapias usadas frecuentemente en niños se componen de movimientos repetitivos, orientados por un terapeuta con el fin de resolver una serie de tareas, para la adquisición de habilidades motoras. Debido a esto, y mediante la aplicación de la ingeniería de rehabilitación se puede complementar las sesiones de terapias, y de esta manera ser más motivantes. Por

otro lado, la rehabilitación robótica frente a la rehabilitación tradicional presenta ventajas y desventajas como se presenta en la **Figura 5**, donde se muestra que la rehabilitación tradicional puede aumentar considerablemente el estrés del niño para asistir al médico, y muchas veces no aplica a sus necesidades; además, es insuficiente para la rehabilitación motora intensiva. Asimismo, la rehabilitación robótica tiene como desventaja el preconocimiento, donde el operador del sistema debe llegar a tener conocimientos de programación y electrónica. Además, muchas veces se pueden presentar limitaciones por la disponibilidad del hardware, lo que no sucede en la rehabilitación tradicional. Otra desventaja de la rehabilitación robótica, es el cierto grado de inseguridad por lesiones mecánicas.

Por el contrario, las ventajas de la rehabilitación robótica son: Mayor relación costo-eficacia y mayor efectividad de las terapias que se aplican originando nuevas alternativas de rehabilitación [1]. Esto es muy importante, por ejemplo daría la posibilidad a niños que tienen discapacidades severas, de desarrollar habilidades cognitivas [9] en el proceso. Las nuevas tecnologías en rehabilitación brindan la posibilidad de reducir el uso de los dispositivos tradicionales, además de aumentar las capacidades del paciente, y provee nuevas formas de asistencia; en general, mejora el proceso global de su rehabilitación. Sin embargo, a medida que la población crece y las tecnologías se hacen más conocidas, se hace necesario incrementar la versatilidad de los dispositivos usados para suplir las nuevas demandas.

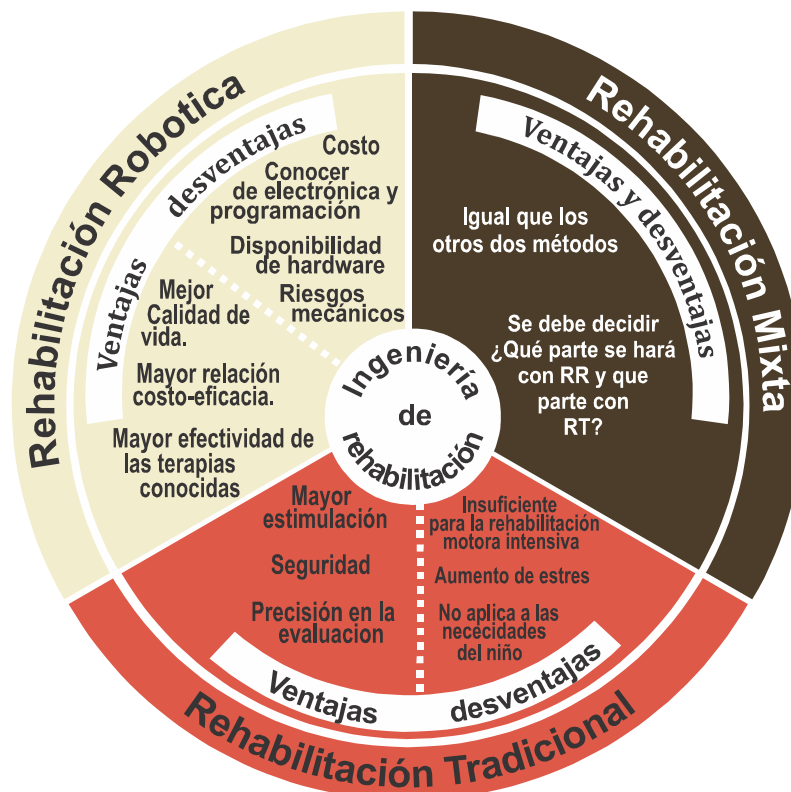


Figura 5. Ventajas y desventajas de la rehabilitación robótica (RR) frente a la rehabilitación tradicional (RT).

2.4.2 Plataformas tecnológicas robóticas

Las plataformas robóticas o robots, son aplicaciones específicas, con un componente electrónico, mecánico y de software; que son desarrolladas por ingenieros o empresas que a su vez las comercializan. Para este proyecto es de interés los robots móviles, que permitan desplazarse por una pista conducidos por el paciente, a través de comandos generados por los ángulos activos de flexoextensión de muñeca y pronosupinación de antebrazo. Algunos ejemplos de estas plataformas se presentan en la **Figura 6**, y son: Lego Mindstorm, magic chassis DG007, Baron-4WD Mobile Platform, humanoides Bioloid y en el caso de este proyecto, el robot denominado SPINBOT: Un robot construido especialmente para este proyecto, que se describe más adelante. La asociación de industrias robóticas de Estados Unidos define robot como: “Manipulador reprogramable y multifuncional designado para manipular material, partes, herramientas o dispositivos especializados a través de movimientos variables programados para el desempeño de gran variedad de labores”. Karel Capek, introdujo el término “Robot” por primera vez en 1921, en una obra teatral denominada Rossum’s universal Robots (en español: “*los robots universales de Rossum*”). Donde describió máquinas inteligentes que aunque se crearon para servir a los humanos, dominaban el mundo y destruían la humanidad [68]. Desde ese entonces, esa idea ha evolucionado bastante, y se puede ver hoy día el gran avance en la concepción e implementación de la robótica, como lo es en terapias de rehabilitación. Otro aspecto importante son los robots para asistencia, un robot para asistencia es el que realiza una tarea física para el bienestar de una persona con una discapacidad. También, un robot de asistencia es un dispositivo que puede detectar la información sensorial, procesarla y realizar acciones que benefician a las personas con discapacidad. En este ámbito de aplicación, el ambiente robótico lúdico de este proyecto, se especifica con el **Tipo 1**, según la clasificación descrita en la sección 2.2.1. [69]

Por otro lado, es bien conocido que el grado de discapacidad presente en un paciente puede ser bastante severa. Debido a esto, se deben presentar alternativas que permitan la comunicación con los sistemas robóticos. A estos dispositivos o sistemas se les denomina tecnologías de acceso (*comunicación aumentada*), y se encargan de traducir los deseos del paciente manifestados mediante un movimiento físico, gesto facial, cambio psicológico o diferentes combinaciones con el fin de obtener una actividad funcional. Las tecnologías de acceso abarcan principalmente dos elementos que son:

- 1) Ruta de acceso, es decir los sensores y dispositivos de entrada (botones muy grandes, joystick, guante didáctico, etc) que actúan como transductores de una acción del paciente a una señal eléctrica.
- 2) Unidad de procesamiento de la señal. Esta filtra y clasifica la señal del transductor, y así generar una señal comando que interconecta con un dispositivo para la comunicación aumentativa o una unidad de control.

Para lograr la comunicación con el sistema robótico, en este proyecto se implementó una ruta de acceso o guante didáctico, integrado con un sensor acelerómetro ADXL345, el cual es muy adecuado para aplicaciones de dispositivos móviles. Este sensor mide la aceleración estática de la gravedad en las aplicaciones de detección de inclinación, así como la aceleración dinámica resultante del movimiento o choque. Su alta resolución (3,9 mg / LSB) permite medir los cambios de inclinación inferiores a 1,0 °.

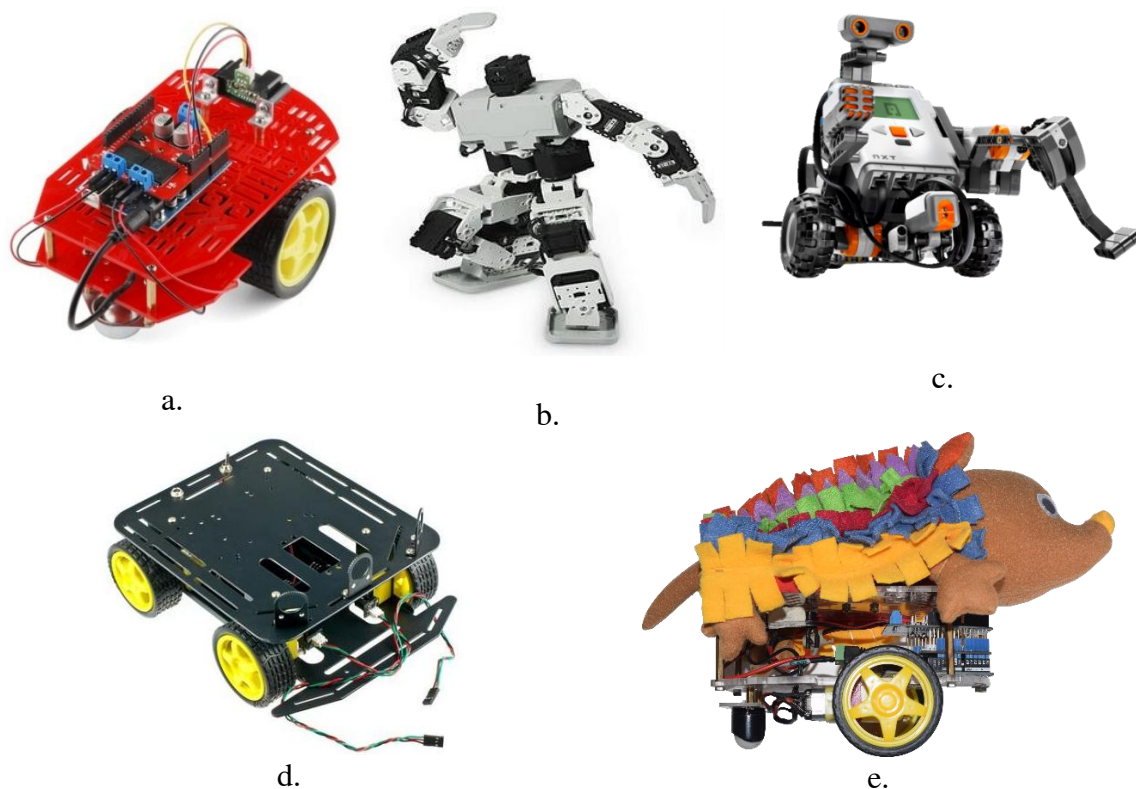


Figura 6. Ejemplos de plataformas tecnológicas robóticas. **a.** Magic chassis DG007 **b.** Humanoides Biolid **c.** LEGO Minstorm **d.** Baron-4WD Mobile Platform **e.** SPINBOT.

En este ámbito de aplicación, Natasha Alves y colaboradores [70], han propuesto 5 métodos de acceso a la comunicación para pacientes con discapacidades severas. Las diferentes tecnologías propuestas se presentan en la **Figura 7**. En primer lugar, la termografía infrarroja facial y detección de lengua multi-cámara. Ambas involucran actividad alrededor de la boca. Otra solución asociada con actividad en la región orofaríngea, es la que involucra vibración de las cuerdas vocales. La cuarta alternativa, se enfoca en aspectos diferentes a la boca y es el acceso mecanomiográfico, refiriéndose al empleo de movimientos de las cejas y el pulgar.

Asimismo, los dispositivos de rehabilitación robótica se diseñan en función de aspectos como: Tipo de discapacidad, tecnología de acceso a la comunicación, el tipo de tecnología implementada, nivel de contacto entre paciente y robot, cuan inteligente o avanzado debe ser el sistema de rehabilitación robótica. En síntesis, la **Figura 8** presenta un resumen de estos

aspectos, con el fin de construir un sistema de rehabilitación robótica, se deben involucrar cuatro aspectos:

- 1) Determinar los componentes mecánicos y electromecánicos teniendo en cuenta la seguridad del paciente.
- 2) Determinar los componentes electrónicos como: Sensores, procesadores, transductores e interfaces de comunicación.
- 3) Determinar criterios de inclusión como: El tipo de discapacidad, edad y habilidades cognitivas y motrices.
- 4) Programación del sistema robótico para su control. Se debe tener en cuenta que debe ser lo más automatizado e inteligente posible en términos tecnológicos.



Figura 7. Soluciones de acceso a la comunicación para niños con discapacidad motriz [70]

Los dispositivos de asistencia robótica y rehabilitación robótica pueden ser diversos, en función de aspectos ya mencionados. La **Figura 8** presenta un enfoque personal sobre la clasificación de dispositivos o aplicaciones para rehabilitación robótica en la actualidad, resultado de la revisión bibliográfica; así como, la asesoría de terapeutas e investigadores en el campo.

En síntesis, cuando un dispositivo se diseña por primera vez, se debe tomar en cuenta el tipo de discapacidad del individuo; así mismo, este diseño debe ser flexible, auto adaptable e inteligente. No obstante, el alcance de los requerimientos es frecuentemente enorme y algunas veces complejo de predecir por el diseñador. Además, algunos de los avances de mayor impacto en la ingeniería de rehabilitación, se esperaría que provengan de la aplicación de campos como las redes neuronales, sistemas difusos, realidad virtual, teoría de sistemas

no lineales, microtecnología, mecatrónica y el campo bajo discusión en este proyecto: La robótica [71].

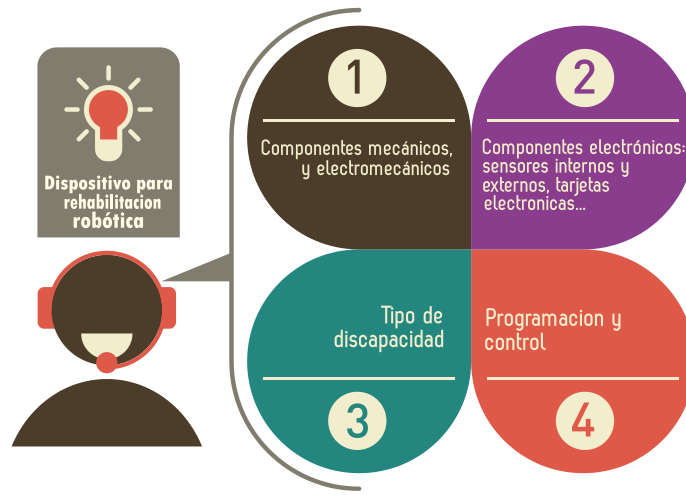


Figura 8. Áreas presentes en el problema de diseño de dispositivos o sistemas de rehabilitación robótica.

Ambiente robótico lúdico SpinBOT

3.1 Descripción formal del problema

Las capacidades que presentan los robots en la actualidad, se han estado perfeccionando para hacer más versátiles los procesos de manufactura de la industria. Es precisamente en este campo donde se utiliza con mayor frecuencia la robótica. Por esta razón, en la actualidad el potencial uso de la robótica en la asistencia y rehabilitación de seres humanos se ha comenzado a apreciar fácilmente. La rehabilitación robótica es un campo de la ingeniería de rehabilitación, y hace parte de las nuevas tecnologías que están siendo implementadas en campos como: Fisioterapia, terapia ocupacional y en general en el tratamiento de pacientes con diversas formas de discapacidad como: Parálisis cerebral, autismo, impedimentos auditivos y visuales. Algunas aplicaciones importantes de la rehabilitación robótica reportadas en la literatura son: Aplicaciones de monitoreo con realimentación del movimiento [72], estrategias para la recuperación motora de pacientes que han sufrido un accidente cerebro vascular [73], implementación de computadores para lograr aplicaciones de realidad virtual [74] y robots sociales; [75][76] así como, sistemas de rehabilitación del miembro superior [77][78]. Además, se ha descubierto que para la recuperación del paciente pediátrico, debería permitírsele jugar un papel activo en su proceso de rehabilitación para que ocurra una mejoría significativa [79]. Esto precisamente es lo que está permitiendo la implementación de las nuevas tecnologías en rehabilitación como la robótica, que brinda la posibilidad de reducir el uso de los dispositivos tradicionales; además, de aumentar las capacidades del paciente, mejorar la efectividad de las terapias conocidas y facilitar nuevos protocolos de terapias dirigidos por profesionales de la salud.

Si bien el crecimiento de la robótica industrial ha sido acelerado, no se ha visto reflejado en la actualidad para alternativas de rehabilitación de personas con discapacidad en Colombia. Hablar de aplicaciones de rehabilitación robótica, aun es algo nuevo en nuestro país, en parte debido a los elevados costos de acceso. Igualmente, el departamento del Quindío presenta un índice importante de pacientes con lesiones del miembro superior que son atendidos por

diferentes instituciones especializadas. El Departamento del Quindío es catalogado entre los cinco departamentos con mayor índice de discapacidad en el país, con una población al 2014 de 40.837 [80].

Debido a su estado de discapacidad, los pacientes generalmente tienen peor salud, bajo rendimiento educativo, menos oportunidades de acceso a la educación y mayor pobreza que personas que no están en estado de discapacidad, tal como concluyó la Organización Mundial de la Salud OMS [81]. En consecuencia, se puede señalar una problemática económica y social: Costo de la discapacidad. De acuerdo al Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), en Colombia el 6.3% de la población tiene algún tipo de discapacidad [82]. Sin embargo, únicamente el 11% de personas con discapacidad logran acceder a algún servicio de rehabilitación [83].

Además, la ausencia de interfaces tecnológicas de apoyo para el tratamiento de terapias de estos pacientes no permite una rehabilitación con mayor relación costo-beneficio y mayor efectividad de las terapias conocidas, con el fin de lograr una mejor calidad de vida; asimismo, de hacer las terapias tradicionales de rehabilitación menos motivantes, desafiantes, recompensantes y atractivas.

Como consecuencia de estos factores, en este trabajo, como un aporte al bienestar de tantas personas en estado de discapacidad, se ha propuesto implementar un ambiente lúdico y de asistencia tecnológica en las terapias de rehabilitación de pacientes con lesión del miembro superior, tales como: Parálisis cerebral con alteraciones motrices en miembro superior, hemiparesia o hipotonía del miembro superior. Por lo tanto, se plantea que sea una herramienta, cuya estructura hardware permita a un bajo costo, soportar las numerosas sesiones terapéuticas, que brinde la posibilidad a pacientes en condiciones de vulnerabilidad, acceder a tratamientos con robots. Además, el diseño es un robot cuyo aspecto externo se adapta al entorno de trabajo. Esto con el fin de realizar un protocolo de terapia, específicamente para muñeca y antebrazo, aplicando nuevas tecnologías como la robótica lúdica. Con este fin, se presenta una oportunidad valiosa de aplicar nuevas tecnologías de ingeniería de rehabilitación, como la rehabilitación robótica en pacientes pediátricos.

3.2 Ambiente robótico lúdico propuesto para solucionar el problema

Esta propuesta de investigación presentó el diseño, implementación y evaluación de un ambiente robótico lúdico para el aumento del beneficio, motivación y avance en las terapias de rehabilitación de pacientes pediátricos con lesión del miembro superior, el cual consistió en la construcción de un ambiente robótico lúdico bajo la configuración básica de diagrama de bloques presentado en la **Figura 9** compuesto por: 1) Un guante didáctico, 2) una plataforma tecnológica robótica (*Denominada SPINBOT*), 3) un módulo de control, 4) un computador personal (PC) y una herramienta de visualización.

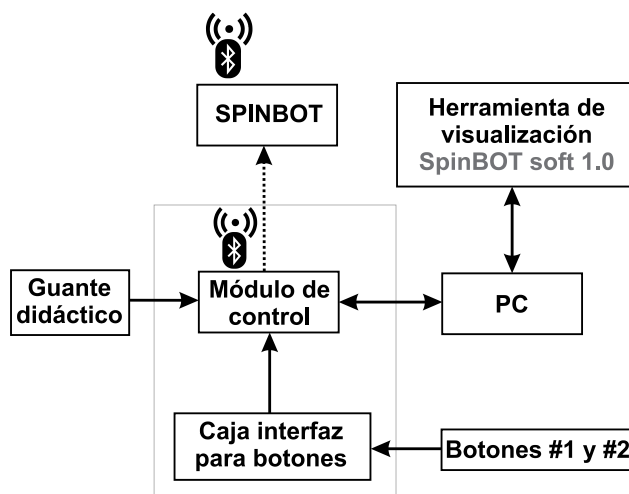


Figura 9. Diagrama en bloques ambiente SpinBOT

La plataforma SpinBOT, es un vehículo semi-autónomo disfrazado de puerco espín, que fue controlado con movimientos de pronosupinación de antebrazo y flexoextension de muñeca, para indicar la dirección izquierda-derecha y adelante-atrás respectivamente. En este esquema, el vehículo debe ser conducido por una pista con obstáculos, hasta derribar una torre de bloques de colores al final del trayecto. A pesar de ser un experimento de investigación aplicada, los procedimientos y actividades previstos para la evaluación y observación de desempeño del niño con discapacidad motriz, no representaron riesgos biológicos, mecánicos o eléctricos. Además, el diseño del ambiente robótico lúdico fue implementado teniendo en cuenta las normas de seguridad propuestas en la norma ISO TC 184/SC 02/WG 7 (*Personal care safety*) y ISO TC 184/SC 02/WG 8 (*Service robots*), generando un nivel de riesgo mínimo y un nivel de seguridad prioritario para los pacientes con discapacidad. También, el robot no tuvo autonomía en la toma de decisiones y fue controlado remotamente con los movimientos del brazo. El robot es pequeño (*aproximadamente 17.6 x 9.5 cm*), dotado de un par de motores que usan voltaje DC de 4.5 v, normalmente utilizados en juguetes infantiles. El paciente nunca manipuló directamente la plataforma robótica, solo lo hizo de manera inalámbrica.

3.2.1 Diagrama general del sistema: Descripción de hardware y software

El proyecto de investigación consistió en el diseño e implementación de un ambiente robótico lúdico, que se describirá a continuación, presentado y enumerado por partes en la **Figura 10**.

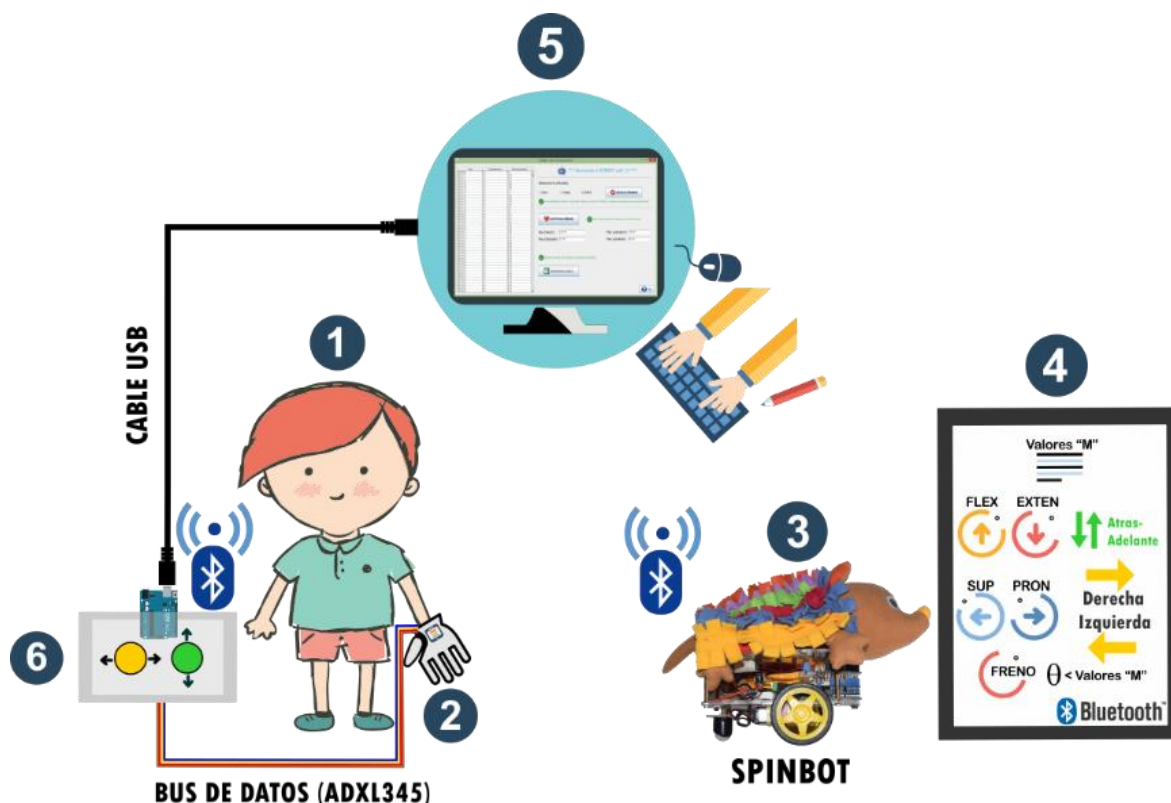


Figura 10. Diagrama en bloques del arreglo experimental del ambiente robótico lúdico.

En la **parte 1**, se encuentra el paciente y en este caso: El usuario en condición de discapacidad, quien es el objetivo primordial en cualquier desarrollo de rehabilitación robótica. La **parte 2**, consistió en la adaptación de un guante didáctico fabricado de algodón, en el miembro superior lesionado del paciente. Este módulo fue utilizado debido a la necesidad de medir ángulos activos de movilidad, que permitieran el control de una plataforma robótica en un ambiente lúdico controlado. Por esta razón, el guante se instrumentó con un acelerómetro digital ADXL345 de la empresa Analog Devices [84], el cual resuelve la necesidad de medir en tiempo real los ángulos activos de movilidad; tales como: flexoextensión de muñeca y pronosupinación de antebrazo. Los ángulos sensados debieron ser procesados, y por esta razón se estableció la comunicación necesaria con el módulo de control mediante protocolo SPI (*del inglés: "Serial Peripheral Interface"*). El acelerómetro ADXL345, es un circuito encapsulado e integrado en la tarjeta *Breakout board* de Sparkfun de la **Figura 11**, que necesita un voltaje de trabajo de 3.3 v (LV), a diferencia de otras tarjetas que funcionan a 5 v (HV).

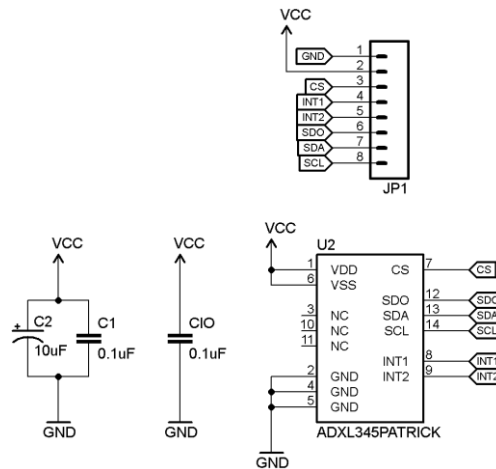


Figura 11. Esquemático de la tarjeta *Accelerometer Breakout ADXL345* de SparkFun

Por lo tanto, para este proyecto se debió diseñar e implementar un circuito impreso de acondicionamiento de la tarjeta *Breakout ADXL345*, que permitiera el acople con el módulo de control, compuesto de un sistema que funciona con niveles lógicos (0-5 v). En la siguiente figura se presenta el esquemático que, además sirvió para conectar el **BUS DE DATOS (ADXL345)** del diagrama en mención, entre el guante didáctico y el módulo de control.

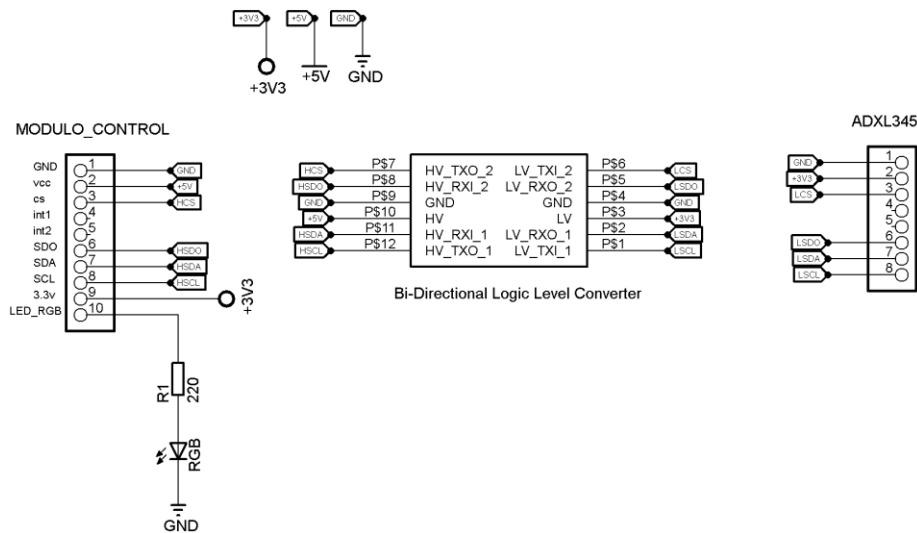


Figura 12. Esquemático de la tarjeta diseñada en este proyecto: Circuito de acondicionamiento de señal para el acelerómetro ADXL345.

En el diagrama en mención, las medidas de ángulos activos hechas en la **parte 2**, se utilizan como comandos para conducir en la trayectoria deseada, la plataforma robótica de la **parte 3**. Por otro lado, un diagrama de bloques de los componentes de hardware de esta plataforma diseñada, implementada y evaluada en este proyecto se puede ver en la **Figura 13**, donde se pueden observar los diferentes etapas del hardware electrónico del SPINBOT.

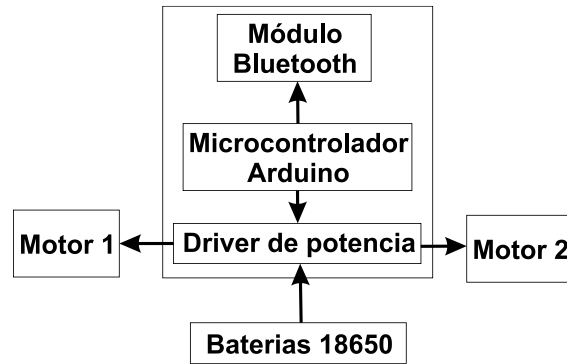


Figura 13. Diagrama en bloques del sistema electrónico del SPINBOT.

La generación de la trayectoria en la dimensión XY, se logró a través de un protocolo implementado en un microcontrolador ATmega328, que va integrado en la plataforma electrónica y de programación en arquitectura abierta llamada: Arduino. En la **Figura 14**, se presenta el diagrama de flujo correspondiente; en primer lugar se hace el llamado de los archivos de cabecera necesarios, la configuración de los puertos usados como salidas y entradas respectivamente, después se inicializa la comunicación Bluetooth y se deja el sistema a la espera de recibir datos.

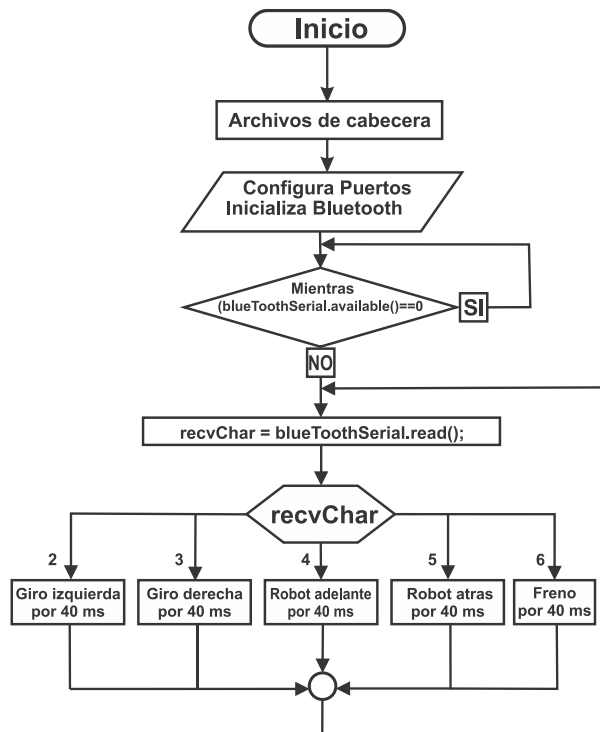


Figura 14. Diagrama de flujo para el protocolo generador de trayectoria del sistema de procesamiento ubicado en la plataforma SPINBOT.

Este protocolo permanece en un ciclo WHILE, esperando instrucción en el microcontrolador. Cuando se detecta un dato por la función **blueToothSerial.available()**, entonces ingresa a una sentencia CASE, en esta sentencia, si se envía desde el módulo de control el valor 2 almacenado en **recVchar**, se energizan los motores para girar el robot hacia la izquierda. Si **recVchar** es 3 produce un giro hacia la derecha, para **recVchar** 4 se genera la trayectoria Y positiva (*robot adelante*), para **recVchar** 5 se genera la trayectoria Y negativa (*robot atrás*), y para **recVchar** 6 el robot frena. Cada función que genera la trayectoria se ejecuta por 40 ms, cada vez que se superan los valores M. El umbral de “valores M” quiere decir: Valores de movimiento. Se calculan obteniendo el 30%, 50% y 90% respectivamente del ángulo máximo. Por encima de estos valores, el SPINBOT se mueve y por debajo permanecerá quieto o en estado de “Freno”. Estos porcentajes fueron seleccionados por el fisioterapeuta, según la experiencia adquirida en el tratamiento de este tipo de lesiones y de los objetivos físicos a lograr.

El generador de trayectoria, en realidad es un conjunto de elementos compuesto por 2 sistemas de procesamiento basado en el microcontrolador ATmega328; uno ubicado en el módulo de control y otro en la plataforma SPINBOT.

Como ya se ha comentado, en el diagrama de bloques de la **Figura 13**, se puede ver también el módulo de driver de potencia encargado de brindar la energía requerida por los motores para su funcionamiento. En este proceso se utilizó Arduino Motor Shield, basado en el puente H de referencia L298, el cual está diseñado para impulsar cargas inductivas tales como relés, solenoides, motores DC y motores paso a paso. Este permite manejar dos motores de corriente continua con la tarjeta Arduino, controlando la velocidad y la dirección de cada uno independientemente. También el L298 puede medir la absorción de corriente de cada motor, entre otras características. En la **Figura 15** se presenta el esquemático correspondiente.

Finalmente, en la **Figura 13** se tiene el módulo Bluetooth, encargado de ofrecer comunicación serie inalámbrica (*entre el SpinBOT y el módulo de control*) y un par de baterías recargables con tecnología de ion litio y de voltaje de salida 3.7V, 4000 mAh, que brindan la energía requerida para el funcionamiento del robot. Igualmente, se pueden ver los motores con las siguientes características: Un voltaje de funcionamiento sugerido de 4.5V DC, velocidad sin carga de 90 ± 10 rpm y un torque máximo de: 800 gf.cm.

Retomando el diagrama de la **Figura 10**, se presenta el protocolo de terapia en la **parte 4**, el cual se utilizó para desarrollar una serie de actividades lúdicas, usando el miembro superior. Este se basó en 3 tareas de diferentes niveles de dificultad en función del nivel de la condición de la lesión. La **parte 5**, se compuso de las herramientas necesarias para evaluar la actividad, como una herramienta de visualización y un computador. Esta herramienta se implementó en un entorno de desarrollo integrado y libre llamado NetBeans, en lenguaje de programación Java. En la **Figura 16** se puede observar el diagrama de flujo del software gráfico desarrollado. Además, con el fin de desarrollar este programa y definir aspectos de interés en

la evaluación de la actividad, se tuvo la asesoría especializada de varios profesionales, especialmente de Adriana M. Ríos Rincón [85][86], terapeuta ocupacional y docente de la Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud de la Universidad del Rosario. También Laura A. Cardona Fisioterapeuta y MSc. en Neurorehabilitación. De esta reunión se recopilieron los siguientes requerimientos:

1. Que se puedan grabar los ángulos que logra el paciente en cada sesión, poder exportar a un archivo en Excel o un archivo similar.
2. Que se pueda contar el tiempo que se demora el niño haciendo la actividad.
3. La evaluación de la actividad debería decir cuántos grados logró en paciente en esa actividad, cuanto avanzó en cada terapia, cuanto tiempo avanzó en hacer el laberinto, *(la repetición consolida una habilidad)*.
4. Que el programa permita hacer un diagrama tipo “plot”, eje Y (ángulos con fecha) eje X (días o semanas), o bien hacerlo manualmente con los datos guardados.

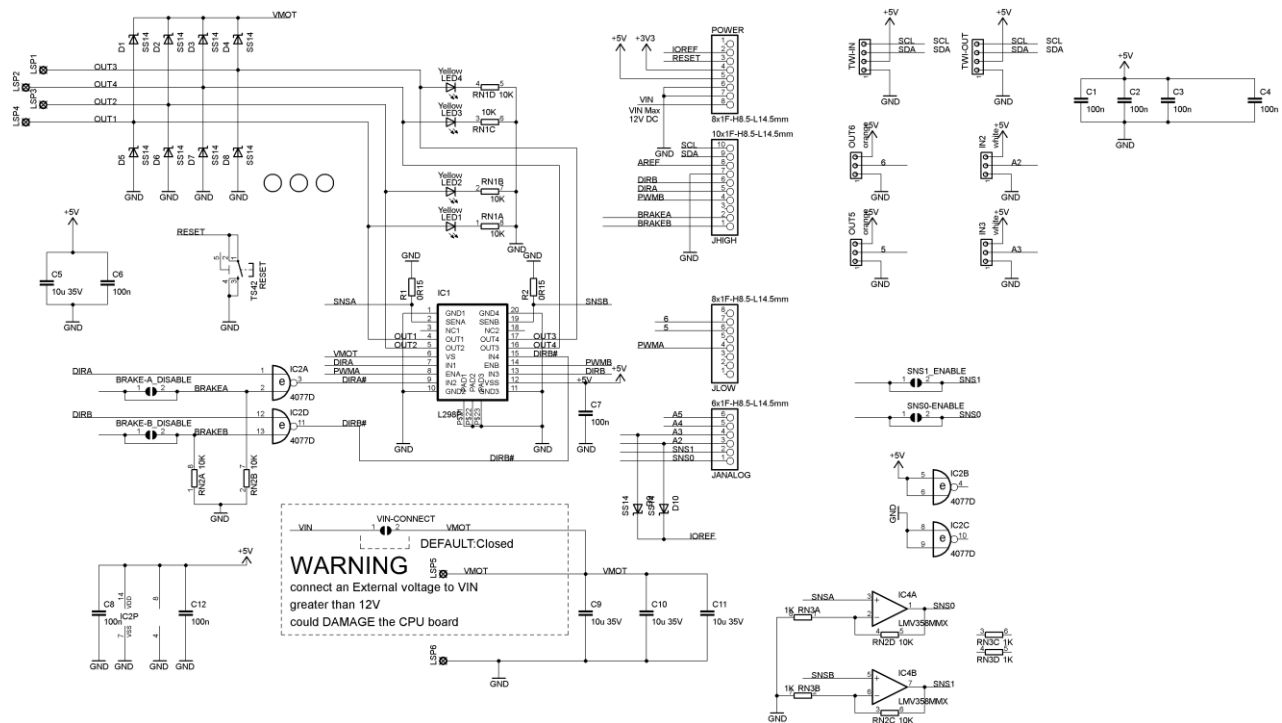


Figura 15. Esquémico de la tarjeta Motor Shield para Arduino Rv. 3

Por lo tanto, algunas recomendaciones se tomaron en cuenta y la herramienta de visualización en su primera versión se denominó: SpinBOT soft 1.0. Su funcionamiento básico consiste en lograr la comunicación serie, donde se utilizó la librería Arduino v2.5.0.jar desarrollada por Panamá Hitek Creative Team [87], que cuenta con los métodos necesarios para la comunicación. EL método ArduinoRX(), se usa solamente para recibir datos en Java. ArduinoTX(), se usa solamente para transmitir datos y ArtuinoRXTX(), para transmitir y recibir datos en Java. El manual de usuario descriptivo para esta herramienta de

visualización puede ser visto en **Anexo 1**. Los tres métodos tienen parámetros que se deben establecer a la hora de utilizarlos. En todos hay que establecer el puerto COM al que está conectado Arduino (*ejemplo: “COM2”*), el baudRate (*que debe ser igual al establecido en el Serial.begin() en Arduino*), un timeOut (*tiempo de espera entre el inicio de la conexión y el envío/recepción de datos*) y en algunos casos un objeto `SerialPortEventListener` para detectar cuando se han enviado datos de Arduino a Java. Cuando es necesario enviar datos de Arduino a Java, se utiliza un objeto de la clase ***SerialPortEventListener***, el cual requiere de la implementación de un método abstracto, `SerialEvent()`. El `SerialEvent()` se ejecuta cada vez que se recibe un dato en el Puerto Serie.

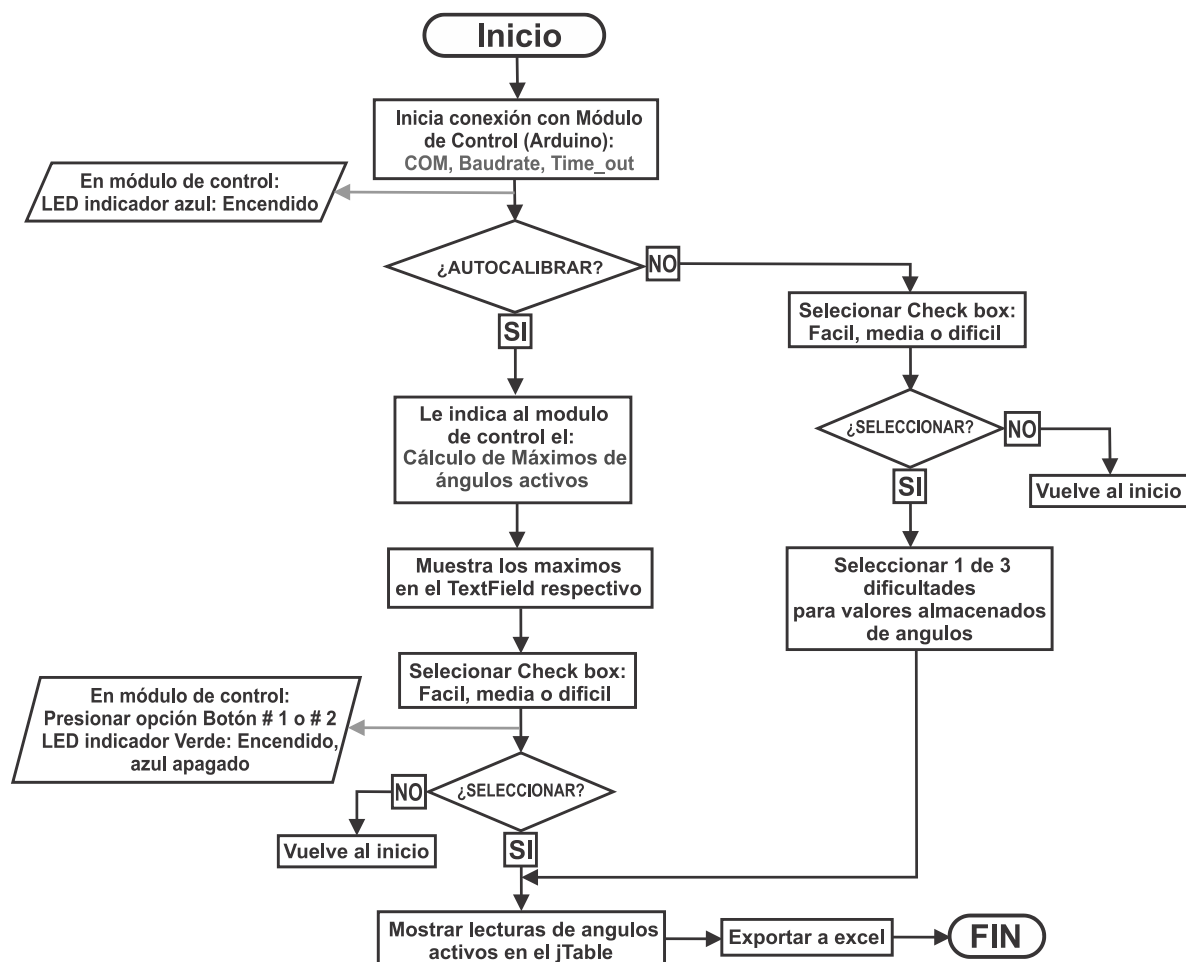


Figura 16. Diagrama de flujo de la herramienta de visualización

En general, cuando el programa inicia la conexión con el módulo de control, este se puede utilizar de dos maneras: 1) AUTOCALIBRAR, donde se ordena al módulo de control “Calcular los máximos y mínimos”. Esto le da 30 segundos al paciente, para realizar los movimientos respectivos, que quedaran registrados y visualizados en pantalla una vez se termine. 2) Seleccionar la dificultad en los Check Box: Fácil, Media y Difícil; donde el sistema funcionará con ángulos máximos ya almacenados, estos pueden ser elegidos

previamente. Cualquiera de las 2 opciones mencionadas, al ser seleccionadas; esperan que alguno de los dos botones disponibles en el módulo de control sean presionados, e inicia el proceso de lectura y almacenamiento de los ángulos. Cuando termina, la herramienta da la posibilidad de enviar un histórico del desempeño en formato Excel. El diseño final de la herramienta de visualización construida en este proyecto puede ser visto en la **Figura 26**.

Finalmente, la **parte 6** es el módulo de control del sistema. Este está compuesto por: 2 botones indicadores de trayectoria, una tarjeta denominada “Control SpinBOT 2016 V-1” y una caja hecha en acrílico como interfaz para los botones. La tarjeta de control es un sistema de procesamiento basado en un microcontrolador ATmega328, que va integrado en la plataforma electrónica Arduino. El diagrama de flujo necesario para la programación de la tarjeta “Control SpinBOT 2016 V-1”, se muestra en la **Figura 17**, que además hace parte del protocolo generador de trayectoria, y lectura del acelerómetro ADXL345.

El voltaje necesario para el funcionamiento de la tarjeta de control, se suministra a través del puerto USB. Esta tarjeta va atornillada a la caja de acrílico. Por otro lado, se decidió agregar botones como recomendación de los terapeutas porque; además, a través del uso de botones los niños con discapacidad también pueden ser capaces de manipular objetos e involucrarse en actividades como típicamente lo hacen niños sanos. Esto les permite tener la oportunidad de desarrollar habilidades de tipo cognitivo, social, lingüísticas y motoras [88]. El diagrama esquemático de la tarjeta “Control SpinBOT 2016 V-1” se presentan en la **Figura 18** y el diseño final de esta tarjeta se presenta en la **Figura 24.b**.

Una vez desarrolladas las actividades descritas anteriormente, se realizaron las pruebas en la Asociación ABRAZAR, ubicada en Calarcá/Quindío. Cuando se culminaron, se elaboró el presente informe y se sintetizaron los resultados de cada experimento. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

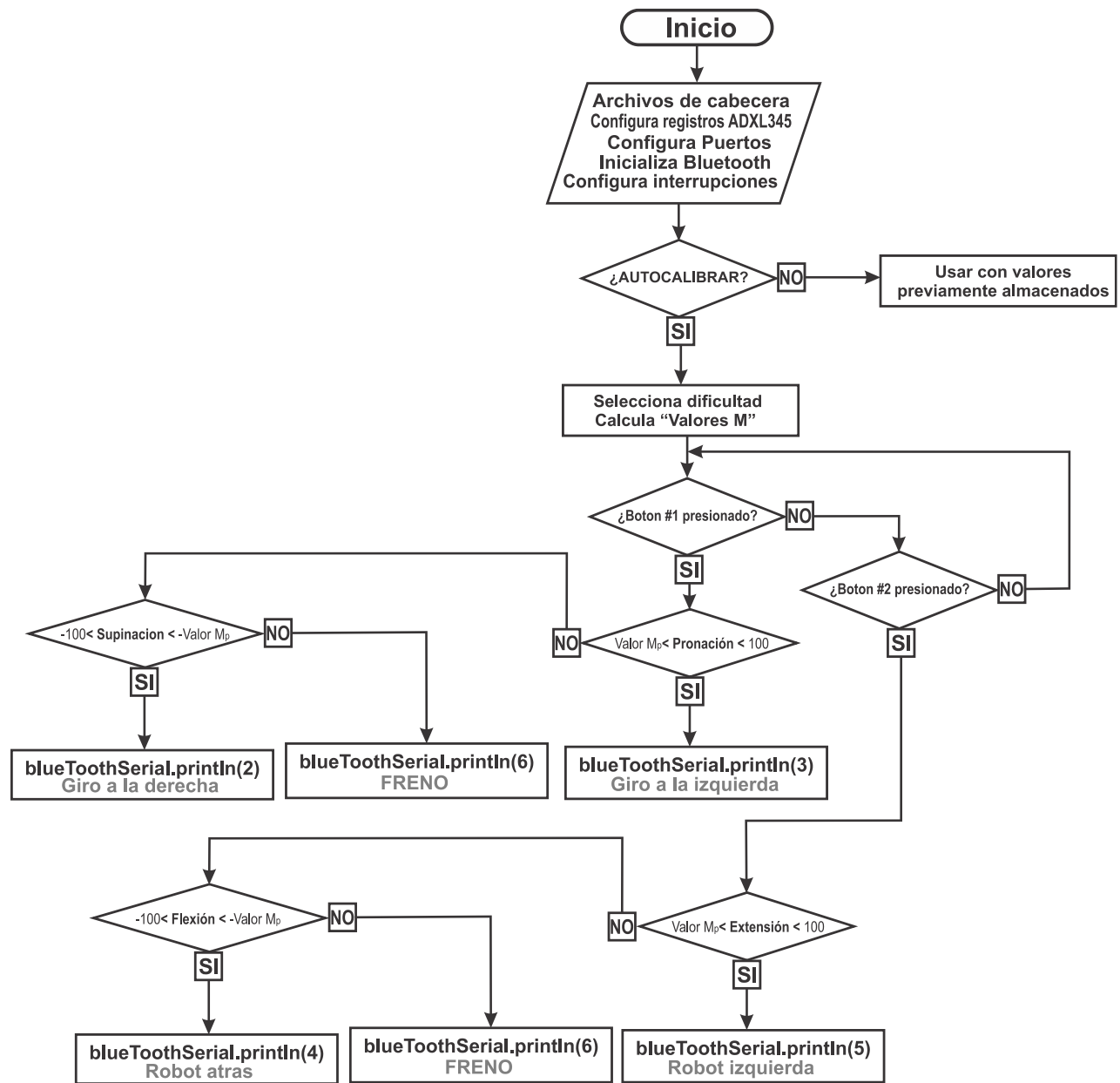


Figura 17. Diagrama de flujo del protocolo generador de trayectoria de la tarjeta Control SpinBOT 2016 V-1 diseñada en este proyecto.

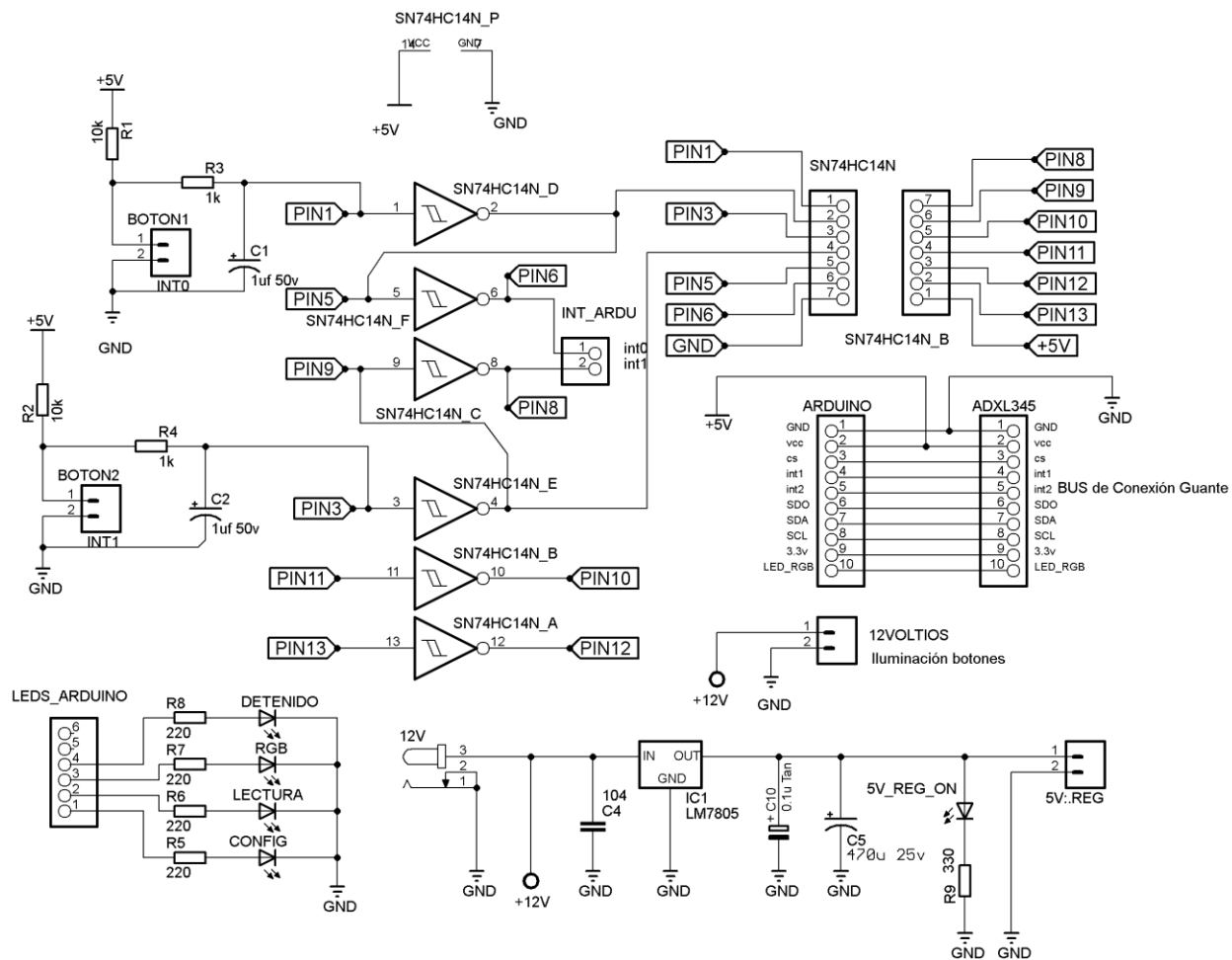


Figura 18. Esquemático de la tarjeta “Control SpinBOT 2016 V-1” diseñada en este proyecto.

Desarrollo de la terapia con el ambiente SpinBOT: Pruebas y resultados

4.1 Protocolo de experimentación

El protocolo de experimentación implementado para el estudio y selección de las tareas a desarrollar mediante el ambiente robótico lúdico, tuvo como objetivos [69]:

- Permitir la repetitibilidad de los experimentos.
- Buscar la adaptabilidad al usuario final y su seguridad.
- Optimizar el consumo energético.
- Garantizar la aceptabilidad de la tecnología por terapeutas e instituciones especializadas en rehabilitación.

4.1.1 Descripción de los usuarios: Criterios de inclusión y exclusión

La población de sujetos a considerar como usuarios potenciales del estudio, la conformaron los integrantes del equipo de prestación de servicios y pacientes con discapacidad del miembro superior, y padres o acudientes de estos, que son atendidos en la Asociación Abrazar ubicada en Calarcá Departamento del Quindío. Se consideró seleccionar una muestra de 4 pacientes para participar como sujetos de este estudio. Se dividió en 2 grupos, en un grupo estuvieron 2 sujetos humanos (*grupo objetivo*) con lesión del miembro superior y con capacidad de entender dos órdenes para controlar el sistema: 1) Presionar dos botones para escoger adelante-atrás o izquierda-derecha, 2) Realizar movimiento de flexión-extensión de muñeca y pronación-supinación de antebrazo para hacer avanzar el robot en la dirección escogida. Por otro lado, en el segundo grupo se tuvo 2 pacientes con características similares

(grupo de control). Se vincularon pacientes con edades comprendidas entre la 12 a 17 años [89], que sufren de parálisis cerebral con alteraciones motrices en miembro superior, como hemiparesia o hipotonía del miembro superior y en condiciones mentales saludables. Fue indiferente el sexo, el grupo étnico o las ideologías, y su vinculación debió darse de manera voluntaria. No se vincularon pacientes con espasticidad severa en el miembro superior, es decir, músculos tensos y rígidos que no permitieran realizar la terapia o presentaran dificultad para acoplarse a los diferentes módulos del sistema. También pacientes con rigidez articular, o pacientes con articulación congelada, que en vez de terapias requieran intervención quirúrgica. No se vincularon pacientes con heminegligencia del miembro superior, tampoco con hemiplejía por ser la parálisis total del miembro afectado. Además, no se vincularon pacientes con ángulos activos de movilidad de muñeca y antebrazo insuficientes, es decir ángulos menores a 30°. En la **Tabla 2** se presenta una descripción de los pacientes que participaron, donde los sujetos P1 y P2 corresponden al grupo objetivo, y los sujetos P4 y P5 corresponden al grupo de control, con quienes se hizo la comparación del desempeño de las terapias tradicionales, frente a las terapias con el sistema robótico.

Tabla 2. Descripción breve de los pacientes participantes del estudio

	Edad	Diagnostico	Habilidades Cognitivas	Habilidades sociales	Contexto Educativo	Grupo control/ objetivo	Brazo seleccionado
P1	12	Parálisis cerebral Espástica	Muy receptivo. Le cuesta distinguir izquierda o derecha	Muy amigable, le gusta el dialogo y socializar con los desconocidos	Escolarizado con adaptación curricular.	GO	Derecho.
P2	17	Hemiparesia e hipotonía de miembro superior.	Le cuesta vocalizar. Le gusta involucrarse en el desarrollo de tareas.	Es amable, muy social y le encanta compartir y cantar en voz alta.	En institución de educación especial.	GO	Izquierdo.
P3	13	Hemiparesia	Muy receptivo, presenta un nivel cognitivo apropiado a su edad.	Muy social, disfruta la interacción con otras personas.	Escolarizado.	GC	NA.
P4	15	Hemiparesia	Le cuesta vocalizar. Le gusta involucrarse en el desarrollo de tareas.	Alegre pero no siempre se relaciona con facilidad.	En institución de educación especial.	GC	NA.

4.1.2 Criterios de Selección de las tareas

Para la selección de las tareas desarrolladas con el ambiente robótico lúdico propuesto en este proyecto, fue necesario tener en cuenta los siguientes parámetros:

- ✓ **Seguridad:** Para diseñar el ambiente robótico lúdico se tuvo en cuenta las normas de seguridad propuestas en la norma ISO TC 184/SC 02/WG 7 (*Personal care safety*) y ISO TC 184/SC 02/WG 8 (*Service robots*), generando un nivel de riesgo mínimo y un nivel de seguridad prioritario para los niños con discapacidad motriz.
- ✓ **Tareas con un sistema interactivo y lúdico:** La ejecución de tareas para pacientes pediátricos debe incluir el grado de motivación o de gratificación, además se hace importante el uso de reforzadores positivos para lograr un mejor desempeño.
- ✓ **Complejidad de la tarea:** Las tareas a desarrollar para rehabilitación del miembro superior deben ser desafiantes, con un nivel de dificultad alto, involucrando la mayor cantidad de patrones y componentes de rehabilitación. La sensibilidad del robot debe escogerse para que el niño pueda realizar la actividad sin frustrarse.
- ✓ **Tiempo de ejecución de la tarea:** Se pudo establecer por el análisis de desempeño del estudio piloto en su línea base los tiempos mínimos de duración. También, se está sujeto a aspectos técnicos como la duración de la carga de la pila del robot dada en mAh.
- ✓ **Carga cognitiva para ejecutar la tarea:** Para determinar el nivel de carga cognitiva se puede utilizar el estudio propuesto por Forman [97] (descrito más adelante), donde se presentan el tipo de habilidades necesarias para desarrollar con el ambiente robótico lúdico. Además, se tomó en cuenta el estudio inicial de los terapeutas, quienes decidieron incluir o no un paciente determinado.

4.1.3 Instrumentos para recolección y análisis de la información

Como instrumentos para la recolección de información, se realizaron entrevistas a los pacientes y acudientes, mediante un instrumento suministrado por terapeutas ocupacionales y fisioterapeutas, el cual puede ser visto en el **Anexo 2**. Para evaluar la usabilidad de la interfaz de software, y del ambiente robótico lúdico, se utilizó la escala de usabilidad SUS (*del inglés: "System Usability Scale"*) [90], que corresponde al **Anexo 3**. Para la observación y evaluación de los desempeños en las metas propuestas, se aplicó la evaluación por objetivos (*del inglés: "GAS, Goal Attainment Scaling"*) [91], que puede ser vista en el **Anexo 4**. También, para recolectar la información de las actividades con el ambiente robótico lúdico en cada sesión, se usó el instrumento del **Anexo 5**, elaborado por el investigador principal y terapeutas. Todos los instrumentos usados en este proyecto son de libre uso, y han sido validados.

Una vez obtenida la información se debió hacer el procesamiento. Esto se hizo en varios pasos: 1) Revisión y organización de la Información, 2) Clasificación y Compilación de los datos, 3) Presentación mediante gráficos y tablas, 4) Análisis de los resultados.

4.2 Ambiente robótico lúdico experimental para la rehabilitación de niños con lesión del miembro superior

El ambiente robótico lúdico diseñado en este proyecto, para la rehabilitación del miembro superior, cuenta con tres modos de operación que corresponden al nivel de dificultad:

1. Modo fácil: En esta dificultad el paciente debe conducir la plataforma robótica SPINBOT desarrollando la tarea asignada. Para lograr esto deberá realizar ángulos activos superiores al 30%, de sus ángulos máximos medidos al inicio de cada sesión (*pronosupinación de antebrazo y flexoextension de muñeca*).
2. Modo medio: En esta dificultad el paciente debe conducir la plataforma robótica SPINBOT desarrollando la tarea asignada. Para lograr esto deberá realizar ángulos activos superiores al 50%, de sus ángulos máximos medidos en inicio de cada sesión (*pronosupinación de antebrazo y flexoextension de muñeca*).
3. Modo difícil: En esta dificultad el paciente debe conducir la plataforma robótica SPINBOT desarrollando la tarea asignada. Para lograr esto deberá realizar ángulos activos superiores al 90% de sus ángulos máximos medidos en inicio de cada sesión (*pronosupinación de antebrazo y flexoextension de muñeca*).

Asimismo, un paso importante antes de realizar las tareas propuestas en cada sesión fue realizar el proceso denominado: “Auto calibración”. Este consiste en medir el ángulo activo máximo de pronación y supinación de antebrazo; así como flexión y extensión de muñeca. Esta opción fue posible seleccionarla en la herramienta de visualización denominada SpinBOT soft 1.0, mediante el botón **AUTOCALIBRAR**. El proceso de auto calibración es muy importante porque permite obtener en tiempo real y almacenar los valores de ángulos que servirán para calcular el umbral donde el robot se mueve o permanece quieto, estos valores son denominados: “**Valores M**”. El umbral de valores M es diferente para cada nivel de dificultad, y se calcula obteniendo el 30%, 50% y 90% respectivamente del ángulo máximo. Por encima de estos valores el SPINBOT se mueve y por debajo permanecerá quieto o en estado de “Freno”. Una síntesis del proceso de auto calibración se presenta en el diagrama de flujo de la **Figura 19**.

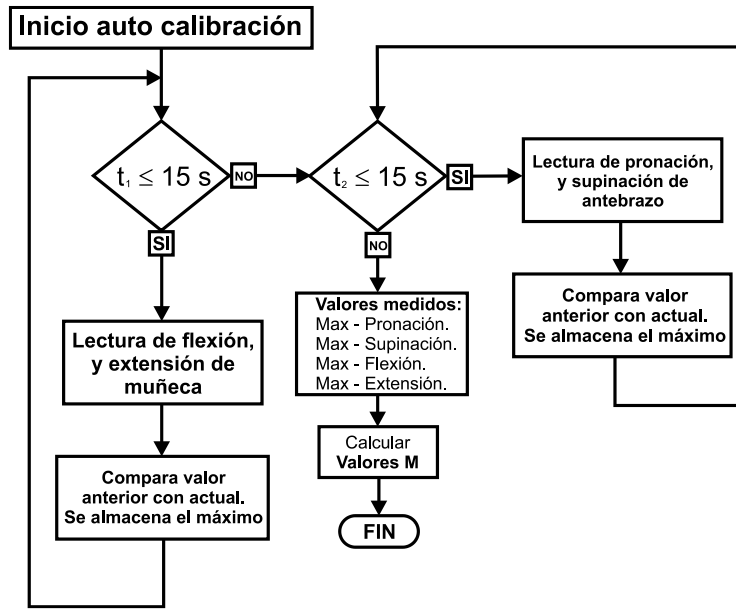


Figura 19. Diagrama de flujo de la rutina de auto calibración

De esta manera en la **Figura 20**, se presenta el diagrama de flujo correspondiente al procedimiento que se debe seguir para desarrollar cada tarea propuesta. Donde se aprecia que una vez calculados los máximos y mínimos para cada ángulo de interés, el módulo de control realiza el cálculo de los valores M correspondientes y los almacena en su memoria temporal, como es: El ángulo activo de pronación (*Valor M_P*), el ángulo activo de supinación (*Valor M_S*), el ángulo activo de flexión (*Valor M_F*) y el ángulo activo de extensión (*Valor M_E*). Una vez realizado este paso, el operador del sistema debe seleccionar la dificultad en la herramienta de visualización teniendo tres opciones disponibles: Fácil, medio o difícil. Esto permite que el ambiente robótico quede en modo de espera hasta que el paciente presione uno de los dos botones disponibles en el módulo de control que se muestra en la **Tabla 3** (*botón 1-amarillo, botón 2-verde*), que permiten habilitar la trayectoria deseada.

Tabla 3. Botones disponibles en el módulo de control para seleccionar la trayectoria

Botón	Movimientos	Comando en el SPINBOT
 Botón #1	Pronación antebrazo	Mano derecha – Robot hacia la izquierda (←) Mano izquierda – Robot hacia la derecha (→)
	Supinación antebrazo	Mano derecha – Robot hacia la derecha (→) Mano izquierda – Robot hacia la izquierda (←)
 Botón #2	Flexión muñeca	Robot Adelante (↑)
	Extensión muñeca	Robot Atrás (↓)

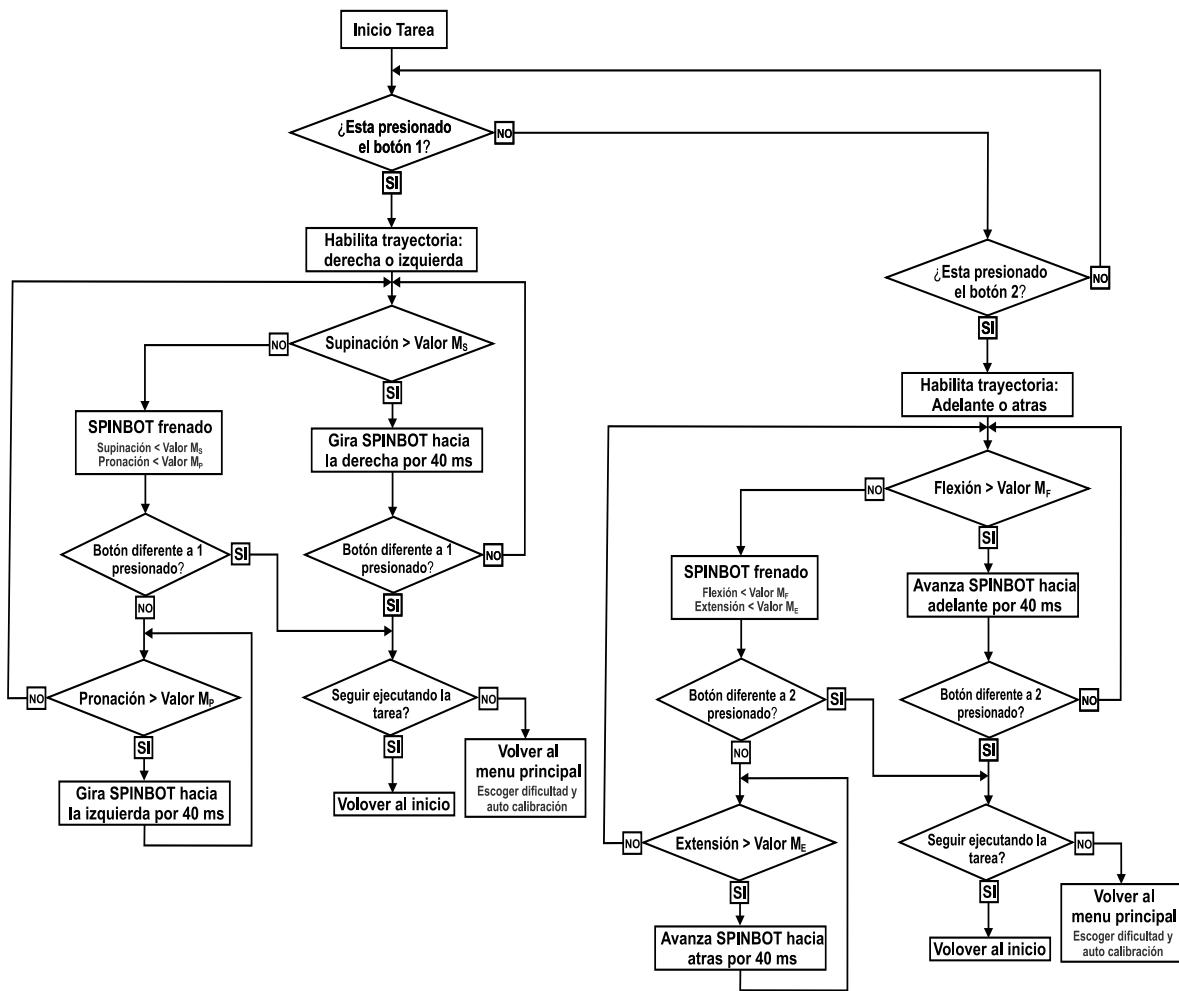


Figura 20. Diagrama de flujo para el control del ambiente robótico lúdico (mano derecha), en el desarrollo de las tareas planteadas

Por otro lado, mediante una reunión previa al desarrollo del proyecto con dos fisioterapeutas, dos ingenieros electrónicos y un terapeuta ocupacional, se definieron varios aspectos como: Las tareas para desarrollar con el ambiente robótico, el porcentaje del umbral de los valores M , la población pediátrica posible para el proyecto; así como, los criterios de inclusión y exclusión. Además, algunas aportes importantes para definir aspectos como: Las pruebas de casa sesión, evaluación de objetivos y el protocolo usados en este proyecto, se tomaron de algunos estudios y revisiones sistemáticas como los presentados por Cook y colaboradores [92][93], Wood y Lathan [94]; así como Acevedo et al [69]. También, mediante asesoría con María Florencia Velasco de Martínez presidente del Comité Institucional de Revisión de Ética Humana de la Universidad del Valle, se realizaron aportes muy valiosos debido a la naturaleza del problema y el campo terapéutico al que pertenece. En este orden de ideas, se plantearon 3 tareas para la realización de las pruebas con el ambiente robótico lúdico:

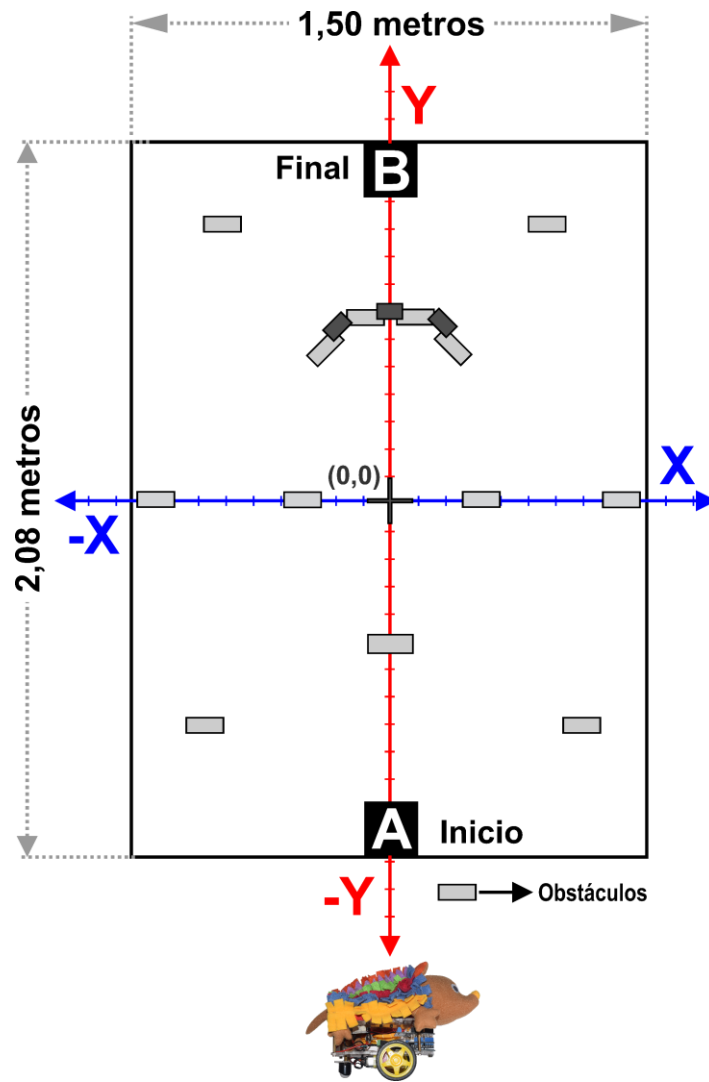


Figura 21. Pista para la navegación del vehículo semi-utónomo SPINBOT

Tarea 1: El paciente le indicó la dirección al robot presionando uno de los siguientes botones disponibles en el módulo de control: Botón 1 de color amarillo indica, izquierda-derecha; botón 2 de color verde, indica adelante-atrás. Luego, el paciente debió conducir el SPINBOT por la pista que se presenta en la **Figura 21**, chocando el menor número de obstáculos y llevándolo de A hasta B mediante ángulos activos de pronosupinación de antebrazo y flexoextensión de muñeca, mayores al 30% que los máximos calculados en el proceso de Auto calibración. De esta manera, para finalizar debió derribar una pila de bloques de colores ubicada en B.

Tarea 2: El paciente le indicó la dirección al robot presionando uno de los siguientes botones disponibles en el módulo de control: Botón 1 de color amarillo indica, izquierda-derecha; botón 2 de color verde, indica adelante-atrás. Luego, el paciente debió conducir el SPINBOT por la pista que se presenta en la **Figura 21**, chocando el

menor número de obstáculos y llevándolo de A hasta B mediante ángulos activos de pronosupinación de antebrazo y flexoextension de muñeca, mayores al 50% que los máximos calculados en el proceso de Auto calibración. De esta manera, para finalizar debió derribar una pila de bloques de colores ubicada en B.

Tarea 3: El paciente le indicó la dirección al robot, presionando uno de los siguientes botones disponibles en el módulo de control: Botón 1 de color amarillo indica, izquierda-derecha; botón 2 de color verde, indica adelante-atrás. Luego, el paciente debió conducir el SPINBOT por la pista que se presenta en la **Figura 21**, chocando el menor número de obstáculos y llevándolo de A hasta B mediante ángulos activos de pronosupinación de antebrazo y flexoextension de muñeca, mayores al 90% que los máximos calculados en el proceso de Auto calibración. De esta manera, para finalizar debió derribar una pila de bloques de colores ubicada en B.

4.3 Procedimiento para la intervención

Antes del inicio de este proyecto, se presentó la documentación necesaria al Comité Institucional de Revisión de Ética Humana de la Universidad del Valle en 2016, para su revisión y determinar el nivel de riesgo mínimo (código 221 - 016). El acta de aprobación se encuentra en el **Anexo 6**.

Los pacientes se reclutaron mediante una reunión promocional con profesionales de la Asociación ABRAZAR, ubicada en el municipio de Calarcá en el departamento del Quindío. Se realizó una reunión de 60 minutos de duración, donde el investigador principal en compañía de los profesionales de Abrazar, expuso el proyecto y se buscó personas interesadas en participar. Se preguntó a los padres o acudientes de los candidatos su disposición a participar en la investigación; además, se entregó la información por escrito donde se explicó el objeto de la investigación y se realizó una demostración del sistema. Aquellos acudientes, padres o cuidadores interesados firmaron el consentimiento informado de conformidad con las directrices éticas aprobadas. Este documento quedó en formato físico y guardado por el investigador principal en la documentación del proyecto.

Una vez seleccionada la población, se dividió en 2 grupos. En un grupo había 2 sujetos humanos (*grupo objetivo*) con lesión del miembro superior, con quienes se hizo la intervención usando el SpinBOT y en un segundo grupo, 2 pacientes con características similares (*grupo de control*), quienes siguieron el tratamiento con las terapias tradicionales. Las intervenciones de las terapias se realizaron 2 veces por semana, durante 4 semanas. Cada terapia tuvo una duración aproximada de 50 minutos. Además, estas sesiones se realizaron por el investigador principal del proyecto en compañía de dos fisioterapeutas, así como los acudientes de los pacientes, en los horarios que ya venían asistiendo a sus terapias en la Asociación ABRAZAR.

La intervención empezó colocando en la mano lesionada del paciente un guante de algodón (*guante didáctico*), con el que condujo una plataforma robótica tipo vehículos semi-autónomo, denominado SPINBOT, que fue controlado con movimientos de pronosupinación de antebrazo y flexoextensión de muñeca, indicando la dirección adelante–atrás o izquierda-derecha. De esta manera el SPINBOT fue conducido a través de una pista intentando no chocar los obstáculos.

Por otro lado, antes del inicio de las intervenciones de las terapias, se hizo un estudio piloto del ambiente robótico, donde el paciente debía darle un nombre al SPINBOT para generar mayor empatía con el robot [95]; por esta misma razón se escogió un puercoespín para disfrazar la plataforma robótica, además de generar interés y confianza en los pacientes, padres o cuidadores.

Una vez realizada la prueba piloto, se estableció un cronograma semanal y se dieron inicio a las intervenciones de las terapias, siguiendo los pasos siguientes por cada sesión:

- a. **Parte 1: Preparación previa**, donde se hace estiramiento del miembro superior del paciente. Establecer si el paciente comprendió cómo funcionan los botones y el guante, en general se hace una sola vez al inicio o las veces que se necesite antes de cada intervención, pero lógicamente con un tiempo menor. **Duración:** 15 minutos.
- b. **Parte 2: Calibración del sistema**, donde se hace el cálculo de los valores M correspondientes a: El ángulo activo de pronación (*Valor M_P*), el ángulo activo de supinación (*Valor M_S*), el ángulo activo de flexión (*Valor M_F*) y el ángulo activo de extensión (*Valor M_E*). Después de realizar el cálculo, estos valores son almacenados en la memoria temporal del módulo de control. **Duración:** 5 minutos.
- c. **Parte 3: Desarrollo de la terapia**. En cada sesión el paciente se colocó el guante didáctico de algodón. Se le dio un reto lúdico compuesto por 3 tareas (*5 minutos de descanso entre cada una*) que deberá resolver utilizando los ángulos activos de movilidad articular, que se usaron para controlar de manera inalámbrica la plataforma SPINBOT. El paciente contó con dos botones para seleccionar la trayectoria del robot. Los pacientes con discapacidad del miembro superior debieron realizar acciones de control sobre el SPINBOT mediante un guante didáctico, ubicado en la mano lesionada, usado para realizar el cálculo de los ángulos activos de flexión y extensión de muñeca; así como pronación y supinación de antebrazo. El objetivo fue proponer un problema a los pacientes para que fuera solucionado por medio del robot a manera de juego. **Duración:** 30 minutos.
- d. **Parte 4: Observación de desempeño**. Esta parte se desarrolla por el investigador principal y terapeutas acompañantes durante la parte 3. Los ángulos leídos se almacenaron en un histórico (Excel) para su posterior análisis.

El tratamiento de terapias con el sistema se realizó por el Ingeniero Jairo Andrés Acevedo en compañía de los terapeutas que tratan estos pacientes, y quienes estuvieron pendientes de los objetivos a lograr. Además, estos mismos terapeutas hicieron la valoración inicial y final de cada paciente, y los conceptos resultantes, se describen en el presente informe.

4.3.1 Estudio piloto del ambiente robótico lúdico

Se realizó un estudio piloto del tratamiento, realizando un experimento basado en el estudio de Cook et al. [96], donde se le permitió a cada paciente interactuar con los módulos del ambiente robótico lúdico. Además, se pudo especificar generalidades del sistema y de las pruebas a realizar, como la presentación del manual de usuario de la interfaz a los terapeutas. Lo anterior se realizó involucrando a los dos participantes del grupo objetivo. El objetivo de esta prueba previa fue: “Evaluar el desempeño del paciente frente al protocolo de terapia desarrollado para este ambiente robótico lúdico y determinar la línea base de cada paciente”.

Los pacientes debieron desarrollar las 3 tareas descritas, cada una dos veces, con un tiempo límite de 7 minutos por cada una. Fue necesario 5 minutos de descanso entre sesión, además con una sesión de estiramiento de la mano al inicio de la prueba con una duración de 10 minutos. Se hizo necesario calcular a priori los ángulos máximos y mínimos del paciente, que corresponde al proceso de auto calibración del sistema. Después de 7 minutos sin derribar

la torre se debió empezar nuevamente, el número de intentos por cada paciente fue dependiendo de cuán rápido entendieron las instrucciones y el manejo del sistema. No se debió exceder en cantidad el tiempo de 7 minutos por razones técnicas, como lo es el consumo de la batería del robot. Después de las sesiones se aplicó el siguiente cuestionario a los pacientes acerca del funcionamiento del sistema en general, es decir de los botones, del SPINBOT, del módulo de control y del guante didáctico:

Pregunta 1: Cuando el botón Amarillo se presiona, y después se gira el antebrazo como pidiendo una moneda (Supinación) ¿Hacia dónde se movería el SPINBOT?

Pregunta 2: Si el SPINBOT se gira (90° hacia la izquierda) y se presiona el botón verde, y después se mueve la muñeca hacia abajo (Flexión muñeca), ¿Hacia donde iría al SPINBOT?

Pregunta 3: Si el SPINBOT se gira hacia ti, se presiona el botón verde y después se mueve la muñeca hacia arriba (Extensión de muñeca), ¿hacia donde iría al SPINBOT?

Pregunta 4: Cuando el botón Amarillo se presiona, y después se gira el antebrazo al contrario de pedir una moneda (Supinación) ¿hacia dónde puede ir el SPINBOT?

Pregunta 5: Si no tienes el guante puesto, ¿qué sucede si presionas alguno de los botones?

Pregunta 6: Si tienes el guante puesto y no presionas ningún botón, ¿Qué sucederá?

Esta prueba piloto fue desarrollada por el investigador principal en colaboración con 2 fisioterapeutas. Además, los acudientes o cuidadores de los pacientes estuvieron presentes, así como otros miembros del equipo de Abrazar (*psicólogo y un terapeuta ocupacional*). Después de la prueba, se hizo necesario una reunión donde se discutieron los resultados y su relación con los criterios de inclusión en este estudio. Para determinar los valores de la línea base, se tuvo en cuenta los resultados de este estudio piloto; así como, los conceptos de los terapeutas respecto a la pregunta: “¿Qué tan desafiante y motivante puede hacerse una actividad?”; y por supuesto, la valoración inicial realizada.

Este estudio piloto fue muy importante, porque ayudó a determinar la habilidad que tenían los pacientes para seguir las instrucciones y el orden necesario para poder hacer la terapia con el robot. Además de comprobar, otros componentes de rehabilitación que se podrían incluir en estudios posteriores, como aspectos relacionados a la coordinación óculo manual y el desarrollo cognitivo. En este contexto, las habilidades cognitivas que se necesitan para el uso de este ambiente robótico lúdico fueron estudiadas por Forman [97], aunque de manera específica para niños con edades comprendidas entre 3 y 7 años. Estas habilidades se presentan a continuación en la **Tabla 4**, como un análisis descriptivo de las habilidades cognitivas implícitas en este trabajo de investigación, que pueden ser objeto de estudio en proyectos futuros. Sin embargo, se presenta esta información de manera ilustrativa, ya que la prueba se realizó solo con pacientes de 12 y 17 años. Finalmente, en esta prueba piloto se pudieron realizar algunas observaciones importantes, documentadas en la **Tabla 5**. Cada sesión debió ser grabada para su posterior análisis.

Tabla 4. Habilidades relacionadas con el uso de robots [97].

Habilidad	Definición para el uso del robot	Consideraciones de edad	Ejemplos con el SPINBOT
0 - Sin interacción	El niño no muestra interés en el ambiente robótico lúdico.	NA	NA
1 - Causalidad	Entendimiento de la relación entre los movimientos con el efecto resultante.	<3: Años, la acción está en “presionar botones”. Trata de usar los botones que no sirven. >4 : Años entendió que el botón hace que el robot se mueva.	Uso de ángulos activos de movilidad para conducir el robot, uso de botones para dar dirección al robot.
2 - Negación	Un acción que puede ser negada por su opuesto.	4 años: Empieza a entender que un botón determinado detiene el robot.	Relaciona la posición de la mano con el guante didáctico para detener el robot o cambiar de dirección.
3 - Lógica Binaria	Dos efectos opuestos como encendido – apagado.	5-6: años entendieron cómo funcionan 2 botones con efectos contrarios.	Relaciona los movimientos de prono-supinación de antebrazo para girar izquierda/derecha así como flexo-extensión de muñeca para ir adelante/atrás con el robot.
4 - Coordinación de múltiples variables	Movimiento en más de una dimensión para lograr una meta funcional.	5 años: Puede compensar sus movimientos moviendo hacia atrás o adelante.	Movimiento del robot a una posición específica en la dimensión X,Y
5 – Juego simbólico	Hacer creer como real, elementos imaginarios.	6 años: Es posible la planeación de tareas.	Realizar un juego bajo un ambiente de referencia. Ejemplo: Cruzar un bosque con el SPINBOT, recoger el alimento etc.
6 – Resolver problemas	Solución de problemas con un plan – No de prueba error – sino de generación de múltiples posibles soluciones.	7 años: Robot diseñado y pensado para coordinar acciones, fue posible planear, puede entender ordenes simples y corregir errores	Cambiar estrategias para solucionar problemas tal como evadir obstáculos, cambio de tareas para lograr la propia meta del niño.

Tabla 5. Desempeño de los pacientes #1 y #2 en la prueba piloto

Paciente #	1		2		1		2		1		2	
Edad [Años]	12		17		12		17		12		17	
SEXO	M		M		M		M		M		M	
Sesión #	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Dificultad	Fácil		Fácil		Media		Media		Difícil		Difícil	
# de intentos	3	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1
# de clics requeridos en los botones	15	15	10	12	12	14	12	10	16	18	13	9
Promedio # de clics requeridos en los botones	15		11		13		11		17		11	
TAREA 1 - CAUSALIDAD												
#Veces que mueve la mano en la dirección deseada del robot: Botón + (supinación →, pronación ←, flexión ↑, Extensión ↓)	4	3	6	7	4	5	5	9	7	6	7	10
TAREA 2 - NEGACION												
# veces que se detiene para cambiar de dirección	36	27	14	15	28	30	11	14	24	26	10	8
# veces que gira adecuadamente	5	5	8	5	3	4	7	11	4	6	6	13
# veces que retrocede o adelanta adecuadamente	4	3	5	4	9	8	8	10	10	9	7	9
TAREA 3 – SECUENCIACION												
# veces que llega a la meta y derriba la torre de bloques	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
Tiempo [min]	4	5	3.3	3.5	5	6	4.5	3.5	7	6.5	5.5	4.5
Tiempo Promedio [min]	4.5		3.4		5.5		4		6.8		5	

4.4 Resultados

En la **Figura 23** se presenta la plataforma robótica construida en este proyecto. Este robot permitió a un paciente con lesión del miembro superior desarrollar 3 tareas en un entorno controlado, que asociado a software especializado desarrollado en este proyecto de carácter lúdico, permitió mantener una alta motivación del paciente. También se puede observar la disposición del diseño de la plataforma con sus componentes mecánicos y electrónicos. Así mismo, se pueden observar las láminas hechas en acrílico de un espesor de 5 mm, los cuales permitieron ensamblar la estructura atornillando 4 Stanoff metálicos, obteniendo una estructura de dimensiones: 11,09 cm de ancho, 17,62 de largo y 9,5 cm de alto. De igual forma, debido a la necesidad de energizar los motores DC que le permitieron al robot un desplazamiento lineal en los ejes XY, se utilizaron un par de pilas de referencia 18650 de 4000 mAh y la plataforma electrónica Motor Shield para Arduino. Además, para realizar la comunicación inalámbrica entre el módulo de control y la plataforma SPINBOT, se utilizó el módulo Bluetooth Shield para Arduino.

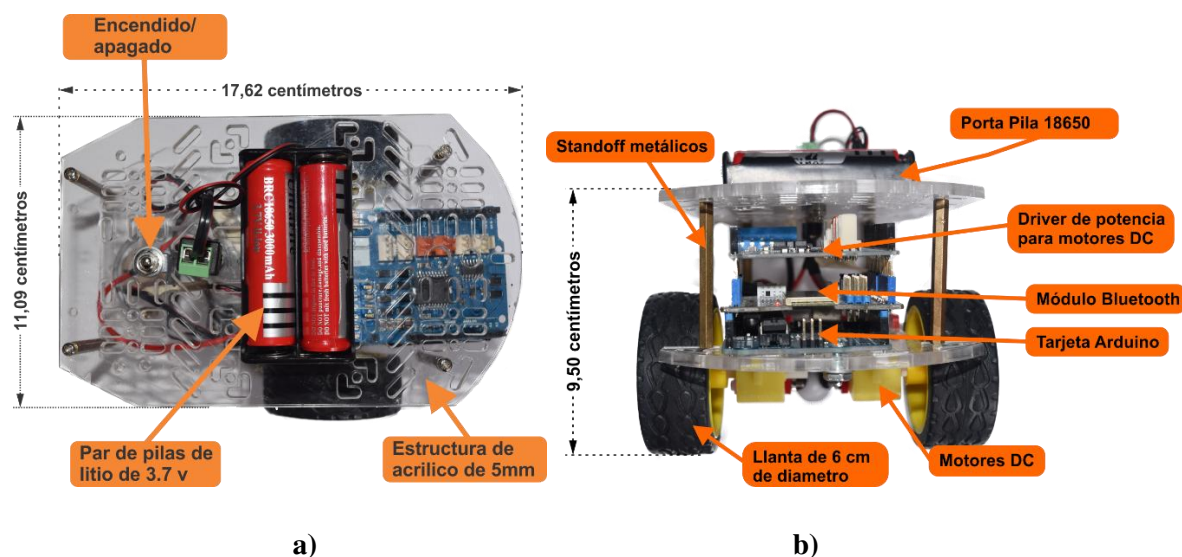


Figura 22. Estructura interna de la plataforma robótica SPINBOT diseñada y construida en este proyecto. **a.** Vista superior **b.** Vista frontal.

Aunque la estructura construida fue funcional; no obstante, por ser un proyecto de rehabilitación en población pediátrica, se le debió dar al robot un aspecto lúdico, que generara empatía con el niño. Por esta razón, se le colocó un puerco espín de colores sobre la estructura, obteniendo un diseño compuesto y de aspecto amigable, facilitando el juego simbólico, el cual permitió la creación de un personaje artificial. En la **Figura 23**, se puede observar el aspecto final de la plataforma robótica desarrollada en este proyecto denominada: **SPINBOT**.

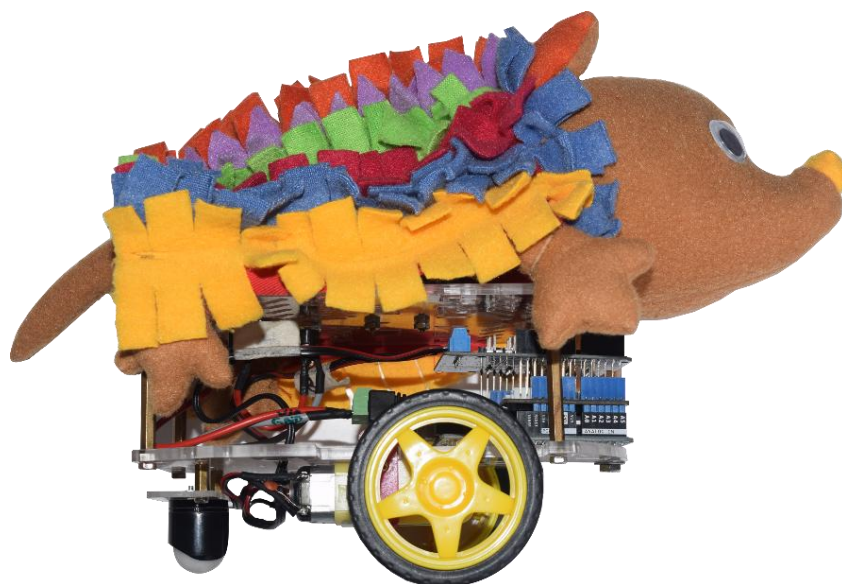
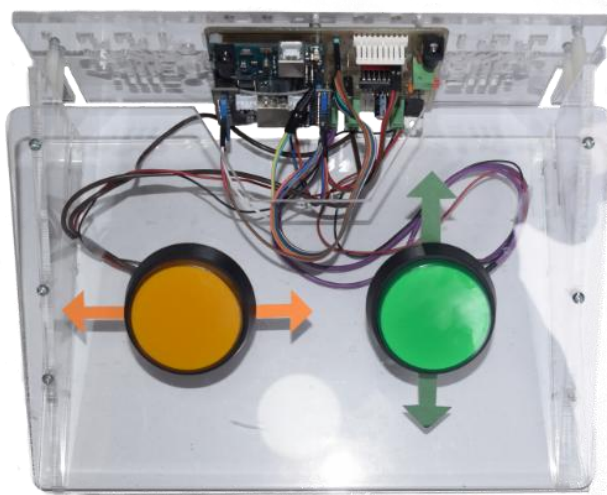
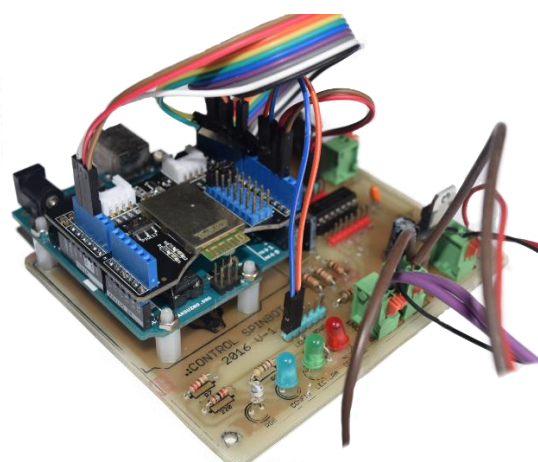


Figura 23. Plataforma robótica SpinBOT

Por otro lado, una vez generada la trayectoria del robot se debe controlar la posición en el sistema coordenado XY de la pista, por esta razón se construyó el módulo de control de la **Figura 24**, que es operado por el paciente quien escoge cualquiera de dos opciones: Atrás-adelante o izquierda-derecha. El modulo se fabricó en acrílico de 7 mm y cuenta con dos botones de 5 cm de diámetro especiales para personas con discapacidad, ya que permiten ser presionados con fuerza sin dañarse, y su tamaño permite mayor facilidad de manejo.



a)



b)

Figura 24. Módulo de control. **a.** Módulo con el arreglo de botones para selección de dirección. **b.** Tarjeta de control con el módulo bluetooth que permite la conexión inalámbrica, además dotado de los LEDS indicadores, Azul: Esperando instrucciones y auto calibración. Verde: Esperando presionar algún botón, Rojo: Prueba terminada y RGB: Sobrepaso del umbral de valores “M”.

También, una vez seleccionado la dirección deseada para controlar la posición, se colocó en la mano lesionada del paciente el guante didáctico de la **Figura 25.a**, conectado al módulo de control mediante un bus de datos a la tarjeta de la **Figura 24.b**. El guante es fabricado de algodón e instrumentado con un acelerómetro digital ADXL345, encargado de sensor los ángulos activos y controlar el movimiento del robot mediante los valores M. En caso de que se necesite, el algodón permite la limpieza fácil, o ser reemplazado por otro guante de repuesto.

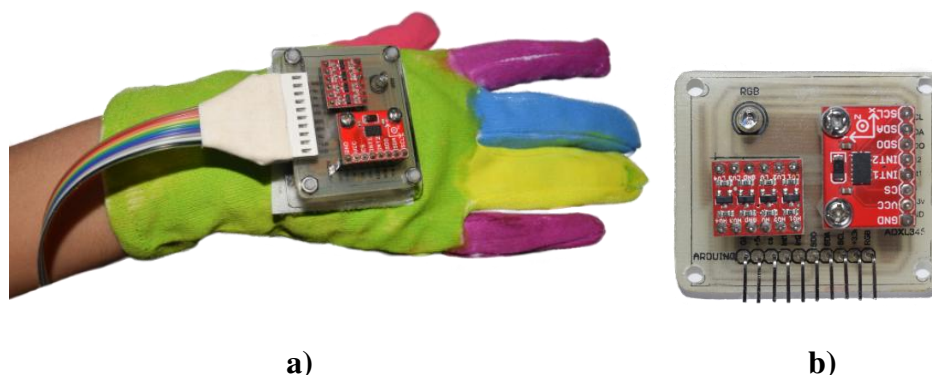


Figura 25. Guante instrumentado con acelerómetro ADXL345. **a.** Diseño final del guante didáctico. **b.** Circuito de condicionamiento para el acelerómetro ADXL345

Con el fin de colocar el sensor en la mano, se fabricó la tarjeta de la **Figura 25.b**; que además de soportar el circuito de acondicionamiento del sensor, permitió adherirla con velcro al guante. Brindando la posibilidad al terapeuta de cambiar con comodidad entre la mano izquierda o derecha.

Para la planeación y administración de la información relacionada con la terapia, así como el control de la posición, se utilizó la herramienta de visualización diseñada en este proyecto denominada: “SpinBOT Soft 1.0”, la cual se presenta en la **Figura 26**. En la etapa de “Seleccionar dificultad”, se puede apreciar el entorno que permite seleccionar las 3 dificultades correspondientes a las 3 tareas respectivas, que una vez seleccionadas al iniciar el programa cargan valores estándares almacenados en el sistema embebido, que corresponden a los máximos de ángulos activos para un paciente sano. Sin embargo, se cuenta con la opción “AUTOCALIBRAR”, esta permite medir en tiempo real mediante el guante de la **Figura 25.a**, los ángulos máximos para cada paciente, para ser visualizados en los campos que aparecen debajo.

Se tiene también el botón “EXPORTAR A EXCEL”, donde se almacena los parámetros propios de cada experimento. Estos son guardados en un archivo cuya extensión es **.xls** para su posterior revisión, además se puede encontrar información relacionada con los datos presentados en el histórico del lado izquierdo como son: La hora, ángulos de flexoextension de muñeca y pronosupinación de antebrazo.

Este ambiente robótico terminado en sesiones de terapias puede ser visto en la **Figura 27**.

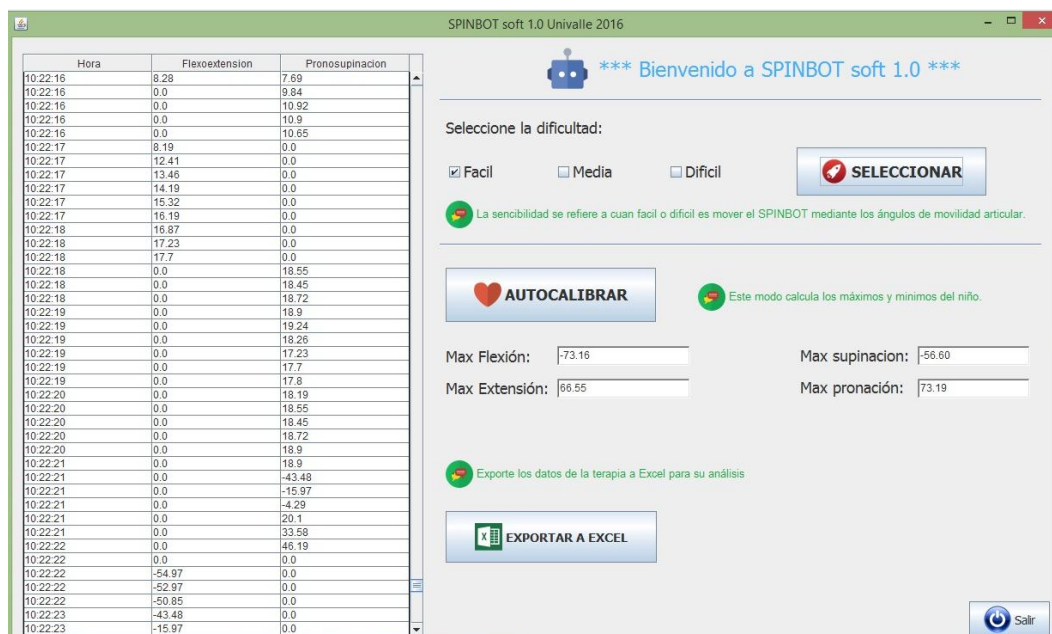


Figura 26. Herramienta de visualización SpinBOT Soft 1.0.



Figura 27. Ambiente robótico lúdico SpinBOT diseñado e implementado en este proyecto, siendo utilizado en intervenciones de terapias para rehabilitación del miembro superior en paciente pediátrico.

Una vez terminadas las pruebas, se sostuvo una reunión con los terapeutas y acudientes de los pacientes, donde se analizaron los resultados y se documentó en el presente informe. La reunión tuvo una duración de 40 minutos. En las Figuras 28, 29 y 30 se observan los diagramas de caja y bigotes de la representación del arreglo de ángulos activos, obtenidos en la realización de este trabajo, para las tareas 1,2 y 3 ejecutadas por el paciente # 1.

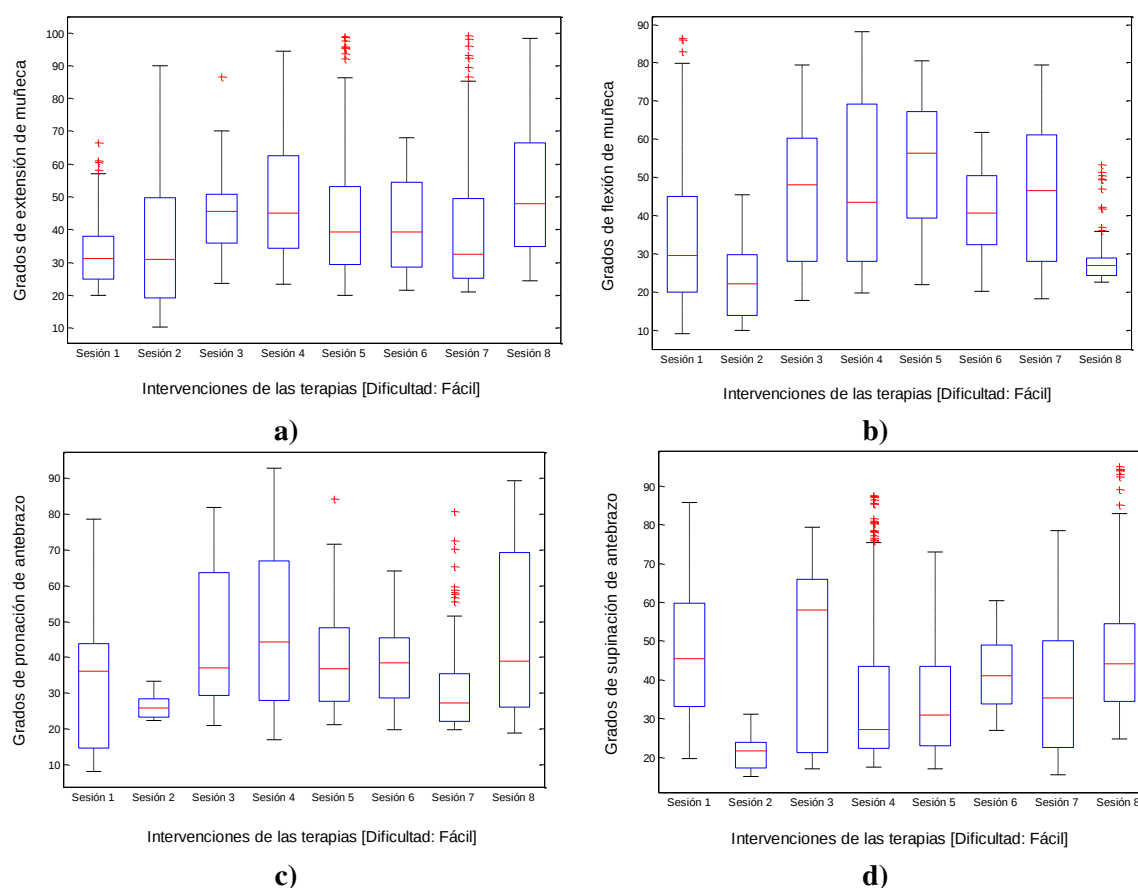


Figura 28. Diagrama de caja y bigotes del arreglo de ángulos activos del brazo derecho del paciente #1. Duración de la intervención: 4 semanas y 2 sesiones por semana. Dificultad: Fácil (*también tarea 1*). **a.** Grados de extensión de muñeca **b.** Grados de flexión de muñeca **c.** Grados de pronación de antebrazo **d.** Grados de supinación de antebrazo.

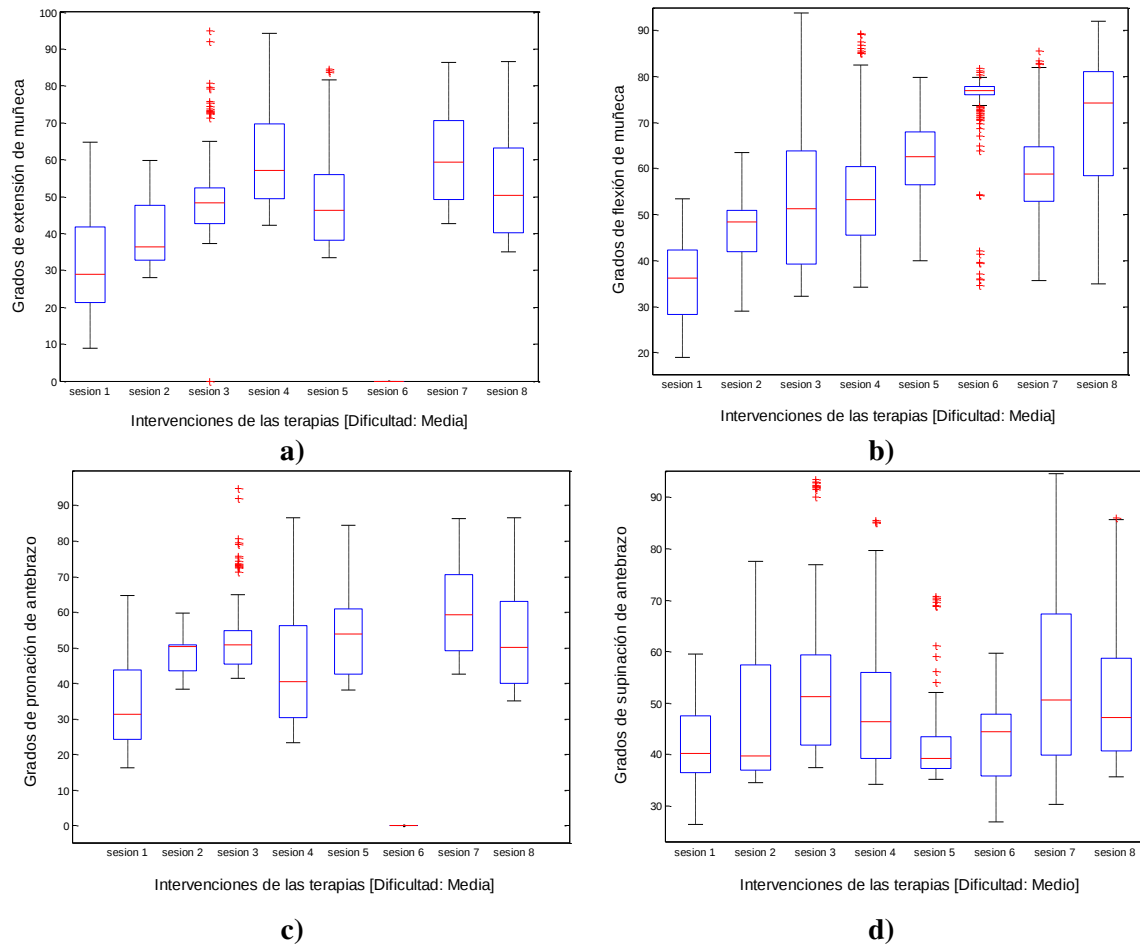


Figura 29. Diagrama de caja y bigotes del arreglo de ángulos activos del brazo derecho del paciente #1. Duración de la intervención: 4 semanas y 2 sesiones por semana. Dificultad: Media (*también tarea 2*). **a.** Grados de extensión de muñeca **b.** Grados de flexión de muñeca **c.** Grados de pronación de antebrazo **d.** Grados de supinación de antebrazo.

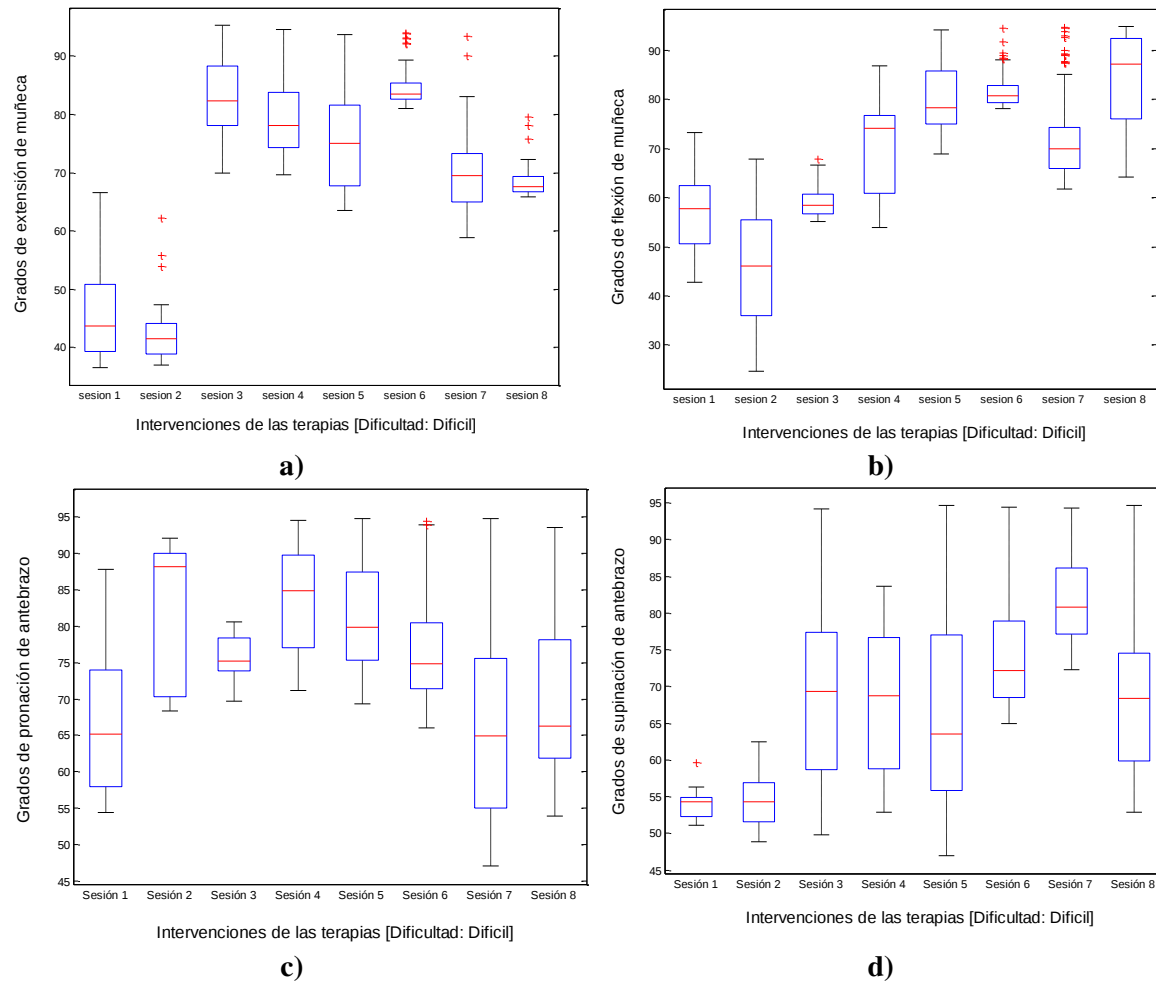


Figura 30. Diagrama de caja y bigotes del arreglo de ángulos activos del brazo derecho del paciente #1. Duración de la intervención: 4 semanas y 2 sesiones por semana. Dificultad: Difícil (*también tarea 3*). **a.** Grados de extensión de muñeca **b.** Grados de flexión de muñeca **c.** Grados de pronación de antebrazo **d.** Grados de supinación de antebrazo.

Una vez visto el desempeño del paciente #1 en 4 semanas, en la **Figura 31** se presenta un resumen de los ángulos activos promedio de pronación y supinación de antebrazo, así como flexión y extensión de muñeca, medidos en la intervención de las terapias mediante el sistema robótico lúdico, para el paciente #1. Estos ángulos son obtenidos en el proceso de auto calibración para 3 tareas, y se puede observar un avance en los ángulos activos de supinación; flexión y extensión, el movimiento de pronación presentó una leve mejora.

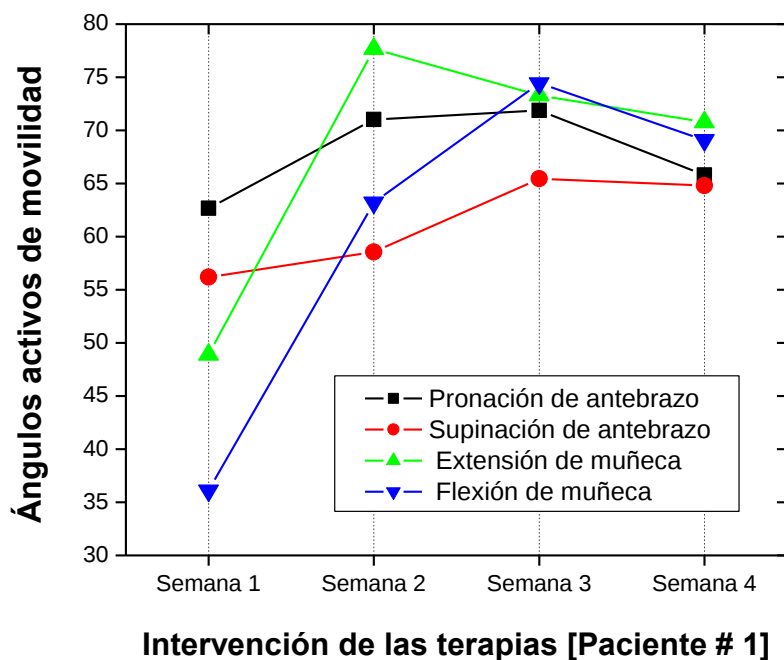


Figura 31. Ángulos activos promedio de movilidad del paciente #1. Correspondientes a la auto calibración de los máximos y mínimos para 4 semanas de intervención de las terapias, de 3 tareas.

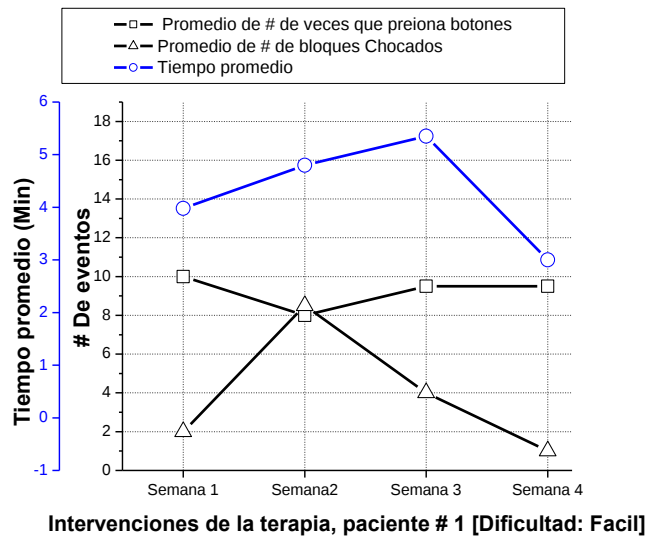


Figura 32. Desempeño del paciente # 1 en las intervenciones de las terapias para la tarea realizada en modo Fácil. Representación gráfica de promedio de # de veces que presiona botones, promedio de bloques chocados y el tiempo promedio en 2 sesiones por semana.

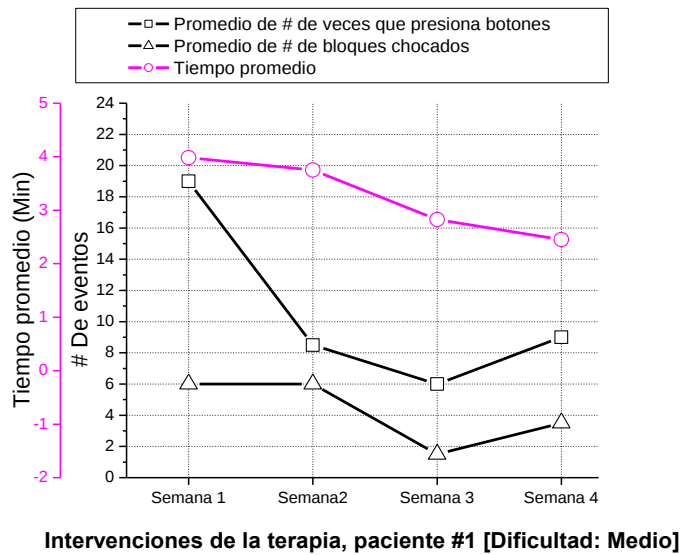


Figura 33. Desempeño del paciente # 1 en las intervenciones de las terapias para la tarea realizada en modo medio. Representación gráfica de promedio de # de veces que presiona botones, promedio de bloques chocados y el tiempo promedio en 2 sesiones por semana.

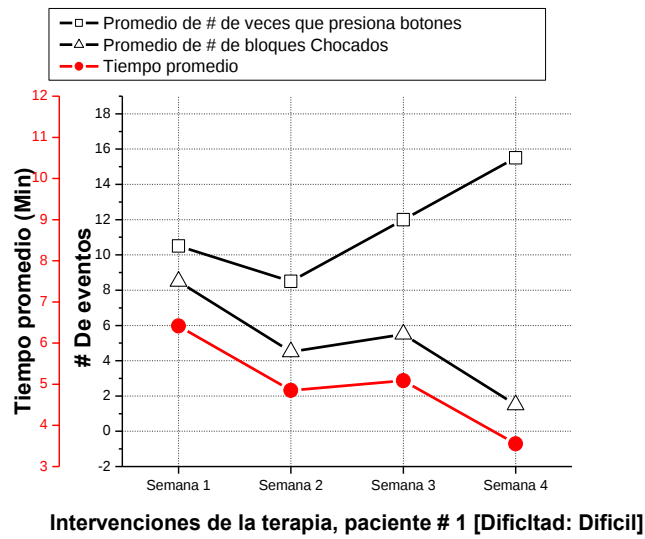


Figura 34. Desempeño del paciente # 1 en las intervenciones de las terapias para la tarea realizada en modo difícil. Representación gráfica de promedio de # de veces de que presiona botones, promedio de bloques chocados y el tiempo promedio en 2 sesiones por semana.

Igualmente, en las Figuras 35, 36 y 37 se observan los diagramas de caja y bigotes de la representación del arreglo de ángulos activos, obtenidos en la realización de este trabajo, para las tareas 1,2 y 3 ejecutadas por el paciente # 2.

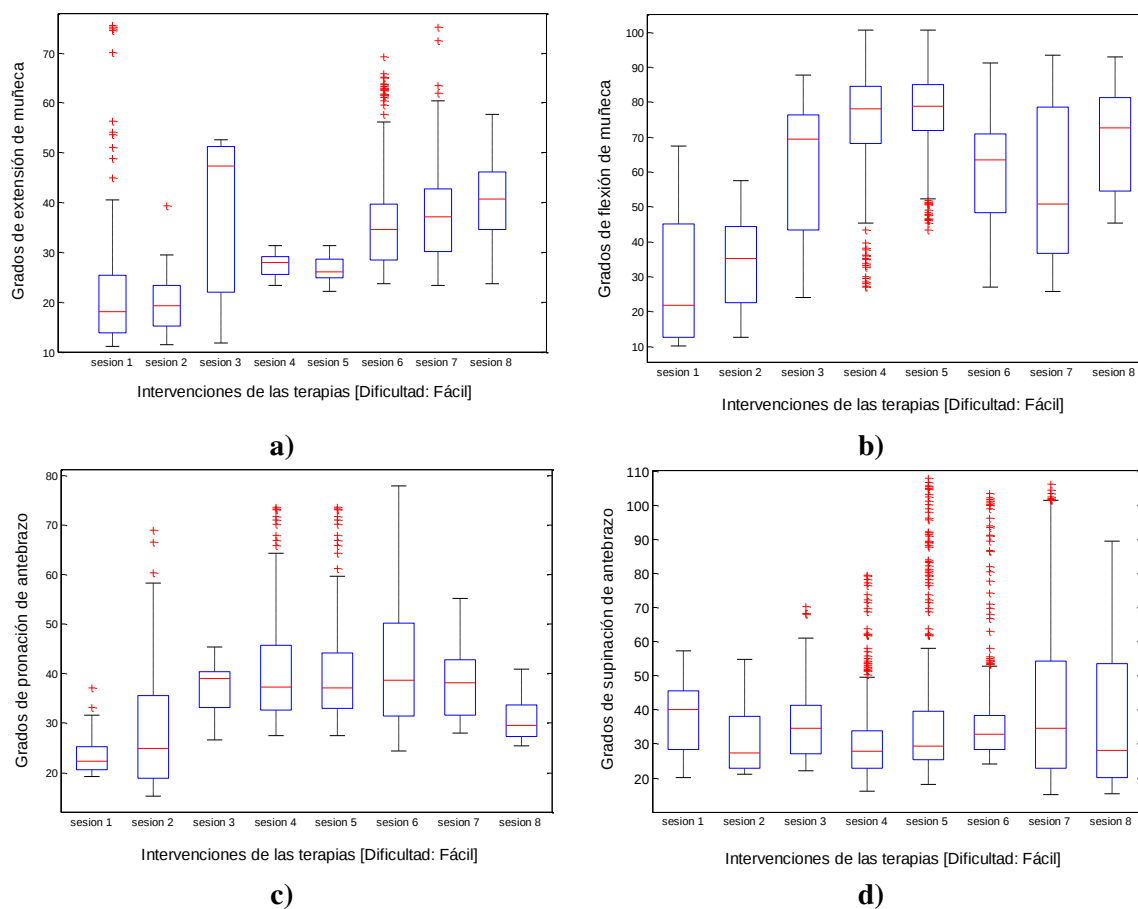


Figura 35. Diagrama de caja y bigotes del arreglo de ángulos activos del brazo izquierdo del paciente #2. Duración de la intervención: 4 semanas y 2 sesiones por semana. Dificultad: Fácil (*también tarea 1*). **a.** Grados de extensión de muñeca **b.** Grados de flexión de muñeca **c.** Grados de pronación de antebrazo **d.** Grados de supinación de antebrazo.

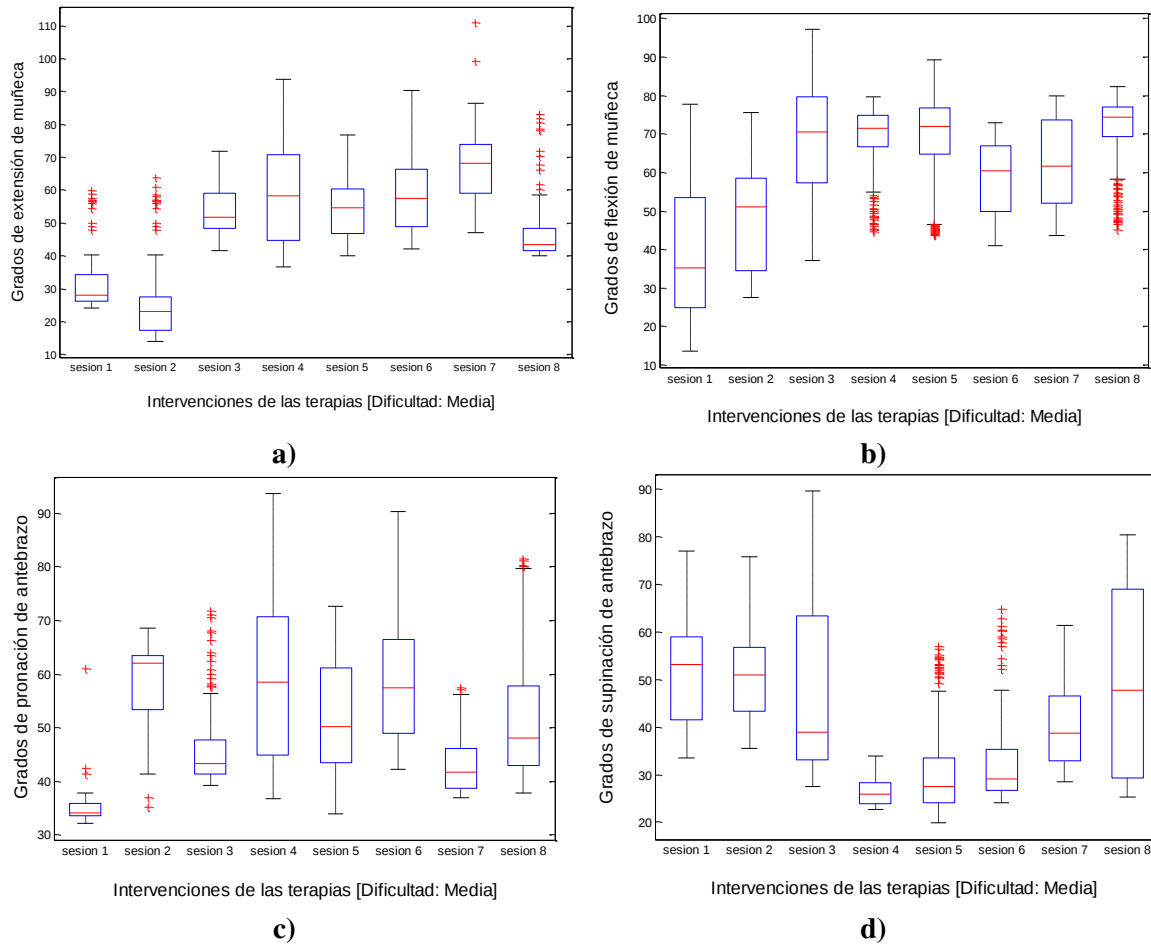


Figura 36. Diagrama de caja y bigotes del arreglo de ángulos activos del brazo izquierdo del paciente #2. Duración de la intervención: 4 semanas y 2 sesiones por semana. Dificultad: Media (*también tarea 2*). **a.** Grados de extensión de muñeca **b.** Grados de flexión de muñeca **c.** Grados de pronación de antebrazo **d.** Grados de supinación de antebrazo.

Una vez visto el desempeño del paciente #2 durante 4 semanas, en la **Figura 38** se presenta un resumen de los ángulos activos promedio de pronación y supinación de antebrazo, así como flexión y extensión de muñeca, medidos en la intervención de las terapias mediante el sistema robótico lúdico, para el paciente #2. Estos ángulos son obtenidos en el proceso de auto calibración para 3 tareas y se puede observar un avance en los ángulos activos de pronación; flexión y extensión; por el contrario, el valor del movimiento de supinación no presentó una mejora, sino una disminución leve.

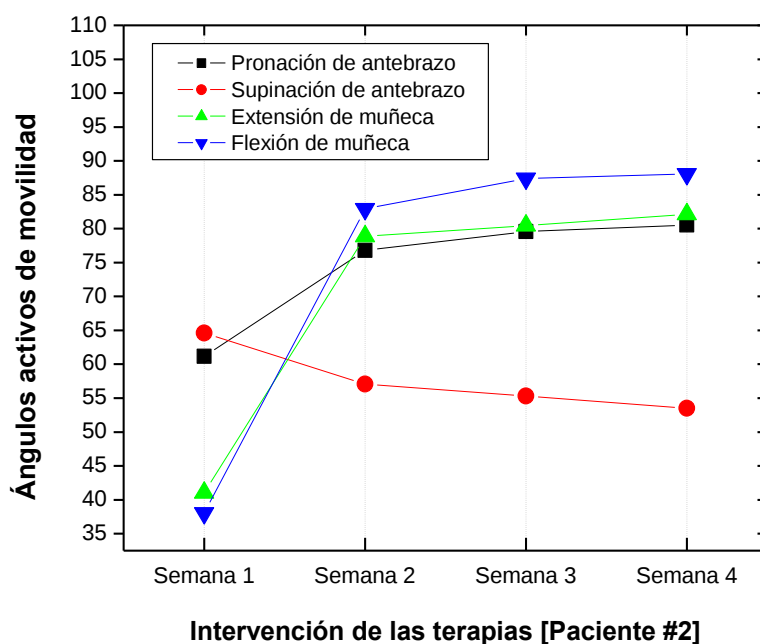


Figura 38. Ángulos activos promedio de movilidad del paciente #2. Correspondientes a la auto calibración de los máximos y mínimos para 4 semanas de intervención de las terapias, de 3 tareas.

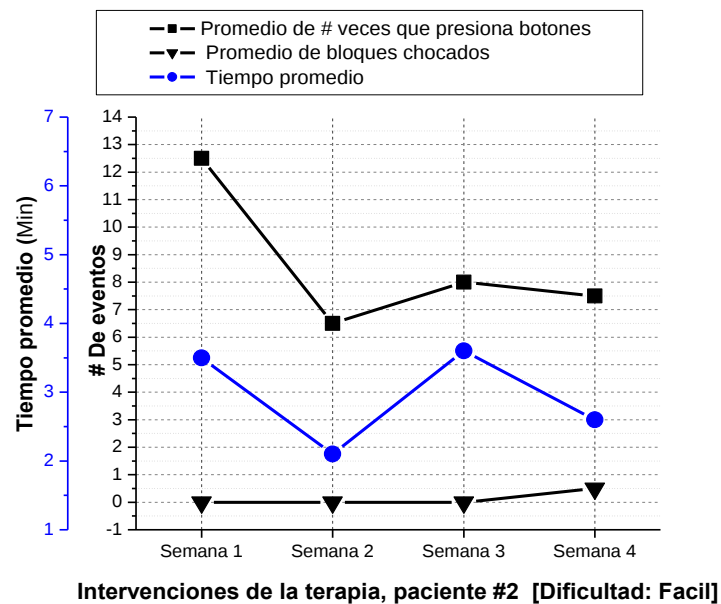


Figura 39. Desempeño del paciente # 2 en las intervenciones de las terapias para la tarea realizada en modo Fácil. Representación gráfica de promedio de # de veces que presiona botones, promedio de bloques chocados y el tiempo promedio es 2 sesiones por semana.

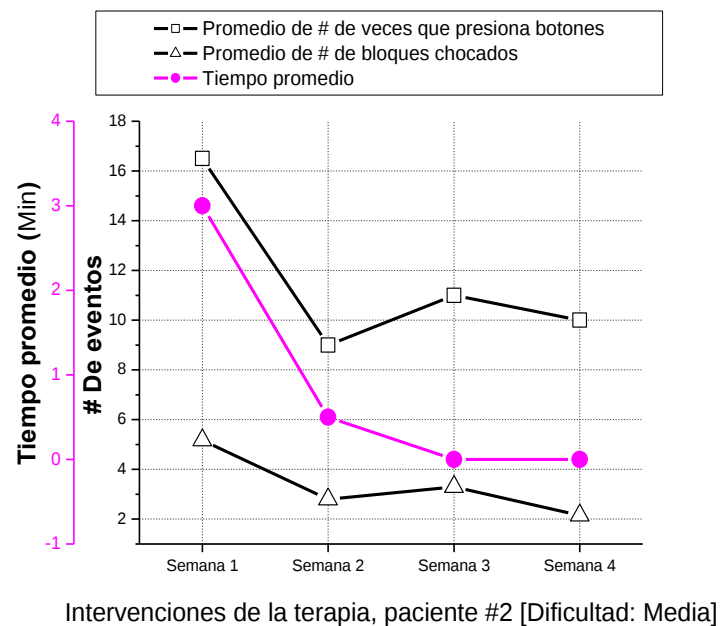
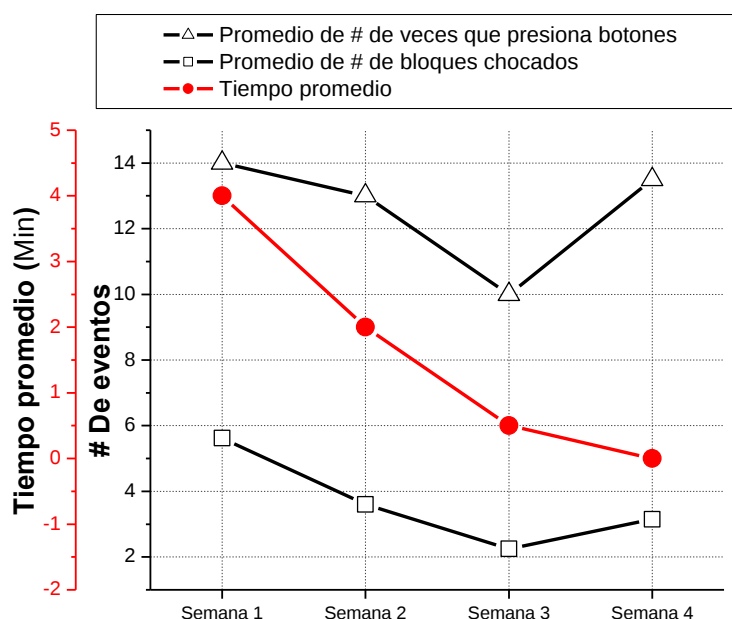


Figura 40. Desempeño del paciente # 2 en las intervenciones de las terapias para la tarea realizada en modo Medio. Representación gráfica de promedio de # de veces que presiona botones, promedio de bloques chocados y el tiempo promedio es 2 sesiones por semana.



Intervenciones de la terapia, paciente #2 [Dificultad: Difícil]

Figura 41. Desempeño del paciente # 2 en las intervenciones de las terapias para la tarea realizada en modo difícil. Representación gráfica de promedio de # de veces que presiona botones, promedio de bloques chocados y el tiempo promedio es 2 sesiones por semana.

Por otro lado, en la **Tabla 6** es presentado las respuestas dadas por los pacientes #1 y #2 al cuestionario del estudio piloto. El paciente #1 obtiene una calificación menor, lo que permite inferir que cuando una tarea mental presenta una mayor carga cognitiva, el paciente requiere una mayor concentración en la ejecución de la misma.

Tabla 6. Respuestas de los pacientes al cuestionario aplicado al final del estudio piloto, acerca del funcionamiento de los botones del módulo de control y el guante didáctico. “0” significa respuesta errada, “1” significa respuesta correcta.

	Paciente # 1 12 años	Paciente # 2 17 años
Pregunta 1	1	1
Pregunta 2	0	1
Pregunta 3	0	0
Pregunta 4	1	1
Pregunta 5	0	1
Pregunta 6	1	1
	3/6	5/6
Acierto	50%	83.3%

4.4.1.1 Escala valoración de objetivos

Con el fin de evaluar los objetivos, se utilizó la escala de valoración o logro de objetivos (GAS del inglés: “*Goal Attainment scale*”), esta es una técnica para evaluar el progreso individual de un paciente en el alcance de metas u objetivos en tareas determinadas. Una actividad puede contener varios objetivos a evaluar. Fue propuesta por Kiresuk *et al.*, en 1994 [98], la cual es bien conocida como una técnica de valoración de resultados clínicos en áreas del campo medico como la terapia física, geriatría y rehabilitación [99]. Esto se realizó asignando 5 niveles: Resultado esperado (Valor=0), 2 resultados mejores (+1,+2) y 2 resultados bajos (-1,-2). La expresión matemática para el cálculo de la escala GAS se presenta en la Ecuación siguiente:

$$T = 50 + 10 \frac{\sum w_i x_i}{\sqrt{(1-\rho) \sum w_i^2 + \rho (\sum w_i)^2}} \quad (1)$$

Donde

w_i : La importancia asignada a la i -ésima meta propuesta (*Si todas son igual de importantes entonces $w_i = 1$*).

x_i : El valor numérico obtenido (*entre -2 y +2*).

ρ : La interrelación global de los resultados de los puntajes obtenidos, para efectos prácticos puede asumirse como 0.3 [100][101].

Técnicamente, la escala de medición de logro de objetivos es en sí misma, una medida de cambio, pero en ciertas circunstancias podría ser apropiado registrar el cambio en el cálculo del valor de GAS. Esto se puede hacer calculando la línea base y restándola al valor GAS alcanzada.

A continuación, se presentan en las **Tablas 7 y 8**, las metas que se pretendieron seguir mediante el tratamiento con el ambiente robótico, para los sujetos P1 y P2 respectivamente. Asimismo, en las **Tablas 9 y 10** se presentan los resultados de las puntuaciones GAS para las tareas realizadas, así como la línea base, la diferencia entre ambos valores respecto al valor de la línea base y finalmente una representación gráfica comparativa en la **Figura 42**, entre los pacientes del grupo objetivo.

Tabla 7. Metas de escala por logro de objetivos para el paciente #1

Nivel de logro	Meta 1	Meta 2	Meta 3	Meta 4	Meta 5
Mucho menos -2 de lo esperado	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 30% del máximo de pronación y supinación de antebrazo, y flexión y extensión de muñeca. En más de 4.5 minutos de duración.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 50% del máximo de pronación y supinación de antebrazo y flexión y extensión de muñeca. En más de 5.5 minutos de duración.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 90% del máximo de pronación y supinación de antebrazo y flexión y extensión de muñeca. En más de 6 minutos de duración. (Línea Base)	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B, presionando los botones de dirección una cantidad de veces mayor a 13. (Línea Base)	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B, chocando una cantidad de obstáculos mayor a 5.
Poco menos -1 de lo esperado	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 30% del máximo de pronación y supinación de antebrazo y flexión y extensión de muñeca. En un tiempo menor o igual a 4.5 y mayor a 3.5 minutos. (Línea Base)	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 50% del máximo de pronación y supinación de antebrazo y flexión y extensión de muñeca. En un tiempo menor o igual a 5.5 y mayor de 4.5 minutos. (Línea Base)	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 90% del máximo de pronación y supinación de antebrazo y flexión y extensión de muñeca. En un tiempo menor o igual a 6 y mayor a 5 minutos.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B, presionando los botones de dirección una cantidad de veces menor o igual 13 y mayores a 11.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B, chocando una cantidad de obstáculos igual o menor a 5 y mayor a 4. (Línea Base)
Nivel esperado 0 de resultados	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 30% del máximo de pronación y supinación de antebrazo y flexión y extensión de muñeca, en un tiempo menor o igual a 3.5 y mayor a 2.5 minutos.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 50% del máximo de pronación y supinación de antebrazo y flexión y extensión de muñeca. En un tiempo menor o igual a 4.5 y mayor a 3.5 minutos.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 90% del máximo de pronación y supinación de antebrazo y flexión y extensión de muñeca, en un tiempo menor o igual a 5 minutos y mayor a 4 minutos.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B, presionando los botones de dirección una cantidad de veces menor o igual 11 y mayor a 9.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B, chocando una cantidad de obstáculos igual o menor a 4 y mayor a 3.
Algo más +1 de lo esperado	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 30% del máximo de pronación y supinación de antebrazo y flexión y extensión de muñeca, en un tiempo menor o igual a 2.5 minutos y mayor a 1.5 minutos.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 50% del máximo de pronación y supinación de antebrazo y flexión y extensión de muñeca, en un tiempo menor o igual a 3.5 y mayor de 2.5 minutos.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 90% del máximo de pronación y supinación de antebrazo y flexión y extensión de muñeca, en un tiempo menor o igual a 4 minutos y mayor a 3 minutos de duración.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B, presionando los botones de dirección una cantidad de veces menor o igual 9 y mayor a 8.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B, chocando una cantidad de obstáculos igual o menor a 3 y mayor a 2.
Mucho más +2 de lo esperado	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 30% del máximo de pronación y supinación de antebrazo y flexión y extensión de muñeca, en un tiempo menor o igual a 1.5 minutos.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 50% del máximo de pronación y supinación de antebrazo y flexión y extensión de muñeca, en un tiempo menor o igual a 2.5 minutos.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 90% del máximo de pronación y supinación de antebrazo y flexión y extensión de muñeca, en un tiempo menor o igual a 3 minutos.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B, presionando los botones de dirección una cantidad de veces menor o igual a 8.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B, chocando una cantidad de obstáculos igual o menor a 2

Tabla 8. Metas de escala por logro de objetivos para el paciente #2

Nivel de logro	Meta 1	Meta 2	Meta 3	Meta 4	Meta 5
Mucho menos -2 de lo esperado	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 30% del máximo de pronación y supinación de antebrazo y flexión y extensión de muñeca. En más de 3 minutos. (Línea Base)	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 50% del máximo de pronación y supinación de antebrazo y flexión y extensión de muñeca. En un tiempo promedio de más de 4 minutos.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 90% del máximo de pronación y supinación de antebrazo y flexión y extensión de muñeca. En un tiempo promedio de más de 5 minutos.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B, presionando los botones de dirección una cantidad promedio de veces mayor a 10.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B, chocando una cantidad promedio de obstáculos mayor a 2.
Poco menos -1 de lo esperado	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 30% del máximo de pronación y supinación de antebrazo y flexión y extensión de muñeca. En un tiempo promedio menor o igual a 3 minutos, y mayor a 2.5 minutos.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 50% del máximo de pronación y supinación de antebrazo y flexión y extensión de muñeca. En un tiempo menor o igual a 4 minutos y mayor a 3 minutos. (Línea Base)	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 90% del máximo de pronación y supinación de antebrazo y flexión y extensión de muñeca. En un tiempo menor o igual a 5 minutos y mayor a 4 minutos. (Línea Base)	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B, presionando los botones de dirección una cantidad promedio de veces menor o igual a 11 y mayor a 10. (Línea Base)	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B, chocando una cantidad promedio de obstáculos igual o menor a 2 y mayor a 1.5 (Línea Base)
Nivel esperado 0 de resultados	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 30% del máximo de pronación y supinación de antebrazo y flexión y extensión de muñeca, en un tiempo promedio menor o igual a 2.5 minutos y mayor a 2 minutos.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 50% del máximo de pronación y supinación de antebrazo y flexión y extensión de muñeca, en un tiempo menor o igual a 3 minutos y mayor a 2.5 minutos.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 90% del máximo de pronación y supinación de antebrazo y flexión y extensión de muñeca, en un tiempo menor o igual a 4 minutos y mayor a 3 minutos.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B, presionando los botones de dirección una cantidad promedio de veces menor o igual 10 y mayor a 9.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B, chocando una cantidad promedio de obstáculos igual o menor a 1.5 y mayor a 1.
Algo más +1 de lo esperado	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 30% del máximo de pronación y supinación de antebrazo y flexión y extensión de muñeca, en un tiempo promedio menor o igual a 2 minutos y mayor a 1 minuto.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 50% del máximo de pronación y supinación de antebrazo y flexión y extensión de muñeca, en un tiempo menor o igual a 2.5 minutos y mayor a 2 minutos.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 90% del máximo de pronación y supinación de antebrazo y flexión y extensión de muñeca, en un tiempo menor o igual a 3 minutos y mayor a 2 minutos.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B, presionando los botones de dirección una cantidad promedio de veces menor o igual 9 y mayor a 8.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B, chocando una cantidad promedio de obstáculos igual o menor a 1.
Mucho más +2 de lo esperado	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 30% del máximo de pronación y supinación de antebrazo y flexión y extensión de muñeca, en un tiempo menor o igual a 1 minuto.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 50% del máximo de pronación y supinación de antebrazo y flexión y extensión de muñeca, en un tiempo menor o igual a 2 minutos.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B con ángulos mayores al 90% del máximo de pronación y supinación de antebrazo y flexión y extensión de muñeca, en un tiempo menor o igual a 2 minutos.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B, presionando los botones de dirección una cantidad promedio de veces menor o igual a 8.	El paciente lleva el SPINBOT de A hasta B, sin chocar obstáculos.

Tabla 9. Resultados de la escala GAS para el paciente #1.

Paciente # 1					Semana #			
Objetivos	Importancia	Dificultad	Peso	Línea base	1	2	3	4
1	3	1	3	-1	-2	-2	-2	-1
2	3	2	6	-1	-2	-1	0	+1
3	3	3	9	-2	-2	-1	-1	+1
4	2	2	4	-2	-2	+2	+1	0
5	2	3	6	-1	-2	-2	0	+2
Sumatoria			28	-41				
Puntuación GAS				28.4	20.5	36.8	44.2	62.7
Cambio					-7.9	8.4	15.8	34.3

Tabla 10. Resultados de la escala GAS para el paciente #2.

Paciente # 2					Semana #			
Objetivos	Importancia	Dificultad	Peso	Línea base	1	2	3	4
1	3	1	3	-2	-2	-2	-2	-1
2	3	2	6	-1	-2	0	-1	+1
3	3	3	9	-1	-2	0	+1	0
4	2	2	4	-1	-2	0	0	-1
5	2	3	6	-1	-1	+1	+2	+2
Sumatoria			28	-31				
Puntuación GAS				33.7	23.6	50	54.7	55.8
Cambio					-10	16.3	21.1	22.1

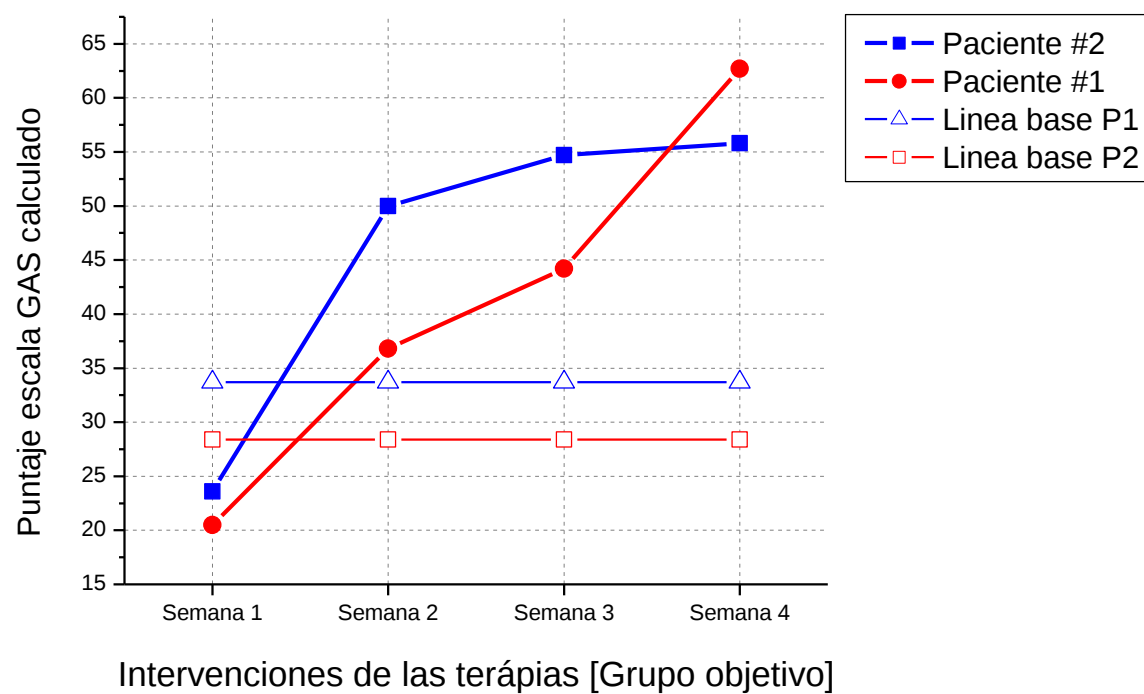


Figura 42. Comparación de los valores calculados de la escala GAS entre los pacientes #1 y #2.

4.4.2 Escala de medición de la usabilidad

La escala de medición de usabilidad (*del inglés SUS: “System Usability Scale”*) fue desarrollada en 1986 por “Digital Equipment Corporation”, y es una escala de diez puntos que brinda información global de la estimación de la usabilidad de un sistema electrónico o software, definida operativamente como: “La percepción de la interacción con un sistema” [102][103]. Las preguntas de SUS han sido desarrollados de acuerdo a tres criterios de usabilidad definidos por la ISO 9241-11 como son: 1) La capacidad de los usuarios que utilizan el sistema para completar las tareas, y la calidad de las tareas (*es decir, la eficacia*), 2) El nivel de recursos consumidos en la realización de tareas (*es decir, eficiencia*), y 3) Reacciones subjetivas utilizando el sistema (*es decir, satisfacción*). [104]

Para aplicar la escala SUS, se debió realizar la traducción al español [105] de las preguntas originales planteadas en la literatura, obteniendo las preguntas siguientes con el fin de evaluar la usabilidad de la herramienta de visualización, teniendo en cuenta que son las mismas para la evaluación del ambiente robótico lúdico:

1. Pienso que me gustaría usar este sistema y software con frecuencia.
2. Creo que este sistema es innecesario y complejo.
3. Pienso que el software fue fácil de usar.
4. Para usar este software necesitaría soporte de una persona experta, para ser capaz de usar este sistema.
5. Encontré varias funciones bien integradas en el software.
6. Pienso que el software tiene muchas inconsistencias.
7. Imaginaría que la mayoría de personas podrían aprender a usar este sistema muy rápido.
8. Encontré este software muy incómodo de usar.
9. Me sentí muy confiado usando este software.
10. Necesite aprender muchas cosas nuevas antes de usar con libertad este software.

Una vez aplicada la escala a 3 usuarios, se calcularon los valores de SUS como se presenta en las **Tablas 11 y 12**, para el ambiente robótico lúdico desarrollado y la herramienta de visualización. Estos resultados pueden ser interpretados como propone Bangor y colaboradores [106], donde se proponen unos rangos recomendados para: Inaceptable (0-64 puntos), aceptable (65-84 puntos) y excelente (85-100 puntos).

Por lo tanto, se puede ver según los resultados obtenidos, que tanto el ambiente robótico lúdico, como la herramienta de visualización tienen un alto grado de usabilidad, o una usabilidad “Excelente”. Esto es muy importante, ya que brindar al usuario satisfacción, eficiencia y eficacia puede dar como resultado que instituciones especializadas en servicios de rehabilitación, quieran implementar estas tecnologías, además de aportar en el avance de las terapias en población pediátrica.

Tabla 11. Resultados de la escala de medición de usabilidad SUS para el ambiente robótico lúdico desarrollado en este proyecto.

Usuario entrevistado	Profesión/roll	Puntaje SUS	Comentarios
#1	Fisioterapeuta	95	“Muy interesante, hacen falta sistemas de este estilo en terapias”
#2	Terapeuta ocupacional	80	“Una ayuda importante, podría no solo usarse para el miembro superior, sino en mejorar el componente de rehabilitación para la coordinación oculomanual y desarrollo cognitivo”
#3	Madre paciente #1	100	“Muy interesante, intuitivo de usar. Cree que podría hacerlo ella sola en casa y el niño le pregunta regularmente por el día de la terapia y jugar con “Camilo”, como llamó al SpinBOT”
Promedio		91.6	

Tabla 12. Resultados de la escala de medición de usabilidad SUS para la herramienta de visualización.

Usuario entrevistado	Profesión/roll	Puntaje SUS	Comentario
#1	Fisioterapeuta	80	“Es sencillo. Se debe facilitar el manual de usuario a quien desee usarlo”
#2	Terapeuta ocupacional	83	“Cree que podría mejorar el manual de usuario para su uso. Afirma que le faltó interactuar más con el software, por eso le costó usarlo”
#3	Madre paciente #1	100	“Muy interesante, intuitivo de usar. Cree que podría hacerlo ella sola en casa”
Promedio		87.6	

4.4.3 Entrevistas con terapeutas, padres o cuidadores

Después de la última sesión de la intervención de las terapias, los terapeutas y profesionales de ABRAZAR que participaron o que acompañaron el desarrollo de este proyecto de investigación, fueron entrevistados usando el cuestionario del **Anexo 7**, y sus respuestas grabadas en audio. La primera de estas preguntas abordó la satisfacción en el uso de este sistema. Como resultado se extrajeron los tres aspectos siguientes:

1. La terapia con el robot puede convertirse en una terapia complementaria. Esto se debe a que las terapias tradicionales son muy monótonas especialmente para los niños.
2. El robot puede incluir más características lúdicas, porque el niño siempre requiere el juego como parte de su recuperación.
3. El ambiente robótico lúdico ayuda al proceso terapéutico porque aumenta la motivación, al sentirse motivado a dar más de lo que generalmente es capaz, con tal de lograr la meta.

La segunda pregunta abordó la utilidad o practicidad del ambiente robótico en las intervenciones de las terapias. Las respuestas obtenidas de los terapeutas se resumen en los siguientes temas:

1. La deficiencia del sistema de salud colombiano. Herramientas de este estilo no serían prácticas si se van a usar en Empresas Prestadoras de Salud (EPS), debido a las políticas internas que limitarían el tiempo de las terapias, lo cual sería insuficiente, en este sentido no sería una herramienta práctica. Sin embargo, si hay una persona dedicada a ayudas tecnológicas en un centro de neurorrehabilitación privado sería viable.
2. Es un sistema con mucho potencial. El sistema es muy sencillo de utilizar y se ve muy viable su implementación en las terapias. Siempre y cuando en las políticas de la institución se dé el tiempo y se dedique el personal necesario.

La tercera pregunta trató de indagar las características adicionales para el ambiente robótico en las intervenciones de las terapias. Los aspectos más relevantes de las respuestas se resumen a continuación:

1. Grados de motivación o de gratificación que el niño adquiere cuando el niño logra realizar la actividad.
2. Debería incluir los rangos de movimiento activo de todo el miembro superior, porque el ser humano normalmente no es funcional solo con los movimientos que se miden de muñeca y mano. Para una mejor función se podría medir movimientos activos del hombro, utilizar un algo como un: “Guante más largo”.
3. El sistema tiene demasiado potencial en el desarrollo de habilidades cognitivas, así como el desarrollo de la coordinación óculo manual. Sería entonces mirar la manera de evaluar estos aspectos con la herramienta.
4. Incluir más actividades, no solamente conducir el SPINBOT por una pista, sino otras actividades donde se evalué lo mismo pero que no se vuelva monótono con el tiempo.

La cuarta pregunta abordó la idoneidad de los criterios de inclusión y exclusión tomados para este proyecto. Como resultado se extrajeron tres aspectos de las respuestas:

1. Se sesgo mucho la población. Se podría abrir a una mayor población y ampliar los rangos de edad.
2. Para lesiones del miembro superior, en estudios futuros no se debería incluir la hemiplejia, por ser una parálisis total del miembro superior.
3. Se le debe dar el grado de espasticidad al paciente para incluir en los criterios de inclusión, este debería ser evaluada con la escala de Ashworth modificada.
4. No se deben incluir pacientes sordos, o problemas visuales. No se debería incluir pacientes con heminegligencia.

La última pregunta se enfocó en determinar la opinión de los terapeutas en los elementos o características que podrían enriquecer el ambiente robótico lúdico para aumentar la motivación de los pacientes por las terapias. Un resumen de las respuestas obtenidas se presenta a continuación:

1. Dar la posibilidad al robot y ambiente robótico de ser más interactivo, así como aumentar la dificultad de las tareas, que se puedan evaluar otros patrones o acciones que realice el paciente.
2. Debido a que los pacientes con alteraciones neurológicas normalmente tienen otro tipo de alteraciones en otros sistemas, sería muy importante adaptar al sistema a niños por ejemplo ciegos, donde se les pueda dar las mismas indicaciones con sonidos. Otro sería un paciente que no escucha entonces permitirle realizar las tareas brindándole las indicaciones con herramientas visuales.

Asimismo, con el fin de implementar este tipo de sistemas en los hogares e instituciones educativas, se hizo necesario conocer las percepciones de los acudientes. Al menos una sesión se realizó en la casa familiar del paciente. Debido a esto, se aplicó un cuestionario a los padres, acudientes o cuidadores de los pacientes, basado en las preguntas descritas por Cook y colaboradores [32], detallado en el **Anexo 8**. Un resumen de las respuestas obtenidas, se brinda a continuación:

El niño reaccionó al robot con “Curiosidad y alegría”, durante el proyecto el niño se volvió más “pendiente y atento en otras actividades”, el niño mejora en sus habilidades de lenguaje porque “habla de izquierda, derecha, adelante y atrás”. Frente a los juguetes tradicionales, el niño se siente muy feliz cuando debe asistir a la terapia con el robot. No se recomendaron cambios en el sistema.

Por otro lado, en el **Anexo 9** se incluye la valoración pre y post terapia “SpinBOT o el Robot”. El cual fue realizado por el psicólogo de abrazar al grupo objetivo. Esto nos permitió afirmar, que el sistema de asistencia tecnológica desarrollado en este proyecto de investigación, ayudó al interés y motivación por las terapias.

4.4.4 Discusión y análisis de los resultados

Los resultados obtenidos durante la ejecución de este proyecto de investigación, no solo han sido satisfactorios; sino muy importantes en el alcance de los objetivos trazados. También, brindan la posibilidad de ser validados al lograr reproducir lo reportado en la literatura especializada con respecto al aumento de la motivación [98], avance y beneficio de las terapias [21][29], cuando se utilizan ambientes de asistencia tecnológica [39]. Además, el desarrollo de este ambiente robótico lúdico es muy importante porque se ha contribuido a la construcción de herramientas de bajo costo para la rehabilitación del miembro superior; y así, beneficiar poblaciones vulnerables como lo es la población atendida por la Asociación ABRAZAR.

Como se presentó en la **Tabla 2**, los 4 sujetos que participaron del estudio están en estado de discapacidad física. Los pacientes se separaron en 2 grupos, el grupo 1 (*grupo de objetivo*), y el grupo 2 (*grupo de control*). El grupo 1 incluyó a los sujetos P1 y P2 los cuales, además tuvieron una deficiencia significativa de las habilidades lingüísticas. Ambos fueron capaces de controlar físicamente los botones 1 y 2 del módulo de control, también tenían una interacción social alta y fueron generalmente inquietos y mostraron una alta motivación en cada sesión. El sujeto P1 presentó habilidades lingüísticas receptivas moderadas (*leer, escuchar*), por el contrario el sujeto P2 mostró mayor nivel de vocalización y de habilidades lingüísticas receptivas.

Los pacientes reaccionaron positivamente ante el robot SPINBOT, y parecían disfrutar jugando con el robot como se pudo observar en el estudio piloto. Además, este estudio inicial tuvo el objetivo de: “Evaluar el desempeño del paciente frente al protocolo de terapia desarrollado para este ambiente robótico lúdico SpinBOT”. Este estudio inicial se documentó en la **Tabla 5** y mediante la aplicación del cuestionario propuesto de 6 preguntas, se mostró a través de los resultados de la **Tabla 6**, que la habilidad en las tareas aumenta con la edad; aunque es una muestra pequeña, se puede relacionar el paciente con niveles más bajos de función cognitiva con una experiencia de mayor dificultad en el desarrollo de estas tareas, independientemente del grado de discapacidad física. Estas interpretaciones son coherentes con los hallazgos de Kwee y Quaedackers [107]. Además, es un resultado interesante que abre las puertas para trabajos futuros, donde se puede usar el sistema desarrollado en este proyecto de maestría, para la determinación de habilidades cognitivas; así como la rehabilitación del componente cognitivo.

En este estudio piloto, los dos participantes mostraron diferencias de habilidad en la primera tarea: Causalidad. Ambos participantes presionaron el botón #2 para dar la dirección al SPINBOT hacia adelante, seguido realizaron el movimiento de flexión de muñeca hasta pasar el valor M_f , una o varias veces para ver qué sucedía y luego realizaron lo mismo con el botón #2. El sujeto P1 tuvo dificultad en reconocer su izquierda y derecha, no entendía que el botón #1 le daría la posibilidad de darle la dirección al robot. En general, ambos participantes tuvieron esta dificultad, pero el sujeto P2 comprendió la función rápidamente en las siguientes sesiones, mostrando cada vez una habilidad mayor para ubicar el SPINBOT en el plano XY. En general, ambos pacientes tuvieron diversos grados de éxito en la comprensión

y en reproducir las tareas propuestas. La cantidad del número de ensayos necesarios para lograr una tarea varió entre los dos pacientes. Ninguno de los pacientes mostró aprensión hacia el robot. Luego de varios ensayos, ambos pacientes comprendieron el uso de los botones #1 y #2, también como usar el guante didáctico; así como, generar estrategias mentales para el desplazamiento por la pista. Una vez culminó el estudio piloto, se dio inicio a las intervenciones de las terapias.

En las sesiones de las terapias, se pudo observar que las tareas eran más motivadoras para los niños, y de esta manera se generó más interés y entusiasmo que las tareas hechas con elementos tales como juguetes, pelotas o bloques de madera. Los padres o cuidadores, informaron que los pacientes que utilizaron los robots, habían mejorado su atención y motivación por asistir a las terapias. El sujeto P1 presentó mayor dominio en su motricidad fina, al intentar un mayor número de veces amarrarse los cordones de los zapatos solo, logró tener mayor determinación con la misma actitud competitiva con la que se enfrentó a las tareas con el robot. Asimismo, el sujeto P2 pudo presentar en varias oportunidades mayor control de su mano derecha, con la misma que presionaba los botones del módulo de control.

Los dos sujetos en este estudio, fueron capaces de lograr los movimientos de supinación y pronación de antebrazo; así como flexión y extensión de muñeca. Los ángulos máximos y mínimos logrados por los sujetos P1 y P2, podrían ser obtenidos mediante 2 tipos de análisis:

- 1) **Tipo 1:** Mediante la configuración inicial (**AUTOCALIBRAR**) de cada sesión como se presenta en las **Figuras 31 y 38**, mostrando para el sujeto P1 un avance en las 3 primeras semanas, con una leve disminución de los ángulos en la cuarta semana. En el caso del sujeto P2, se puede observar un aumento progresivo en los ángulos activos, salvo en el de supinación de antebrazo, esto se debió posiblemente, a que en varias sesiones le daba poca importancia a este movimiento (*SPINBOT hacia la izquierda*).
- 2) **Tipo 2:** El análisis de los percentiles del arreglo de ángulos almacenados como histórico en cada sesión, específicamente la mediana. Para datos con mucha dispersión, la mediana es un valor que nos aporta más información que la media aritmética, es decir la mediana refleja mejor la distribución de estos arreglos de ángulos activos.

Los tipos de análisis mencionados, fueron importantes en el estudio del desempeño de cada paciente. En el análisis tipo 2, debido a que los arreglos de ángulos activos poseen mucha dispersión, la mediana es un valor que aporta más información que la media aritmética; es decir la mediana refleja mejor la distribución de estos datos, y el diagrama de caja y bigotes (box plots) la representación más adecuada. Asimismo, el análisis tipo 2 puede ser observado para el sujeto P1 mediante las **Figuras 28, 29 y 30**. Donde se puede observar que la tarea 1 (*modo fácil*) no tuvo una tendencia definida en cuanto a si avanzó o no. Esto pudo ser debido a que sujeto P1 posee movimientos involuntarios asociados a la distonía propia de la parálisis cerebral mixta. Debido a esto, se tuvo que asistir por un terapeuta en algunos momentos, especialmente cuando el SPINBOT debía estar en modo “freno”, porque en esta posición, algunas veces no tenía la capacidad de dejar su mano quieta. En la tarea 2, se muestra una tendencia al alza en los movimientos de flexión y extensión de muñeca y pronación de

antebrazo, el movimiento de supinación no tuvo una tendencia clara. En la tarea 3, pudo mostrar un incremento en todos sus movimientos, en especial extensión y flexión de muñeca. Asimismo, en las **Figuras 35, 36 y 37**, para el sujeto P2 se puede verificar la contribución de la terapia en el aumento leve y progresivo de los movimientos de pronación, flexión y extensión, y la disminución leve del movimiento de supinación para la tarea 1. La tarea 2, tuvo mejoras significativas para los movimientos de flexión y extensión de muñeca, y para los movimientos de pronación y supinación de antebrazo fue muy inconstante. La última tarea, presentó un buen desempeño en los movimientos de extensión y flexión de muñeca; por el contrario, los movimientos de pronación y supinación de antebrazo permanecieron prácticamente con una tendencia constante. También, se observan algunos valores atípicos asociados a la compensación del brazo o movimientos bruscos en la actividad. Estas observaciones numéricamente distantes del resto de los datos, son tenidas en cuenta en estas figuras para mejorar la calidad de los datos graficados.

A través de la intervención, se pudo evidenciar el desarrollo de habilidades adyacentes del paciente #2, quien sufre de una hemiparesia derecha severa e hipotonía en mano izquierda, sin rangos activos de movilidad, pero mediante la herramienta se vio un importante avance en el control de esta mano para oprimir los botones del módulo de control. En el inicio de la terapia no podía usar la mano para oprimir los botones, pero por su propia iniciativa tomó la decisión de “hacerlo el mismo”, iniciando un esfuerzo desde la sesión 2 por oprimir los botones sin asistencia del terapeuta, logrando a través de la motivación en la terapia un mayor control de su miembro derecho, o más precisión en desplazamientos pequeños con ese brazo.

Por otro lado, los pacientes iniciaron un proceso de adaptación al proceso terapéutico, y en un mes es imposible ver cambios en sus componentes de rehabilitación. Los pacientes con lesiones neurológicas no presentan un avance significativo y medible en 4 semanas con las herramientas convencionales usadas en la Asociación ABRAZAR, debido a la barrera que impone su lesión en la motricidad, y aunque el paciente quiera realizar ciertos movimientos, su capacidad neurológica no se lo permite. Sin embargo, se propone también aplicar la herramienta en pacientes con lesiones biomecánicas, porque en estos posiblemente se pueda evidenciar mayores cambios en los rangos activos de pronosupinación de antebrazo y flexoextensión de muñeca, en un tiempo corto.

Para evaluar las actividades hechas en la terapia con el robot, se planearon metas que fueron valoradas mediante la escala GAS, logrando puntuaciones inferiores o iguales a 50 en la primera y segunda semana, para los sujetos P1 y P2. Esto pudo suceder debido a que los pacientes iniciaban un proceso de adaptación al proceso terapéutico con el robot; no obstante, el sujeto P1 mantuvo el mismo comportamiento hasta la tercera semana, progresivamente fue mejorando hasta lograr 62,7. Una representación gráfica de la tendencia de la escala GAS se pudo ver en la **Figura 42**, donde se puede evidenciar que le costó más al sujeto P1 lograr los objetivos de las actividades realizadas con el SpinBOT; además, para ambos pacientes se puede ver qué, semana a semana fueron progresando en el uso operativo del robot.

En la terapia con el robot los pacientes lograron interactuar con él, así como generar empatía asignándole un nombre, el paciente #1 lo nombró “Camilo” y el paciente #2 lo nombró

“Pipe”. Igualmente, el sistema robótico proporciona retroalimentación a los pacientes muy rápidamente en comparación con las terapias convencionales, esta realimentación realizada por el robot ocurre en 120 ms después de que el movimiento del ángulo activo haya excedido los “valores M”, que es casi imperceptible para los pacientes. Por el contrario, el tiempo requerido durante la terapia convencional donde el terapeuta debe procesar visualmente el movimiento del paciente y proporcionar retroalimentación sobre el gesto, muchas veces es tan larga que el paciente ha intentado varias veces hacer el movimiento solicitado, estableciendo así confusión en cuanto a qué estrategia mental el sujeto debe emplear en cada tarea. Este aspecto de la realimentación ágil, además es muy importante desde el punto de vista terapéutico, la inmediatez de la retroalimentación robótica en comparación con la terapia convencional, podría ayudar en el avance y beneficio de las terapias.

En este ámbito de aplicación, existe poca evidencia que defina el tiempo óptimo de las terapias con tecnologías robóticas, de la misma manera, el número de sesiones por semana y número de semanas necesarias para lograr un cambio significativo en el componente de rehabilitación del paciente [94]. Puede ser posible asegurar que, la combinación de las terapias con robots junto con la terapia convencional, puede dar mejores resultados en el componente de rehabilitación, pero para esto, por supuesto sería necesario otro tipo de estudio que determine la veracidad de esta hipótesis.

4.4.5 Discusión del desempeño del grupo de control

El grupo 2, es decir los sujetos P3 y P4, presentaron habilidades superiores de vocalización respecto al grupo 1, así como habilidades lingüísticas receptivas moderadas. Sin embargo, los pacientes que participaron activamente en las 4 semanas del proceso de rehabilitación, solamente fueron los pacientes que estuvieron en contacto con el robot. Posiblemente, la terapia convencional, o el contexto de la terapia, no cumplió las expectativas del niño ni de sus padres, por tal motivo se perdió la motivación. Partiendo de esta afirmación, el grupo de control permitió demostrar una importante diferencia entre la terapia convencional y las terapias asistidas con robots. En donde las terapias de rehabilitación con robots, contienen un elemento extra que motiva al niño a cumplir con sus terapias, además permiten a los pacientes de pediatría generar empatía con personajes artificiales. Lo anterior, podría justificarse por las diferencias que hubo en la motivación de los pacientes del grupo de control; debido a esto, el sujeto P3 desistió al proceso terapéutico porque la motivación no fue alta en su terapia convencional. El sujeto P4 completó las 4 semanas de tratamiento convencional. Por otro lado, la evaluación física final realizada por fisioterapia a los sujetos P3 y P4, mostró que el grupo de control, no presentó ningún cambio en sus ángulos de movilidad articular. Tampoco se encontró desarrollo de habilidades adyacentes de tipo cognitivo o físico.

Conclusiones

5.1 Conclusiones sobre el problema de investigación

Se realizó el diseño, implementación y evaluación de un ambiente robótico lúdico para la rehabilitación de niños con lesión del miembro superior, a través de la construcción de una herramienta de bajo costo compuesta por: Un guante didáctico, una plataforma tecnológica robótica denominada SpinBOT, un módulo de control, un computador personal y una herramienta de visualización. Mediante este tratamiento, se logró evidenciar el desarrollo de empatía inmediata que los sujetos de estudio mostraron con el robot; aumentando el avance de sus terapias en cuanto a la motivación y beneficios. Así mismo, los beneficios que se encontraron fueron, el desarrollo de habilidades adyacentes, tales como: Un mayor uso del miembro superior afectado, desarrollo de habilidades cognitivas al diferenciar entre el lado izquierdo y derecho, empezar a usar las palabras “atrás”, “adelante”, “izquierda” y “derecha” para dar indicaciones en la vida cotidiana, como reportaron los padres de los pacientes.

También, se obtuvo una importante recomendación por parte de los terapeutas. Ellos proponen mayor tiempo de intensidad en la terapia: Porque en numerosas ocasiones, la falta de profesionales médicos tiene como hándicap que las sesiones de rehabilitación, no tenga la frecuencia deseable. También sería importante destacar esto último: El robot es siempre una herramienta. Si tiene un mayor grado de autonomía será mejor, pero será siempre una herramienta que el fisioterapeuta, dirigido a más alto nivel por el médico especialista, usará para mejorar la motivación o implicación del paciente de pediatría.

Por otro lado, se observó que la rehabilitación robótica posee su propio enfoque de los problemas técnicos, que enfrentan ingenieros y diseñadores; esto significa que, para desarrollar nuevos sistemas de rehabilitación robótica, se requiere tener en cuenta lo siguiente: La adaptabilidad al usuario final, el consumo energético y la aceptabilidad de la tecnología por terapeutas e instituciones especializadas en rehabilitación.

Finalmente, aunque los adelantos tecnológicos en rehabilitación robótica infantil van en aumento, actualmente se hace necesario mayor disponibilidad de información sistemática, aumento del componente interdisciplinar, delimitación del problema, realimentación de resultados, terapias lúdicas; así como, establecer alianzas con instituciones especializadas de salud.

5.2 Limitaciones

Hay varias limitaciones que deben ser consideradas al interpretar los resultados de este estudio. No es posible determinar la eficacia de la intervención robótica, dado el limitado número de sujetos en este estudio. Esto se debió a que este trabajo de maestría, es una propuesta de plataforma que falta ser validada con pruebas clínicas suficientes, estos aspectos no fueron contemplados dentro de los objetivos de este trabajo y; por lo tanto, no se discutieron en este informe. También, el grado alto de sensibilidad en la tarea 1 causó cierta confusión en los pacientes al principio, ya que se debía tener mayor dominio del miembro superior porque el robot fue “más sensible” a los cambios en los ángulos activos. Es decir, por un lado, la tarea 3 fue desafiante porque debía lograr ángulos mayores para mover el robot, y la tarea 1 al inicio se volvió a veces compleja porque, los pacientes debían dejar la mano muy quieta de forma horizontal para poder frenar el SPINBOT.

Por otro lado, con el fin de validar el sistema se seleccionaron 2 pacientes para realizar 3 tareas durante 4 semanas, lo que correspondió a un grupo pequeño y un tiempo mínimo, en comparación al estándar de una prueba clínica. Esto se debió a que este trabajo de maestría, es una propuesta de plataforma y no un equipo terminado y validado con pruebas clínicas. No obstante, la validación clínica requiere un número significativos de pruebas, así como garantizar el recurso humano formado en investigación, que tenga acceso a herramientas de valoración cuantitativa (comprar y uso de escalas de evaluación), para que las sesiones de rehabilitación tengan una frecuencia deseable y así obtener los mejores resultados. También, el interés de las entidades que quieran incluir estos sistemas en los servicios que ofrecen; sin embargo, por tratarse de un trabajo de maestría, además sin ningún tipo de financiación, estos aspectos no fueron contemplados dentro de los objetivos de este trabajo y; por lo tanto, no se discutieron en este informe. No obstante, se considera que según lo presentado en la literatura [1][3] que, la obtención de sistemas de rehabilitación robótica que ayuden a mejorar el componente de rehabilitación en pacientes pediátricos, requiere de diseños y propuestas experimentales como la presentada en este trabajo de maestría en modalidad de investigación. Los aspectos en mención, se podrán tener en cuenta en trabajos posteriores.

5.3 Trabajos Futuros

En trabajos futuros se propone usar y probar otras plataformas comerciales, como lego Mindstorm en comparación con la plataforma que se desarrolló en este proyecto. Medir el avance en las habilidades cognitivas, es decir modificar los alcances del estudio piloto para realizar el cálculo del desarrollo cognitivo de los pacientes. También, se podrían evaluar

aspectos de visión del paciente ya que el sistema ejercita mucho la coordinación óculo manual. Además, para optimizar los resultados, se deberá hacer las terapias convencionales con el mismo grupo objetivo, donde se pueda realizar una comparación, y evaluar los pacientes antes del tratamiento con el sistema, y después del tratamiento con el sistema. Sería muy útil incluir aspectos de pruebas clínicas, tales como: Análisis dinámico, cinemático y cinético de la biomecánica de la persona, antes, durante y después del tratamiento. Además, por parte de los terapeutas surgieron las siguientes proyecciones:

1. Realizar una validación con pruebas clínicas del sistema con más pacientes, y por más tiempo. Aplicar la herramienta en pacientes con lesiones biomecánicas, porque en estos posiblemente se pueda evidenciar mayores cambios en los rangos activos de pronosupinación de antebrazo y flexoextensión de muñeca, en un tiempo corto.
2. Sería muy interesante en un trabajo futuro, integrar el sistema con la terapia de restricción de movimiento desarrollada por Edward Taub *et al* [108], para aumentar las posibilidades de ver un cambio positivo en el componente de rehabilitación del paciente.
3. En la herramienta de visualización, debería permitir llevar un registro de los datos del niño, como la edad, el diagnóstico (*mano derecha, izquierda, problema percepción visual, deficiencia cognitiva, etc*). Se debería documentar la fecha de la sesión y la hora, datos personales del paciente. Como su género. Sería interesante, que el programa generara un **.pdf** con el desempeño de la actividad y una gráfica tipo plot.
4. Aplicar escalas de evaluación al inicio y al final del estudio. Si se va a hablar de espasticidad, medir ese grado de espasticidad con la escala **Ashworth** modificada.
5. Se pueden proponer más actividades para realizar con el sistema, como sacar un número de pelotas de colores de un perímetro. Competencias entre niños, como una pista de carreras.
6. Añadir al SpinBOT características de Robot Social, que pudiera reconocer la voz del paciente, rostro, establecer algún enlace de tipo emocional. Sonidos de puerco espín.

5.4 Publicaciones

Se presenta una relación de las producciones científicas generadas, fruto del desarrollo de este proyecto de investigación, algunas ya han sido sometidas y están en proceso de revisión por los evaluadores o comités editoriales, y otras están en cola de espera para ser escritas y sometidos. En este momento hay un artículo publicado. Las revistas escogidas para publicar los artículos, son categoría **A2** y **A1**, según Publindex de Colciencias.

Artículos publicados en revistas

Acevedo, J. A., Bravo, E. C., & García, J. F. C. (2017). Aplicación de tecnologías de rehabilitación robótica en niños con lesión del miembro superior. REVISTA SALUD UIS, 49(1), 103-114. (**Categoría A2**)

Artículos sometidos en revistas

1. **Acevedo Londoño JA**, Caicedo Bravo E, Castillo García JF. Ambiente robótico lúdico para terapias de rehabilitación de pacientes pediátricos con lesión del miembro superior. Revista Iberoamericana de Automática e informática industrial RIAI. (Categoría A2)
2. **Acevedo Londoño JA**, Caicedo Bravo E. Beneficios de la robótica lúdica en el desarrollo de habilidades cognitivas. Revista Iberoamericana de Automática e informática industrial RIAI. (Categoría A2)

Artículos para ser sometidos en revistas

1. **Acevedo Londoño JA**, Caicedo Bravo E, Castillo García JF. Plataforma robótica lúdica para rehabilitación de miembros superior en paciente con parálisis cerebral espástica: Caso de estudio. Revista escuela de ingeniería de Antioquia EIA. (**En proceso**) (Categoría A2)
2. **Acevedo Londoño JA**, Caicedo Bravo E. Diseño y estudio piloto de un ambiente robótico lúdico para terapias de rehabilitación del miembro superior en niños. Revista Iberoamericana de Automática e informática industrial RIAI. (**En proceso**) (Categoría A2)
3. **Acevedo Londoño JA**, Caicedo Bravo E. A low-cost proposal for the therapies of children's rehabilitation with upper limb injury: SpinBOT. Revista ingeniería e innovación. (**Escrito**) (Categoría A1)

Bibliografía

-
1. Napper SA, Seaman RL. Applications of Robots in Rehabilitation. Rob Auton Syst. 1989;5(3):227–239.
 2. Preising B, Hsia TC, Mittelstadt B. A literature Review: Robots in Medicine. Eng Med Biol Mag IEEE. 1991;10(2):13–22.
 3. Hillman M. Rehabilitation Robotics from past to present - A Historical Perspective. Lecture Notes in Control and Information Science. Berlin: Springer; 2006. p. 25–44
 4. Taylor RH. A Perspective on Medical Robotics. Proc IEEE. 2006;94(9):1652–1664.
 5. Bann S, Khan M, Hernandez J, et al. Robotics in surgery. J Am Coll Surg. 2003;196(5):784–95.
 6. Parekattil SJ, Cohen MS. Robotic Microsurgery. In: Patel VR, ed. Robotic Urologic Surgery. London: Springer London; 2012 p.461–470.
 7. Colombo R, Pisano F, Micera S, Mazzone A, Delconte C, Carrozza M et al. Robotic Techniques for Upper Limb Evaluation and Rehabilitation of Stroke Patients. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng. 2005;13(3):311–324.

-
8. Reinkensmeyer D, Emken J, Cramer S. Robotics, Motor Learning, and Neurologic Recovery. *Annu. Rev. Biomed. Eng.* 2004;6(1):497-525.
 9. Frank Lopresti E, Mihailidis A, Kirsch N. Assistive technology for cognitive rehabilitation: State of the art. *Neuropsychol Rehabil.* 2004;14(2):5-39.
 10. Zhou H, Hu H. Human motion tracking for rehabilitation - A survey. *Biomed Signal Process Control.* 2008;3(1):1-18.
 11. Umemura A, Saito Y, Fujisaki K. A study on power-assisted rehabilitation robot arms operated by patient with upper limb disabilities. In: IEEE, editor. 2009 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics. Kyoto: IEEE; 2009. p. 451-6.
 12. Maciejasz P, Eschweiler J, Gerlach-Hahn K, Jansen-Troy A, Leonhardt S. A survey on robotic devices for upper limb rehabilitation. *J Neuroeng Rehabil.* 2014;11(1):1-29.
 13. Rodriguez-losada D. A Smart Walker for the Blind. *Robotics & automation Magazine.* 2008:75-83.
 14. Park K, Bien Z, Lee J, Kim B, Lim J, Kim J et al. Robotic smart house to assist people with movement disabilities. *Auton Robots.* 2006;22(2):183-198.
 15. Stefanov D, Bien Z, Bang W. The Smart House for Older Persons and Persons with Physical Disabilities: Structure, Technology Arrangements, and Perspectives. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2004;12(2):228-250.
 16. Sale P, Lombardi V, Franceschini M. Hand robotics rehabilitation: Feasibility and preliminary results of a robotic treatment in patients with hemiparesis. *Stroke Res Treat.* 2012(1):1-5
 17. Stein J, Bishop L, Gillen G, Helbok R. A pilot study of robotic-assisted exercise for hand weakness after stroke. *Am J Phys Med Rehabil.* 2011;90(11):887-894.
 18. Seitz R, Kammerzell A, Samartzi M, Jander S, Wojtecki L, Verschure PFMJ, et al. Monitoring of Visuomotor Coordination in Healthy Subjects and Patients with Stroke and Parkinson's Disease: An Application Study Using the PABLOR-Device. *Int J Neurorehabilitation.* 2014;1(2):1-8.
 19. Colomer C, Baldoví A, Torromé S, Navarro M, Moliner B, Ferri J et al. Efficacy of Armeo®Spring during the chronic phase of stroke. Study in mild to moderate cases of hemiparesis. *Neurología.* 2013;28(5):261-267.
 20. Wille D, Eng K, Holper L, Chevrier E, Hauser Y, Kiper D, et al. Virtual reality-based paediatric interactive therapy system (PITS) for improvement of arm and hand function in children with motor impairment - A pilot study. *Dev Neurorehabil.* 2009;12(1):44-52.
 21. Pyk P, Wille D, Chevrier E, Hauser Y, Holper L, Fatton I, et al. A paediatric interactive therapy system for arm and hand rehabilitation. *Vir Rehabil.* 2008:127-132.
 22. Harwin W, Ginige A, Jackson R. A robot workstation for use in education of the physically handicapped. *IEEE Trans Biomed Eng.* 1988;35(2):127-131.
 23. Hogan H, Krebs HI, Charnnarong J, Srikrishna P.; Sharon A. MIT-MANUS: A Workstation for Manual Therapy and Training I. *IEEE International Workshop on Robot and Human Communication.* IEEE; 1992. p. 161-165.
 24. Cook AM, Hoseit P, Liu KM, Lee RY, Zenteno-Sanchez CM. Using a Robotic Arm System to Facilitate Learning in Very Young Disabled Children. *IEEE Trans Biomed Eng.* 1988;35(2):132-137.
 25. Stanger CA, Cook AM. Using Robotics To Assist In Determining Cognitive Age Of Very Young Children. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society.* IEEE; 1990. p. 1911-1912.
 26. Cook A, Hussey S. *Assistive technologies.* St. Louis: Mosby; 2002.
 27. Cook A, Polgar J, Cook A, Hussey S. *Cook & Hussey's assistive technologies.* St. Louis, Mo.: Mosby Elsevier; 2008.

-
28. Cook AM, Liu KM, Hoseit P. Robotic arm use by very young motorically disabled children. *Assistive Technology* 1990;2(2):51-57.
 29. Cook AM, Meng MQH, Gu JJ, Howery K. Development of a robotic device for facilitating learning by children who have severe disabilities. *IEEE Trans neural Syst Rehabil Eng.* 2002;10(3):178–187.
 30. Adams K, Cook A, Encarnação P. Robots : Assistive technologies for play, learning and cognitive development. *Technol Disabil.* 2010;22:127–145.
 31. Cook AM, Howery K, Gu J, Meng M. Robot enhanced interaction and learning for children with profound physical disabilities. *Technol Disabil.* 2000;13(1):1-8.
 32. Cook A, Bentz B, Harbottle N, Lynch C, Miller B. School-Based Use of a Robotic Arm System by Children With Disabilities. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2005;13(4):452-460.
 33. Klamroth-Marganska V, Blanco J, Campen K, Curt A, Dietz V, Ettlin T, Felder M, Fellinghauer B, Guidali M, Kollmar A, Luft A, Nef T, Schuster-Amft C, Stahel W, Riener R. Three-dimensional, task-specific robot therapy of the arm after stroke: a multicentre, parallel-group randomised trial. *Lancet Neurol.* 2014 Feb;13(2):159-66.
 34. Giuseppe Turchetti, Nicola Vitiello, Member, IEEE, Leopoldo Trieste, Stefano Romiti, Elie Geisler, Silvestro Micera Why effectiveness of robot-mediated neuro-rehabilitation does not necessarily influence its adoption?
 35. <http://www.prisma-statement.org/>
 36. Harwin W, Ginige A, Jackson R. A robot workstation for use in education of the physically handicapped. *IEEE Trans Biomed Eng.* 1988;35(2):127-131.
 37. Blannarovich AM, Lathan CE. Design of Personal Augmentation Devices (PADS): Exploratory Agents for Children with Severe Disabilities. Proceedings of the first joint BMNE/EMBS conference serving humanity, advancing technology. Atlanta USA: IEEE; 1999.
 38. Higginbotham DJ, Bisantz AM, Sunm M, Adams K, Yik F. The effect of context priming and task type on augmentative communication performance. *Augment Altern Commun.* 2009;25(1):19–31.
 39. Tsotsos J, Verghese G, Dickinson S, Jenkin M, Jepson A, Milios E et al. PLAYBOT A visually-guided robot for physically disabled children. *Im Vision Comput.* 1998;16(4):275-292.
 40. Smith J, Topping M. The Introduction of a Robotic Aid to Drawing into a School for Physically Handicapped Children: A Case Study. *Br J Occupat Ther.* 1996;59(12):565-569.
 41. Rosier JC, Woerden JV, Kolk L, Driessen BJ, Kwee HH, Duimel JJ. REHABILITACION ROBOTICS: The Manus Concept. *Advanced Robotics “Robots in Unstructured Environments”*, 91 ICAR, Fifth International Conference on. Pisa, Italia: IEEE; 1991. p. 893–896.
 42. Kwee HH. Rehabilitation Robotics- Softening the Hardware. *Eng Med Biol Mag IEEE.* 1995;14(3):330- 335.
 43. Fasoli SE, Fragala PM, Hughes R, Hogan N, Stein J. Upper limb robot-assisted therapy : A new option for children with hemiplegia. *Technol. Disabil.* 2010; 22(4):193–198.
 44. Hocoma [Internet]. 2016 [Citado 15 Abril 2016]. Disponible en: https://www.hocoma.com/fileadmin/user/Dokumente/Armeo/bro_Armeo_Therapy_Concept_140226_en.pdf
 45. Hocoma [Internet]. 2016 [consultado 15 Abril 2016]. Disponible en: <https://www.hocoma.com>
 46. Sanchez RJ, Liu J, Rao S, et al. Automating arm movement training following severe stroke: Functional exercises with quantitative feedback in a gravity-reduced environment. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2006;14:378-389.
 47. The Use of Armeo Spring in Upper Extremity Rehabilitation [Internet]. 2016 [Citado 16 abril 2016]. Disponible en: <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/study/NCT02636205?view=record>

-
48. Cifuentes-Zapien JE, J. Valdez-Aguilar A, Rojas-Correa F, Rojas-Correa J, Chong-Quero JE, Pineda-Olivares A. A video game for an upper limb rehabilitation robotic system for children with cerebral palsy. *Pan American Health Care Exchanges*, 2011. p. 189–193.
 49. Qiu Q, Ramirez D, Saleh S, Fluet G, Parikh H, Kelly D et al. The New Jersey Institute of Technology Robot-Assisted Virtual Rehabilitation (NJIT-RAVR) system for children with cerebral palsy: a feasibility study. *J Neuroeng Rehabil*. 2009;6(1):40.
 50. YouRehab [Internet]. YouRehab. 2016 [Citado 16 Abril 2016]. Disponible en: <http://yourehab.com/>
 51. Wood KA, Lathan CE, Kaufman KR. Development of an interactive upper extremity gestural robotic feedback system: from bench to reality. 31st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Minneapolis: IEEE; 2009. p. 5973–6.
 52. Calderita LV, Bustos P, Suarez Mejías C, Fernandez F, Bandera A. THERAPIST: An autonomous and socially interactive robot for motor and neurorehabilitation therapies for children. 7th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare and Workshops. 2013;374–377.
 53. Malik NA, Hanapih FA, Rahman RAA, Yussof H. Emergence of Socially Assistive Robotics in Rehabilitation for Children with Cerebral Palsy: A Review. *Int J Adv Robot Syst*. 2016;13(3):135.
 54. Fasoli SE, Fragala-Pinkham M, Hughes R, et al. Upper limb robotic therapy for children with hemiplegia. *Am J Phys Med Rehabil*. 2008;87:929-936.
 55. Wood KA, Lathan CE, Kaufman KR. Development of an interactive upper extremity gestural robotic feedback system: from bench to reality. 31st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Minneapolis: IEEE; 2009.
 56. Hayes AP, Preston N, Holt R, Allsop M, Levesley M, Bhakta B. Engaging children in healthcare technology design: developing rehabilitation technology for children with cerebral palsy. *J. Eng. Des*. 2010;2(5):579–600.
 57. Green D, Wilson P. Use of virtual reality in rehabilitation of movement in children with hemiplegia – A multiple case study evaluation. *Disabil Rehabil*. 2012;34(7):593-604.
 58. Winkels DGM., Kottink AIR, Temmink RJ, Nijlant MM, Buurke JH. Wii-habilitation of upper extremity function in children with cerebral palsy. An explorative study. *Dev Neurorehabil*. 2013;16(1):44–51.
 59. Mejías CS, Echevarría C, Nuñez P, Manso L, Bustos P, Leal S, Parra C. Ursus A Robotic Assistant for Training of Children with Motor Impairments. In: Pons JL, Pajaro M, Torricelli D, Editors. *Converging Clinical and Engineering Research on Neurorehabilitation*. Springer, 2013. p. 249–253.
 60. Wood KC, Lathan CE Kaufman KR. Feasibility of gestural feedback treatment for upper extremity movement in children with cerebral palsy. *Trans neural Syst Rehabil Eng*. 2013;21(2):300–305.
 61. Shire K, Hill L, Snapp-Childs W, Bingham G, Kountouriotis G, Barber S et al. Robot Guided “Pen Skill” Training in Children with Motor Difficulties. *PLOS ONE*. 2016;11(3):1-14
 62. P. U. Velarde, “Lesiones de Nervios Periféricos en Miembro Superior,” *Rev. Horiz. Med.*, vol. 10, no. 1, pp. 68–72, 2010.
 63. Biddiss E, Andrysek J. In: Tom Chau T, Fairley, editors. *Upper and Lower Extremity Prosthetics for Children and Youth. Paediatric Rehabilitation Engineering*. Taylor & Francis Group; 2011. p. 189–239.
 64. Reddihough D, Collins K. The epidemiology and causes of cerebral palsy. *Aust J Physiother*. 2003;49(1):7-12.
 65. Miller F. *Cerebral palsy*. New York: Springer; 2005.

66. B. P. López, “Terapia ocupacional en discapacitados físicos Teoría y práctica,” Madrid - España: Editorial médica panamericana, 2003, pp. 61–66.
67. Maciejasz P, Eschweiler J, Gerlach-hahn K, Jansen-troy A, Leonhardt S. A survey on robotic devices for upper limb rehabilitation. *J Neuroeng Rehabil.* 2014;11(3):1–29.
68. Andrade A, Pereira A, Walter S, Almeida R, Loureiro R, Compagna D et al. Bridging the gap between robotic technology and health care. *Biomed Signal Process Control.* 2014;10:65-78.
69. Acevedo, J. A., Bravo, E. C., & García, J. F. C. (2017). Aplicación de tecnologías de rehabilitación robótica en niños con lesión del miembro superior. *REVISTA SALUD UIS*, 49(1), 103-114.
70. Alves N, Blain S, Falk T, Leung B, Memarian N, Chau T. Access Technologies for Children and Youth with Severe Motor Disabilities. In: Tom Chau T, Fairley, editors. *Paediatric Rehabilitation Engineering From Disability to Possibility.* Taylor & Francis Group; 2011. p. 45–84.
71. Teodorescu H-N. Teodorescu H. N. “New technologies in rehabilitationM General trends.” In: *Intelligent Systems and Technologies in Rehabilitation Engineering.* CRC PRESS LLC; 2001.
72. Zhou H, Hu H. Human motion tracking for rehabilitation - A survey. *Biomed Signal Process Control.* 2008;3(1):1-18.
73. O'Dell M, Lin C, Harrison V. Stroke Rehabilitation: Strategies to Enhance Motor Recovery. *Annu Rev Med.* 2009;60(1):55-68.
74. Weiss PLT, Weintraub N, Laufer Y. In: Tom Chau T, Fairley, editors. *Virtual Reality Therapy in Paediatric Rehabilitation. Paediatric Rehabilitation Engineering From Disability to Possibility.* Taylor & Francis Group; 2011. p. 291–328.
75. Leite I, Pereira A, Mascarenhas S, Martinho C, Prada R, Paiva A. The influence of empathy in human–robot relations. *Int J Hum Comput Stud.* 2013;71(3):250-260.
76. Fong T, Nourbakhsh I, Dautenhahn K. A survey of socially interactive robots. *Rob Auton Syst.* 2003;42(4):143-166.
77. Eberhardt SP, Osborne J, Rahman T. Classroom evaluation of the Arlyn Arm robotic workstation. *Assist Technol.* 2000;12(2):132–43.
78. Topping M, Ed BAC, Smith J, Hons BA. Handy 1 : a robotic system to assist the severely disabled. *TechKnowLogia.* 2002;76–77.
79. Loos HM Van der, Reinkensmeyer DJ. Rehabilitation and Health Care Robotics. *Handbook of Robotics.* Springer; 2008. p. 1223–1251.
80. Gobernacion del Quindio. POLITICA PÚBLICA DEPARTAMENTAL DE DISCAPACIDAD. 2014 – 2024
81. WHO. World report on disability: World Health Organization; 2011.
82. Colombia. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Censo 2005. [internet]. [consultado 2014 Dic 2]. Disponible en: http://www.dane.gov.co/censo/files/discapacidad/discapacidad_mundo.pdf
83. L. Helena, L. Agudelo, and V. Seijas, “La discapacidad en Colombia : una mirada global Colombia” *Rev. Colomb. Med. Física y Rehabil.*, vol. 22, no. 2, pp. 164–179, 2012.
84. <http://www.analog.com/en/index.html>
85. Miguel Cruz, Antonio; Ríos Rincón, Adriana María; Haugan, Gregory. Measuring the performance of maintenance service outsourcing. *Biomedical Instrumentation and Technology.* 2013. 47 (6): 524-531
86. Pedro Encarnação, Liliana Alvarez, Adriana Ríos, Catarina Maya, Kim Adams, and Al Cook. Using virtual robot-mediated play activities to assess cognitive skills. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology.* Published Online: Apr 18. 2013. In Press. DOI: 10.3109/17483107.2013.782577
87. <https://sourceforge.net/projects/arduinojava/files/v2.5.0/>

-
88. Poletz L, Adams K, Encarnação P, Cook A. Robot skills and cognitive performance of preschool children. *Technology and Disability* 22(3):117-126
 89. Martinez-Ruiz JF. Los factores definitorios de los grandes grupos de edad de la población: tipos, subgrupos y umbrales. *Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*. 2005;6(190)
 90. Brooke, J.: SUS: A "Quick and Dirty" Usability Scale. In: Jordan, P.W., Thomas, B., Weerdmeester, B.A., McClelland (eds.) *Usability Evaluation in Industry*, pp. 189–194. Taylor & Francis, London (1996)
 91. Kiresuk TJ, Sherman RE. Goal attainment scaling: A general method for evaluating comprehensive community mental health programs. *Community Ment Health J*. 1968; 4:443-453.
 92. Cook A, Bentz B, Harbottle N, Lynch C, Miller B. School-Based Use of a Robotic Arm System by Children With Disabilities. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2005;13(4):452-460.
 93. Cook AM, Meng MQH, Gu JJ, Howery K. Development of a robotic device for facilitating learning by children who have severe disabilities. *IEEE Trans neural Syst Rehabil Eng*. 2002;10(3):178–187.
 94. Wood KC, Lathan CE, Kaufman KR. Feasibility of gestural feedback treatment for upper extremity movement in children with cerebral palsy. *Trans neural Syst Rehabil Eng*. 2013;21(2):300–305.
 95. Woods S, Dautenhahn K, Schulz J. The design space of robots: investigating children's views. In: *RO-MAN 2004 13th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication*. Karashiki, Okayama: IEEE; 2004. p. 47–52. <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1374728>
 96. Encarnação P, Piedade G, Cook A, Adams K, Gil I, Maya C, et al. Virtual robot and virtual environments for cognitive skills assessment. In: *Assistive Technology Research Series [Internet]*. 2011 [cited 2014 Dec 3]. p. 508–16. Available from: <http://www.ebooks.iospress.nl/volumearticle/1383>
 97. Forman G. Observations of Young Children Solving Problems with Computers and Robots. *J Res Child Educ*. 2014;1(2):60–74.
 98. Kiresuk TJ, Sherman RE. Goal attainment scaling: A general method for evaluating comprehensive community mental health programs. *Community Ment Health J*. 1968; 4:443-453.
 99. R. W. Schlosser, "Goal attainment scaling as a clinical measurement technique in communication disorders: a critical review.," *J. Commun. Disord.*, vol. 37, no. 3, pp. 217–39, 2004.
 100. Turner-Stokes L., Goal Attainment Scaling (GAS) in Rehabilitation: A practical guide, *Clinical Rehabilitation* 2009; 23(4): 362-70.
 101. Turner-Stokes L, Williams H, Johnson J., Goal Attainment Scaling: does it provide added value as a person-centred measure for evaluation outcome in neurorehabilitation following acquired brain injury? *Journal of Rehabilitation Medicine* 2009; 41(7): 528-35.
 102. Brooke, J.: SUS: A "Quick and Dirty" Usability Scale. In: Jordan, P.W., Thomas, B., Weerdmeester, B.A., McClelland (eds.) *Usability Evaluation in Industry*, pp. 189–194. Taylor & Francis, London (1996)
 103. Browne MW, Cudeck R (1993) Alternative ways of assessing model fit. In: Bollen KA, Long JS (eds) *Testing structural equation models*. Sage, Beverly Hills, pp 136–162
 104. Borsci S, Federici S, Lauriola M. On the dimensionality of the System Usability Scale: a test of alternative measurement models. *Cogn Process* (2009) 10:193–197
 105. Finstad K. The System Usability Scale and Non-Native English Speakers. *Journal of usability studies*. 2006;1(4): 185-188

-
106. Bangor A, Kortum PT, Miller JT. Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. *Journal of Usability Studies*. 2009; 4(3), 114-123
 107. Kwee H, Quaedackers J. Pocus project adapting the control of the manus manipulator for persons with cerebral palsy. *Proc. ICORR: Int. Conf. Rehabil. Robot.*, Stanford, CA, 1999: 106–114.
 108. E. Taub, G. Uswatte, y R. Pidikiti, “Constrain-Induced Movement Therapy: A New Family of Techniques with Broad Application to Physical Rehabilitation-A Clinical Review,” *J. Rehabil. Res. Dev.*, vol. 36, no. 3, pp. 237–251, 1999.

ANEXOS

ANEXO 1 - Manual usuario

ANEXO 2 - Valoración rehabilitación MMSS

ANEXO 3 - SUS-System-Usability-Scale

ANEXO 4 - Formato GAS

ANEXO 5 - Recolección de desempeños en sesiones

ANEXO 6 - Acta aval

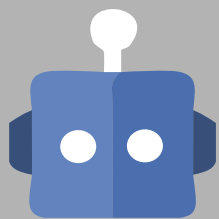
ANEXO 7,8 - terapeutas y acudientes

ANEXO 9 - valoraciones PSICOLÓGICAS “el robot”

ANEXO 10. Formato Consentimiento Informado Autorización Padres

ANEXO 11. Formato Asentimiento Informado Niñ@s

**UNA PROPUESTA PARA LA REHABILITACIÓN DE NIÑOS CON LESIÓN DEL MIEMBRO SUPERIOR
BASADO EN UN AMBIENTE ROBÓTICO LÚDICO**, trabajo desarrollado por el estudiante de
maestría en ingeniería con énfasis en Automática **JAIRO ANDRÉS ACEVEDO LONDOÑO**.



Manual de usuario: Software SPINBOT soft 1.0

Esta es una aplicación para la planeación y gestión de la terapia con el Robot SPINBOT. Se compone de un menú estático donde se selecciona la dificultad, un botón AUTOCALIBRAR que calcula los ángulos activos máximos y los visualiza, y un botón EXPORTAR A EXCEL, que permite exportar el histórico de los datos almacenados y visualizados en la tabla.

Guía de instalación

1. Si dispone del instalador, ejecute el archivo SPINSOFT.exe
2. Si no dispone del instalador, ejecute el archivo SPINSOFT.jar

Pantalla inicial

Hora	Flexoextension	Pronosupinacion
10:22:16	8.28	7.59
10:22:16	0.0	9.84
10:22:16	0.0	10.92
10:22:16	0.0	10.9
10:22:16	0.0	10.95
10:22:17	8.19	0.0
10:22:17	12.41	0.0
10:22:17	13.48	0.0
10:22:17	14.19	0.0
10:22:17	15.32	0.0
10:22:17	16.19	0.0
10:22:18	16.87	0.0
10:22:18	17.23	0.0
10:22:18	17.7	0.0
10:22:18	0.0	18.55
10:22:18	0.0	18.45
10:22:18	0.0	18.72
10:22:19	0.0	18.9
10:22:19	0.0	19.24
10:22:19	0.0	18.26
10:22:19	0.0	17.23
10:22:19	0.0	17.7
10:22:19	0.0	17.8
10:22:20	0.0	18.19
10:22:20	0.0	18.55
10:22:20	0.0	18.45
10:22:20	0.0	18.72
10:22:20	0.0	18.9
10:22:21	0.0	18.9
10:22:21	0.0	43.48
10:22:21	0.0	15.97
10:22:21	0.0	44.29
10:22:21	0.0	20.1
10:22:21	0.0	33.98
10:22:22	0.0	46.19
10:22:22	0.0	0.0
10:22:22	0.0	0.0
10:22:22	-54.97	0.0
10:22:22	-52.97	0.0
10:22:22	-50.85	0.0
10:22:23	-43.48	0.0
10:22:23	-15.97	0.0

Pasos para la Auto-calibración

1. Asegurese que el módulo de control esta en estado de espera. (LED azul encendido)
2. Si desea calcular los ángulos de movimiento máximos, presione el botón AUTOCALIBRAR.
3. El LED azul parpadeará indicando que el módulo de control esta leyendo ángulos.
4. Indique al paciente que haga los movimiento de flexión y extensión. Recuerde que tiene 15 segundos.
5. El sistema da 5 segundos para que cambie a probación y supinación de antebrazo.
6. Indique al paciente que haga el movimiento de pronación y supinación de antebrazo. Recuerde que tiene 15 segundos.
7. Los ángulos se visualizan. EL módulo de control espera a que el usuario presione uno de los botones. (LED verde encendido)

Pasos para la toma de datos

1. Si se realizó la autocalibración, asegurese que el LED verde esta encendido. Seleccione la dificultad que desee.
2. Haga Clic en el botón SELECCIONAR.
3. El modulo de control calcula de manera automática los valores M.
4. El programa hará las lecturas de los ángulos de movimiento que haga el paciente, y los va mostrando en la tabla ubicada al lado izquierdo.
5. Para exportar los datos tomados haga Clic en el botón EXPORTAR A EXCEL.
6. Si desea hacer otra prueba, se debe reiniciar el programa, o resetear manualmente el módulo de control.

Pasos para la toma de datos sin autocalibrar.

Otro modo de operación del SpinBOT es sin la opción de AUTOCALIBRAR Es decir, los máximos y mínimos puede almacenarse previamente.

1. Asegurese que el LED verde del módulo de control esta encendido.
3. Seleccione una dificultad y después haga clic en el botón SELECCIONAR.
4. El programa hará las lecturas de los ángulos de movimiento que haga el paciente, y los va mostrando en la tabla ubicada al lado izquierdo.
5. Para exportar los datos tomados haga Clic en el botón EXPORTAR A EXCEL.
6. Si desea hacer otra prueba, se debe reiniciar el programa, y resetear manualmente el módulo de control.

Requisitos del sistema

- * Debe tener microsoft Excel instalado, superior a 2010
- * Maquina virtual Java superior a 1.6
- * Preferiblemente sistema operativo Windows 7.
- * Lo requisitos de hardware son los mismos que para windows 7.

CONTACTOS



315 457 5620



PPIEE



ingenierojairo@outlook.com



UNIVERSIDAD DEL VALLE
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN PERCEPCIÓN Y SISTEMAS INTELIGENTES – PSI

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

UNA PROPUESTA PARA LA REHABILITACIÓN DE NIÑOS CON LESIÓN DEL MIEMBRO SUPERIOR BASADO EN UN AMBIENTE ROBÓTICO LÚDICO

VALORACIÓN DE REHABILITACIÓN

Fecha: _____

Código de participante:

DIAGNÓSTICO MÉDICO

ANTECEDENTES

EVALUACIÓN

RANGOS DE MOVILIDAD ARTICULAR

MOVIMIENTO	RANGO INICIAL	RANGO FINAL	NORMALIDAD DEL RANGO
Flexión de hombro			180º
Abducción de hombro			180º
Flexión de codo			145º
Extensión de codo			0º
Supinación			90º
Pronación			90º
Flexión de muñeca			90º
Extensión de muñeca			70º

FUERZA MUSCULAR: MRC

MOVIMIENTO	INICIAL	FINAL	IDEAL
Flexores de hombro			
Extensores de hombro			
Abductores de hombro			
Flexores de codo			
Extensores de codo			
Supinadores			
Pronadores			
Agarre			

TONO MUSCULAR (Ashworth modificada Bohanson y Smith 1987)

Puntaje	Descripción	Grupo muscular
0	No aumento del tono	
1	Ligero aumento de la respuesta del músculo al movimiento (flexión o extensión)	
2	Ligero aumento de la respuesta del músculo al movimiento en flexión o extensión seguido de una mínima resistencia en todo el resto del arco de recorrido (menos de la mitad)	
3	Notable incremento en la resistencia del músculo durante la mayor parte del arco del movimiento articular, pero la articulación se mueve fácilmente	
4	Marcado incremento en la resistencia del músculo; el movimiento pasivo es difícil	
5	Las partes afectadas están rígidas en flexión o extensión cuando se mueven pasivamente	

MACS: Sistema de clasificación de la habilidad manual para niños con parálisis cerebral

NIVEL	DESCRIPCIÓN	PUNTAJE
I	Manipula objetos fácil y exitosamente	
II	Manipula la mayoría de los objetos pero con un poco de reducción en la calidad y/o velocidad del logro	
III	Manipula objetos con dificultad: necesita ayuda para preparar y/o modificar la actividad	
IV	Manipula una limitada selección de objetos fácilmente manipulables en situaciones adaptadas	
V	No manipula objetos y tiene habilidad severamente limitada para ejecutar aun acciones sencillas	

FIM: Medida de independencia funcional

CUIDADO PROPIO	INICIO	FINAL	PUNTUACIÓN
Comida			7: Independencia completa 6: Independencia con adaptaciones 5: supervisión 4: mínima asistencia 75% o mas 3: moderada asistencia 50% o mas 2: máxima asistencia 25% o mas 1: Asistencia total 0% o mas
Aseo			
Vestimenta parte alta del cuerpo			
Vestimenta parte baja del cuerpo			
Inodoro			
CONTROL DE ESFINTERES			
Manejo de vejiga			
Manejo de intestino			
MOVILIDAD			
Transferencia cama, silla			
Baño			PUNTAJE MIN: 18 PUNTAJE MAX: 126
Ducha			
LOCOMOCIÓN			
Camina/silla de ruedas			
Escaleras			
COMUNICACIÓN			
Comprensión			
Expresión			
CONEXIÓN SOCIAL			
Interacción social			
Resolución de problemas			
Memoria			
TOTAL			



UNIVERSIDAD DEL VALLE
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN PERCEPCIÓN Y SISTEMAS INTELIGENTES – PSI

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

UNA PROPUESTA PARA LA REHABILITACIÓN DE NIÑOS CON LESIÓN DEL MIEMBRO SUPERIOR BASADO EN UN AMBIENTE ROBÓTICO LÚDICO

Escala de evaluacion de usabilidad (SUS)

SUS-System-Usability-Scale

© Digital Equipment Corporation, 1986.

	Muy en desacuerdo				Muy de acuerdo
1. Pienso que me gustaria usar este Sistema y software con frecuencia.					
	1	2	3	4	5
2. Creo que este sistema es innecesario y complejo.					
	1	2	3	4	5
3. Pienso que el software fue facil de usar.					
	1	2	3	4	5
4. Para usar este software necesitaria soporte de una persona experta, para ser capaz de usar este sistema.					
	1	2	3	4	5
5. Encontre varias funciones bien integradas en el software.					
	1	2	3	4	5
6. Pienso que el software tiene muchas inconsistencias.					
	1	2	3	4	5
7. Imaginaria que la mayoría de personas podrían aprender a usar este sistema muy rápido.					
	1	2	3	4	5
8. Encontre este software muy incomodo de usar.					
	1	2	3	4	5
9. Me sentí muy confiado usando este software					
	1	2	3	4	5
10. Necesite aprender muchas cosas nuevas antes de usar con libertad este software.					
	1	2	3	4	5

Goal Attainment Scaling Form

Goal Attainment Scaling Goals			
	<u>Goal 1:</u>	<u>Goal 2:</u>	<u>Goal 3:</u>
Time Line			
ICF-CY Component			
Level of Attainment			
Much less -2 than expected			
Somewhat less -1 than expected			
Expected level 0 of outcome			
Somewhat more +1 than expected			
Much more +2 than expected			
Comments:			

GOAL ATTAINMENT SCALING FORM

Goal Area:

ICF-CY Component:

Time Line:

-2

-1

0

+1

+2

Source: Janette McDougall, Thames Valley Children's Centre

List of Chapters in the ICF-CY, their Level-One Codes, and Basic Content

Body Functions/Impairments
b1. Mental functions (temperament, energy, attention, memory, emotion, cognition)
b2. Sensory functions and pain (seeing, hearing, taste, smell, touch, pain)
b3. Voice and speech functions (articulation, fluency)
b4. Functions of cardiovascular, haematological, immunological, respiratory systems
b5. Functions of the digestive, metabolic, and endocrine systems
b6. Genitourinary and reproductive functions
b7. Neuromusculoskeletal and movement-related functions (involuntary, reflex, gait)
b8. Functions of the skin and related structures (skin, hair, nails)
Activity and Participation/Activity Limitations and Participation Restrictions
d1. Learning and applying knowledge (thinking, reading, writing, calculating)
d2. General tasks and demands (daily routines, handling stress, managing behaviour)
d3. Communication (receptive, productive, using communication devices)
d4. Mobility (changing positions, dexterity, walking, moving, using transportation)
d5. Self care (caring for body, dressing, eating, looking after health/safety)
d6. Domestic life (shopping, household tasks)
d7. Interpersonal relationships (informal and formal relationships)
d8. Major life areas (education, work, engagement in play)
d9. Community, social, and civic life (community/social activities, recreation/leisure)
Environmental Factors
e1. Products and technology (availability of products and technology)
e2. Natural environment and human-made changes (terrain, climate, air quality)
e3. Support and relationships (informal and formal support)
e4. Attitudes (attitudes of others toward individual)
e5. Services, systems, and policies (health, economic, political, legal, housing, etc.)

Source: Janette McDougall, Thames Valley Children's Centre



Código del participante: _____ edad: _____ Lesión: _____

[illegible]

ACTA DE APROBACIÓN N° 002 - 017

Proyecto: **“UNA PROPUESTA PARA LA REHABILITACIÓN DE NIÑOS CON LESIÓN DEL MIEMBRO SUPERIOR BASADO E UN AMBIENTE ROBÓTICO LUDICO”**

Sometido por: **EDUARDO CAICEDO BRAVO / JAIRO ANDRÉS ACEVEDO LONDOÑO**

Código Interno: **221 - 016** Fecha en que fue sometido: **30** **01** **2017**

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) | |

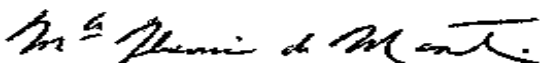
2. El presente proyecto fue evaluado y aprobado por el Comité:

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.

- Problemas imprevistos que involucren riesgos para los sujetos u otras personas.
- b. Cualquier cambio o modificación a este proyecto que no haya sido revisado y aprobado por el Comité.
9. El presente proyecto ha sido **aprobado** por un periodo de **1 año** a partir de la fecha de aprobación. Los proyectos de duración mayor a un año, deberán ser sometidos nuevamente con todos los documentos para revisión actualizados.
10. El **investigador principal** deberá informar al Comité:
- Cualquier cambio que se proponga introducir en este proyecto. Estos cambios no podrán iniciarse sin la revisión y aprobación del Comité excepto cuando sean necesarios para eliminar peligros inminentes para los sujetos.
 - Cualquier problema imprevisto que involucre riesgos para los sujetos u otros.
 - Cualquier evento adverso serio dentro de las primeras 24 horas de ocurrido, al secretario(a) y al presidente (Anexo 1).
 - Cualquier conocimiento nuevo respecto al estudio, que pueda afectar la tasa riesgo/beneficio para los sujetos participantes.
 - cualquier decisión tomada por otros comités de ética.
 - La terminación prematura o suspensión del proyecto explicando la razón para esto.
 - El investigador principal deberá presentar un informe al final del año de aprobación. Los proyectos de duración mayor a un año, deberán ser sometidos nuevamente con todos los documentos para revisión actualizados.

Firma:  Fecha: 07 02 2017

Nombre: **MARIA FLORENCIA VELASCO DE MARTINEZ**

Capacidad representativa: **PRESIDENTA** Teléfono: 5185677

CERTIFICACIÓN DE LA FACULTAD DE SALUD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE

Por medio de la presente, certifico que la Facultad de Salud de la Universidad del Valle aprueba el proyecto arriba mencionado y respeta los principios, políticas y procedimientos de la Declaración de Helsinki de la Asamblea Médica Mundial, de la Resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud y de la reglamentación vigente en investigación de la Universidad del Valle.

Firma:  Fecha: 07 02 2017

Nombre: **ADALBERTO SÁNCHEZ G.**

Capacidad representativa: **VICEDECANO DE LA FACULTAD DE SALUD** Teléfono: 5185680

Anexo 7

Preguntas a los terapeutas:

1. ¿Crees que este tipo de ayuda tecnológica ha ayudado al avance de la terapia?
2. ¿Cómo evalúas la herramienta, es práctica para terapias o no?
3. ¿Qué te hubiera gustado que incluyera el sistema?
4. En cuanto a los criterios de inclusión. ¿Fueron adecuados o no?, ¿Qué se debería agregar o quitar?
5. Dentro de las terapias realizadas utilizando el ambiente robótico, ¿qué ayudaría a mejorar la motivación? Ejemplo: Mas colores en el robot, tamaño, sonidos o tipo de disfraz con el robot.

Anexo 8

Preguntas a los acudientes, padres o cuidadores:

1. ¿Cómo crees que el niño reaccionó al sistema robótico lúdico?
2. ¿Has notado algún cambio en el comportamiento del niño durante el proyecto?
3. ¿Has notado algún cambio en el comportamiento social del niño durante el proyecto?
4. ¿Has notado algún cambio en las habilidades del lenguaje del niño durante el proyecto?
5. ¿Qué cambios recomendaría respecto al sistema y lo que se puede hacer con él?
6. ¿Reacciona diferente el niño con el sistema robótico frente a juguetes y otros dispositivos usados en terapias?



Calarcá, enero de 2017

ASUNTO: Valoración pre y post terapia “SpinBOT o el Robot”.

Datos Sujeto:

Paciente: #1

Edad: 12 años

Este informe se realiza con el objetivo de generar información acerca de la valoración psicológica del menor mencionado anteriormente antes del experimento: “SpinBOT” y después de la actividad experimental.

- ✓ **Valoración Previa:** El adolescente ingresa a la valoración en compañía de su acudiente. El menor se visualiza ansioso y emocionado por la experiencia con el Robot. Su madre menciona que es un niño muy activo y responsable con las actividades a las que se compromete. En la valoración no se evidencian dificultades sociales que afecten al menor a parte de las relacionadas con su discapacidad. Se realiza inventario de depresión y su puntuación fue 1, en el inventario de ansiedad su resultado fue 5.
- ✓ **Valoración post experimento:** El menor y su acudiente refieren haber tenido una adecuada experiencia con el robot, en donde el menor era puntual y responsable con sus citas establecidas, también menciona que su proceso físico y el manejo del aparato ya se le hacía más sencillo. Se realizaron los inventarios de depresión y ansiedad que se le hicieron en la valoración previa y su resultado fue el siguiente Ansiedad 4 y depresión 1. Lo anterior refiere que sus niveles de ansiedad disminuyeron significativamente y los depresivos se mantuvieron estables, sin embargo, los factores emocionales de una persona pueden ser modificados por un gran número de determinantes, con lo cual su cambio de estados ansiosos puede ser causal tanto de su actividad con el experimento o como de otra situación social. Retomando el seguimiento que se le hizo al paciente durante el tiempo de prueba se lograba visualizar una motivación importante al momento de saber que tenía proceso terapéutico con el robot, esto para el menor era realmente relevante y lo hacía saber al personal de la institución mostrándose activo. Con el menor Juan Esteban no se evidenciaron mayores cambios actitudinales y emocionales debido a que cuando empezó el trabajo con el robot ya tenía unos niveles adecuados de salud mental.

ALEJANDRO VALENCIA AGUIRRE

Psicólogo Asociación Abrazar.

T.P.120046



Calarcá, enero de 2017

ASUNTO: Valoración pre y post terapia “SpinBOT o el robot”.

Datos Sujeto:

Paciente: #2

Edad: 17 años

Este informe se realiza con el objetivo de generar información acerca de la valoración psicológica del menor mencionado anteriormente antes del experimento: “SpinBOT” y después de la actividad experimental.

- ✓ **Valoración Previa:** El adolescente se encuentra ansioso por hacer parte de la prueba “El Robot” sin embargo se muestra equilibrado y dando manejo a sus emociones. Se denota dificultades de aprendizaje y procesos cognitivos en lentitud, se realiza inventario de depresión y nos genera 8 como resultado, significando esto niveles no adecuados de estados depresivos; en el inventario de ansiedad su resultado fue 6, estando en un nivel aceptable para su edad y discapacidad.
- ✓ **Valoración post experimento:** El adolescente refiere haber avanzado en el aprendizaje con el robot, estableciendo conversación acerca de su manejo y su desempeño en el mismo, el joven establece que sus situaciones emocionales han estado adecuadas sin sobresaltos ni dificultades. Se realizaron los inventarios de ansiedad y depresión que se le hicieron en la valoración previa y su resultado fue; depresión 3 y ansiedad 6. Lo anterior refiere que sus niveles de depresión disminuyeron significativamente y los de ansiedad se mantuvieron estables, sin embargo, los factores emocionales de una persona pueden ser modificados por un gran número de determinantes, con lo cual su cambio de estados depresivos puede ser causal tanto de su actividad con el experimento o como de otra situación social. Retomando el seguimiento que se le hizo al paciente durante el tiempo de prueba se lograba visualizar una motivación importante al momento de saber que tenía proceso terapéutico con el robot, esto para el menor era realmente relevante y lo hacía saber al personal de la institución mostrándose activo.

ALEJANDRO VALENCIA AGUIRRE

Psicólogo Asociación Abrazar.

T.P.12004



UNIVERSIDAD DEL VALLE
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN PERCEPCIÓN Y SISTEMAS INTELIGENTES – PSI

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:
UNA PROPUESTA PARA LA REHABILITACIÓN DE NIÑOS CON LESIÓN DEL MIEMBRO SUPERIOR
BASADO EN UN AMBIENTE ROBÓTICO LÚDICO

FORMATO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PADRES DE NIÑOS CON DISCAPACIDAD
MOTRIZ PARA AUTORIZAR LA PARTICIPACIÓN EN PROTOCOLOS DE INVESTIGACIÓN

Apreciado Padre de Familia Y/o Acudiente:

El proyecto de investigación UNA PROPUESTA PARA LA REHABILITACIÓN DE NIÑOS CON LESIÓN DEL MIEMBRO SUPERIOR BASADO EN UN AMBIENTE ROBÓTICO LÚDICO tiene como objetivo general: Diseñar e implementar un ambiente de robótica lúdica y de asistencia tecnológica para la rehabilitación de niños con lesión del miembro superior, a partir del análisis y medida de los rangos de movilidad articular en dos (2) niños con discapacidad del miembro superior, que asisten a la asociación Abrazar de Calarcá departamento del Quindío.

El Equipo de investigación está constituido por profesores y estudiantes de la Universidad del Valle, llevará a cabo aplicación de cuestionario de entrevista inicial, evaluación de los niños con discapacidad motriz y observaciones de sesiones de intervención. La terapia se realizara 2 veces por semana, durante 4 semanas. Cada terapia tendrá una duración de hasta 50 minutos. Los niños y niñas con discapacidad del miembro superior deberán realizar acciones de control sobre un robot llamado SPINBOT mediante un guante didáctico, ubicado en la mano lesionada, además dotado de un acelerómetro que medirá los ángulos activos para flexión extensión de muñeca y pronosupinación. Los ángulos se almacenaran en un histórico para su posterior análisis (Excel). Así mismo, el robot es un puercoespín para generar interés y confianza en los niños y padres o cuidadores.

Para lo anterior, el Equipo de investigación solicita al padre/madre o acudiente, autorizar a integrantes del equipo la aplicación de cuestionarios, observaciones y registros (fotográficos, video y audio) del desempeño en la realización de actividades de intervención que se realizara con si niño, para la investigación.

Se aclara que se trata de un trabajo estrictamente académico, que los datos se manejarán de manera confidencial, se dará retro-información a la institución y a las personas participantes, y sus familiares. Los resultados se utilizarán con fines académicos (informes de investigación, material educativos, artículos y presentaciones en eventos científicos).

LUGAR DONDE SE REALIZARÁ EL ESTUDIO:

Las actividades de recolección de datos: Entrevistas, evaluaciones, observaciones e intervenciones se llevarán a cabo en la asociación Abrazar, donde normalmente los niños o niñas con discapacidad neurológica reciben intervención en rehabilitación e inclusión social.

PROCEDIMIENTO EN LAS TERAPIAS E INTERVENCIONES:

La intervención empieza colocándole en la mano lesionada al niño un guante de algodón, con el que manejará un sistema robótico tipo carro, denominado SPINBOT, que será controlado con movimientos de pronosupinación de antebrazo y flexoextensión de muñeca, indicando la dirección adelante –atrás o izquierda-derecha. De esta manera seguirá una pista sin chocar los obstáculos. A pesar de ser un experimento e investigación aplicada, los procedimientos y actividades previstos para la evaluación y observación de desempeño del niño con discapacidad motriz no representarán riesgos biológicos, mecánicos, eléctricos, psicológicos ni morales.

Se programarán 2 sesiones por semana, durante 4 semanas con cada niño o niña con discapacidad motriz. En cada sesión se hará:

- a. **Parte 1:** Establecer si el paciente comprendió cómo funcionan los botones y el guante. 10 minutos.
- b. **Parte 2:** Calibración del sistema. 10 minutos (cálculo del máximo y mínimo de ángulos activos).
- c. **Parte 3:** En cada sesión el niño se coloca el guante didáctico de algodón. Se le dará un reto lúdico que deberá resolver utilizando los ángulos activos de movilidad, que se usaran para controlar de manera inalámbrica la plataforma **SPINBOT** por unos 30 minutos o más. El niño contará con dos botones que indicaran la dirección del robot. El objetivo de esta sesión es proponer un problema a los niños para que sea solucionado por medio del robot, jugando con él.

BENEFICIOS

Los beneficios que recibirá la persona con discapacidad o su familia podrán ser múltiples. La interacción de los niños con discapacidad del miembro superior con el ambiente robótico lúdico permitirá generar nuevas oportunidades para el desarrollo de habilidades motrices estos niños, mejorar su componente de rehabilitación, generando una mejor calidad de vida y autonomía en algunas funciones de la vida diaria.

También brindará la oportunidad de desarrollar terapias con equipos de bajo costo, reduciendo la brecha de acceso a estas tecnologías.

Este sistema presenta beneficios para el desarrollo conocimiento, porque aporta; en como la robótica o la tecnología va contribuyendo a desarrollar nuevos procesos de rehabilitación para niños de formas más lúdica.

RIESGOS ASOCIADOS EN LA INVESTIGACIÓN:

La investigación será de Riesgo mínimo, teniendo en cuenta el riesgo de confidencialidad que tendrán los participantes. Los procedimientos y actividades previstos para la entrevista, evaluación

y observación de desempeño del niño con discapacidad motriz no representarán riesgos biológicos, mecánicos, eléctricos, psicológicos ni morales.

El diseño del sistema de control del robot será implementado teniendo en cuentas las normas de seguridad propuestas en la norma ISO TC 184/SC 02/WG 7 (*Personal care safety*) y ISO TC 184/SC 02/WG 8 – (*Service robots*), generando un nivel de riesgo mínimo y un nivel de seguridad prioritario para los niños con discapacidad motriz. Además, el robot no tendrá autonomía en la toma de decisiones y será controlado remotamente con los movimientos del brazo. El robot es pequeño (17x9 cm), dotado de un par de motores que usan voltaje DC de 3 v (usados en carros de juguete pequeños). El niño nunca manipulara directamente la plataforma robótica, solo lo hará de manera inalámbrica.

CONFIDENCIALIDAD

La participación e información que aporten las personas con discapacidad o familiares se utilizarán para fines académicos, los datos personales de los usuarios se mantendrán bajo confidencialidad.

CONSIDERACIONES GENERALES Y ACLARACIONES:

- La decisión de participar en la investigación es completamente **voluntaria**.
- No habrá ninguna consecuencia desfavorable para usted, en caso de no aceptar la invitación.
- Si decide participar en el estudio puede retirarse en el momento que lo desee, -aun cuando el investigador responsable no se lo solicite-, pudiendo informar o no, las razones de su decisión, la cual será respetada en su integridad.
- No tendrá que hacer gasto alguno durante el estudio, ni recibirá pago por su participación.
- No recibirá pago por su participación.
- En el transcurso del estudio usted podrá solicitar información actualizada sobre el mismo, al investigador responsable.
- Se espera que participen en total 4 pacientes. 2 participantes que asisten a la Asociación ABRAZAR (*Grupo objetivo*), quienes harán el tratamiento con el ambiente robótico y 2 participantes de edades similares, que asisten a la misma institución pero que no realizaran tratamiento con el ambiente robótico (*Grupo control*).
- La información obtenida en este estudio será mantenida con estricta confidencialidad por el grupo de investigadores.
- Si considera que no hay dudas ni preguntas acerca de su participación, puede, si así lo desea, firmar la Carta de Consentimiento Informado que forma parte de este documento.
- Si en algún momento tiene alguna pregunta relacionada con la investigación o su participación, puede contactarse con el director del proyecto **Eduardo Caicedo Bravo**, e-mail eduardo.caicedo@correounivalle.edu.co, teléfono: **3165222720** o con el investigador principal, **Jairo Andrés Acevedo Londoño**, e-mail jairo.acevedo@correounivalle.edu.co, teléfono **3154275620** Todos pueden responder a las inquietudes presentadas.
- Si en algún momento tiene comentarios, o preocupaciones relacionadas con la conducción de la investigación o preguntas acerca de los derechos como sujeto de investigación o preguntas u orientación respecto a aspectos éticos de las propuestas de investigación puede contactarse con el Comité Institucional de Revisión de Ética Humana de la Universidad del Valle en el teléfono: 518 56 77, también al correo electrónico: eticasalud@correounivalle.edu.co.
- Una vez firmado, usted recibirá una copia del presente consentimiento informado.

AUTORIZACIÓN PARA USO DE LOS DATOS OBTENIDOS EN ESTA INVESTIGACIÓN

Comendidamente, se le solicita la autorización a la persona con discapacidad participante o quien sea responsable de ella para que los registros y datos obtenidos en este estudio, puedan ser utilizados en otros estudios, previa aprobación del Comité de Ética de investigación de la Universidad del Valle.

**CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO
PARA PARTICIPAR EN PROTOCOLOS DE INVESTIGACIÓN**

Yo, _____, he leído y comprendido la información anterior y mis preguntas han sido respondidas de manera satisfactoria. He sido informado y entiendo que los datos obtenidos en el estudio pueden ser publicados o difundidos con fines científicos. Convengo en participar en este estudio de investigación. Recibiré una copia firmada y fechada de esta forma de consentimiento.

Firma del padre, madre o acudiente
CC

Fecha

Testigo 1
CC

Fecha

Testigo 2
CC

Fecha

COMPROMISOS DEL INVESTIGADOR

He explicado al Sr(a). _____ la naturaleza y los propósitos de la investigación; le he explicado acerca de los riesgos y beneficios que implica su participación. He contestado a las preguntas en la medida de lo posible y he preguntado si tiene alguna duda. Acepto que he leído y conozco la normatividad correspondiente para realizar investigación con seres humanos y me apegó a ella. Una vez concluida la sesión de preguntas y respuestas, se procedió a firmar el presente documento.

Firma del investigador

Fecha



UNIVERSIDAD DEL VALLE
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN PERCEPCIÓN Y SISTEMAS INTELIGENTES – PSI

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:
UNA PROPUESTA PARA LA REHABILITACIÓN DE NIÑOS CON LESIÓN DEL MIEMBRO SUPERIOR
BASADO EN UN AMBIENTE ROBÓTICO LÚDICO

FORMATO DE ASENTIMIENTO INFORMADO PARA NIÑOS ATENDIDOS EN LA ASOCIACION
ABRAZAR PARA PARTICIPAR DE LA INVESTIGACIÓN

Nosotros: Eduardo Caicedo (profesor de la universidad del valle) y Jairo Andrés Acevedo (estudiante de maestría). Estamos realizando un proyecto para ayudar a niños como tú en terapias del brazo, donde deberás usar un guante de algodón para conducir un carro por una pista esquivando los obstáculos. Le hemos informado a tus padres/acudiente sobre esta investigación y ellos saben que te estamos preguntando a ti para saber si aceptas participar.

Si no quieres participar, puedes hacerlo, aun cuando tus padres/acudiente hayan aceptado tu participación.

Si deseas contestar en otro momento, puedes hacerlo. Puedes hacer todas las preguntas que necesites saber.

Le hemos informado a tus padres/acudiente sobre esta investigación y ellos saben que te estamos preguntando a ti para saber si aceptas participar.

Si no quieres participar, puedes hacerlo, aun cuando tus padres/acudiente hayan aceptado tu participación.

Puedes preguntar cualquier duda de este documento. Si deseas contestar en otro momento, puedes hacerlo. Puedes hacer todas las preguntas que necesites saber.

OBJETIVO

Con este experimento queremos conocer cómo podría ayudar en tu recuperación el uso de un sistema robótico para jugar y así mejorar tu movilidad.

PARTICIPANTES

Pacientes en edades entre 10 a 17 años que tengan limitaciones del brazo, que vayan a ABRAZAR a sus terapias y que aceptan participar. Hasta 4 participantes. 2 niños realizarán actividades con el robot, y los otros 2 no.

PROCEDIMIENTO

La terapia se realizara 2 veces por semana, durante 4 semanas. Cada terapia tendrá una duración de hasta 50 minutos. Deberás manejar un robot llamado SPINBOT con un guante de algodón, y con los movimientos de tu mano para llevarlo hacia adelante-atrás o izquierda-derecha.

- Vamos a usar un juego con un robot, que permitirá aumentar tu motivación por las terapias tradicionales y ayudarte en la movilidad del brazo. Para esto, tú puedes colaborar enseñándonos cómo juegas con robot.
- Haremos unas pruebas para ver cómo estás y cuáles son tus necesidades personales para que el sistema robótico te facilite jugar.
- Observar cómo juegas con el sistema robótico.

RIESGOS ASOCIADOS EN LA INVESTIGACIÓN:

Este experimento en que vas a participar será de riesgo mínimo, teniendo en cuenta el riesgo de contar a otras personas lo que estás haciendo en este experimento como participante. No hay nada en este experimento que te pueda causar daño físico.

BENEFICIOS

Este experimento te podrá ayudar a mejorar la movilidad de tu brazo, además de motivarte a asistir a las terapias.

CONFIDENCIALIDAD

No diremos a otras personas que estas participando en este experimento y no compartiremos información sobre ti a nadie que no trabaje en el experimento. La información sobre ti será guardada y nadie más podrá verla.

CONSIDERACIONES GENERALES Y ACLARACIONES:

- Tu participación es voluntaria. En cualquier momento puedes decir que no quieres seguir. Además esto no afectará tu tratamiento de rehabilitación que recibes en Abrazar.
- Tu participación no tiene costo alguno, ni tampoco tendrás beneficios económicos por participar.
- Si en algún momento tienes alguna pregunta relacionada con la investigación o su participación, puedes contactarte con el director del proyecto **Eduardo Caicedo Bravo**, e-mail eduardo.caicedo@correounivalle.edu.co, teléfono: 3165222720 o con el investigador principal, **Jairo Andres Acevedo Londoño**, e-mail jairo.acevedo@correounivalle.edu.co, teléfono 31542756520. Todos pueden responder a las inquietudes presentadas.
- Si en algún momento tienes algo que decir sobre la investigación, comentarios, o preocupaciones de cómo está trabajando el Equipo de investigación, puedes también contactar al Comité Institucional de Revisión de Ética Humana de la Universidad del Valle en el teléfono: 518 56 77, también al correo electrónico: eticasalud@correounivalle.edu.co.

AUTORIZACIÓN PARA USO DE LOS DATOS OBTENIDOS EN ESTA INVESTIGACIÓN

Comendidamente, se le solicita la autorización a la persona con discapacidad participante o quien sea responsable de ella para que los registros y datos obtenidos en este estudio, puedan ser utilizados en otros estudios, previa aprobación del Comité de Ética de investigación de la Universidad del Valle.

**CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO
PARA PARTICIPAR EN PROTOCOLOS DE INVESTIGACIÓN**

Yo, _____, identificado con T.I. N° _____ sé que puedo participar en la investigación UNA PROPUESTA PARA LA REHABILITACIÓN DE NIÑOS CON LESIÓN DEL MIEMBRO SUPERIOR BASADO EN UN AMBIENTE ROBÓTICO LÚDICO.

He recibido información sobre la investigación y mis preguntas han sido respondidas de manera satisfactoria. He sido informado y entiendo que los datos obtenidos en el estudio pueden ser publicados o difundidos con fines científicos. Quiero participar en este proyecto. Recibiré una copia firmada y fechada de esta forma de consentimiento.

Firma del niño
TI

Fecha

Firma del padre, madre o acudiente
CC

Fecha

Testigo 1
C.C.

Fecha

Testigo 2
C.C.

Fecha

COMPROMISOS DEL INVESTIGADOR

He explicado al Sr(a). _____ la naturaleza y los propósitos de la investigación; le he explicado acerca de los riesgos y beneficios que implica su participación. He contestado a las preguntas en la medida de lo posible y he preguntado si tiene alguna duda. Acepto que he leído y conozco la normatividad correspondiente para realizar investigación con seres humanos y me apegó a ella. Una vez concluida la sesión de preguntas y respuestas, se procedió a firmar el presente documento.

Firma del investigador

Fecha