



Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil Biomédica

Diseño y fabricación de un sistema de rehabilitación integrado para la extremidad superior derecha, destinado a un paciente pediátrico específico.

Por

Hugo Andrés Mladineo Cuello

Trabajo de Titulación para optar al Título de
Ingeniero Civil Biomédico

Prof. Guía: Dr. (c) Luis Togo Arredondo

Julio 2015

Dedicatoria

Esta tesis esta dedicada para mis padres Yubirza y Hugo, y a mi hermano Cristóbal, a los cuales les agradezco todo el apoyo brindado en este tiempo, siendo mi pilar fundamental en mi paso por la Universidad. Dedicarle también esta tesis a mi polola Tamara por toda la ayuda en estos años, siendo un apoyo importante tanto dentro como fuera de la universidad en los momentos difíciles.

Agradecimientos

Quiero agradecer a toda mi familia, abuelos, tíos y primos, especialmente a mis tíos Danko y Mónica, quienes me acompañaron y apoyaron a lo largo de todo este proceso en la universidad. Agradecer también a mis compañeros y amigos que hicieron de este paso por la universidad un momento único en la vida. Por ultimo agradecer a mi profesor guía Luis Togo Arredondo, por el apoyo y enseñanzas que me otorgo a lo largo de la realización de mi tesis.

Resumen

Palabras claves: Órtesis, rehabilitación, electro-estimulación funcional, hemiparesia.

Resumen: En este proyecto, se abordarán los objetivos propuestos para el diseño y confección de un sistema de rehabilitación integrado, compuesto por tres dispositivos destinados a ser usados por un paciente pediátrico específico. En este contexto, hay que mencionar, que se trata de un paciente pediátrico de 9 años de edad, que sufre de hemiparesia en su extremidad superior derecha, que le impide tener una vida normal. Es necesario destacar que en la actualidad, el paciente necesita ayuda o asistencia para realizar diferentes actividades como vestirse, usar determinados objetos, etc. Dentro de este contexto, se trabajará la problemática relacionada con el déficit de dispositivos pediátricos de rehabilitación existentes en Chile. Por otra parte, el paciente es alérgico al pegamento de los electrodos comunes, por lo que le es imposible, la utilización de métodos convencionales de electro-estimulación, que son electrodos directos a la piel. Por último explicar que en la actualidad, recibe tratamiento de rehabilitación en su hogar, a través de un profesional especializado, tres veces por semana, limitando la realización de dichos ejercicios, a solo esas tres instancias, por lo que le es difícil optimizar su tratamiento.

Por lo anteriormente expuesto en este documento, se abordará el proceso de confección de tres dispositivos de rehabilitación para el paciente. En primer lugar, se comenzó con la identificación de las limitaciones motoras presentes en la extremidad superior derecha del paciente, esto se logró, gracias a la información médica proporcionada por sus médicos tratantes. Luego se prosiguió con la descripción y caracterización individual de los dispositivos que se esperan fabricar, describiendo el funcionamiento que deben tener una vez confeccionados estos dispositivos. Luego se determinaron y describieron las características técnicas y los requerimientos funcionales de cada uno de estos dispositivos. Para esto se tomó en cuenta la funcionalidad que van a tener estos sistemas una vez confeccionados, así como también, las opiniones y sugerencia de los médicos que tratan al paciente y que fueron supervisando, en el ámbito funcional, la confección de estos dispositivos. Como último paso, y usando como referencia las descripciones anteriormente mencionadas, se realizó la confección y armado de cada uno de estos tres dispositivos, que servirán para ayudar en el proceso de rehabilitación del paciente.

Por último, se espera, que con la realización de este proyecto, los dispositivos fabricados sean de gran ayuda en el proceso de rehabilitación de la extremidad superior derecha del paciente, pudiendo provocar un verdadero cambio en la vida de éste o de quienes lo rodean. También se espera que este trabajo pueda servir como base, para la realización futura, de equipos de rehabilitación para extremidades en casos de hemiparesia.

TABLA DE CONTENIDOS

1	Introducción.....	11
1.1	Información del contexto de los objetivos.....	12
1.2	Respecto de los objetivos generales.....	12
1.3	Respecto de los objetivos específicos.....	12
2	Análisis de la problemática.....	13
2.1	Estado del arte.....	13
2.1.1	<i>Importancia de la órtesis para casos de hemiparesia.....</i>	<i>14</i>
2.1.2	<i>Uso de la electro-estimulación funcional para el tratamiento de la hemiparesia.....</i>	<i>14</i>
2.1.3	<i>Uso de un sistema para el trabajo de rehabilitación de la extremidad, basado en la realización de ejercicios.....</i>	<i>15</i>
2.2	Problemática.....	16
3	Desarrollo de la propuesta.....	17
3.1	Estudio del marco teórico.....	17
3.1.1	<i>Hemiparesia.....</i>	<i>18</i>
3.1.2	<i>Órtesis.....</i>	<i>18</i>
3.1.3	<i>Electro-estimulación funcional.....</i>	<i>19</i>
3.2	Diseño de la propuesta.....	19
3.3	Implementación.....	22
4	Resultados.....	24
4.1	Resultados Obtenidos.....	24
4.1.1	<i>Establecimiento de limitaciones motoras existentes, en la extremidad superior derecha del paciente.....</i>	<i>24</i>
4.1.2	<i>Determinación de tres dispositivos destinados al proceso de rehabilitación del paciente.....</i>	<i>26</i>
4.1.3	<i>Conceptualización y establecimiento de los requerimientos funcionales y las características técnicas de cada uno de los dispositivos diseñados.....</i>	<i>30</i>
4.1.4	<i>Aplicación de los métodos de fabricación, para los modelos funcionales, de los dispositivos de rehabilitación.....</i>	<i>40</i>
4.2	Validación de los resultados.....	54
5	Discusión.....	54
6	Conclusiones.....	55
6.1	Conclusiones.....	55
6.2	Resumen de las Contribuciones.....	56
6.3	Alcance de las contribuciones.....	56
6.4	Investigaciones futuras.....	56
7	Referencias Bibliográficas.....	57
8	Glosario.....	60
9	Anexos.....	62
9.1	Anexo 1: Planos de la Órtesis.....	62
9.2	Anexo 2: Código fuente de la unidad de control de la órtesis.....	71

9.3 Anexo 3: Planos del Equipo de ejercicio para la mano derecha	72
9.4 Anexo 4: Código fuente del programa	92
9.5 Anexo 5: Planos de piezas para apoyar la confección de un sistema de ejercicios	96
9.6 Anexo 6: Proceso de armado, del actuador de la órtesis.....	104
9.7 Anexo 7: Proceso de armado del equipo de ejercicios, para la mano derecha	105
9.8 Anexo 8: Carta de la Dra. Susana T. Lillo Sarno, respecto a la confección de los equipos.	106

Diseño y fabricación de un sistema de rehabilitación integrado para la extremidad superior derecha, destinado a un paciente pediátrico específico

Sistemas de rehabilitación de extremidad superior en un paciente pediátrico específico

11

Hugo Andrés Mladineo Cuello

Escuela de Ingeniería Civil Biomédica, Universidad de Valparaíso, Chile

Palabras claves: *Órtesis, rehabilitación, electro-estimulación funcional, hemiparesia, limitación motora.*

1 Introducción.

Cuando se tiene una dificultad funcional en las extremidad superiores, como una discapacidad, repercute fuertemente en la vida del individuo y en los que lo rodean. Hoy en nuestra sociedad, es muy difícil para las personas con algún tipo de discapacidad, reintegrarse activamente en un mundo social y laboral, como el que tenemos hoy en Chile. (Fundación Nacional de Discapacitados, 2013). Es por ésta razón, que lo que se busca, en toda persona con algún grado de discapacidad, es lograr una rehabilitación funcional de sus miembros comprometidos, tal que ello, no sea un factor determinante, para generar una división dentro de la sociedad.

En este proyecto, se trabajará la tecnología de rehabilitación pediátrica integral, la cual cubre la necesidad de atención, que tienen los pacientes, al sufrir algún tipo de discapacidad. Dichas tecnologías de rehabilitación, se enfocan, principalmente, en la prevención y mejora de la calidad de vida, a través de un proceso de trabajo específico de la limitación presente. Lo que se busca al utilizar las tecnologías de rehabilitación integral en los pacientes, es la mejora funcional de la discapacidad que los aqueja. (Sánchez et al, 2008)

Dentro de estas tecnologías, se focalizará específicamente, en el diseño de tres dispositivos de rehabilitación, destinados a un paciente pediátrico de 9 años de edad, el cual padece una neurofibromatosis quística, que trajo como consecuencia, una hemiparesia en la extremidad superior derecha.

En este contexto, el documento abordará la problemática que se genera por la falta de modelos funcionales de rehabilitación, para la extremidad superior derecha, que se ajusten apropiadamente a los requerimientos del paciente.

Como se mencionó anteriormente, se propone como solución, el diseño de tres sistemas de rehabilitación, que se mencionan a continuación:

- 1) Una órtesis de uso cotidiano para la extremidad superior derecha, con el fin de mejorar los movimientos y agarre de la mano afectada, específicamente, poder lograr la mejora en la función de pinza de la mano.
- 2) Un dispositivo para realizar ejercicios de apertura y cierre de la mano derecha, que pueda trabajar como complemento para una manga ajustable al brazo del paciente, con el fin de lograr complementar el tratamiento de rehabilitación, a través de la electro-estimulación, en la extremidad superior derecha.
- 3) Un sistema para el trabajo de rehabilitación de la extremidad, basado en la realización de ejercicios, para el proceso de rehabilitación, permitiendo que éstos puedan ser hechos en el hogar, sin la necesidad de trasladarse a un establecimiento o que una persona especializada tenga que trasladarse hasta su hogar, para realizar dichos ejercicios.

Cabe mencionar que en el último de los tres dispositivos (sistema para el trabajo de rehabilitación de la extremidad), su confección será realizada por un grupo multidisciplinario, que apoyarán las diferentes aristas que conformarán su producción. Todo esto, debido a la complejidad de su confección y programación.

1.1 Información del contexto de los objetivos.

La rehabilitación pediátrica, es un proceso diseñado para ayudar al paciente pediátrico que padece una discapacidad. La idea de este tipo de rehabilitación, es que el paciente alcance y mantenga un desempeño óptimo, en la interacción con su entorno. El inicio temprano de la rehabilitación, al atender las necesidades cambiantes y aprovechar las capacidades y recursos del niño y de su familia, puede reducir los altos costos de la atención de salud y evitar la discapacidad. Por otra parte, se debe prestar gran atención a las necesidades del desarrollo físico y psicosocial de los niños, la evolución creciente de su autonomía, en materia de cuidados y toma de decisiones durante la adolescencia, y sus relaciones con familias y compañeros, y con su entorno escolar y profesional. (OMS, 2009)

1.2 Respetto de los objetivos generales.

Diseño y fabricación de un modelo funcional, para un conjunto de tres dispositivos destinados al proceso de rehabilitación de un paciente pediátrico específico.

1.3 Respetto de los objetivos específicos.

- (1) Establecimiento de limitaciones motoras existentes en la extremidad superior derecha del paciente.
- (2) Determinación de tres dispositivos destinados al proceso de rehabilitación del paciente.
- (3) Conceptualización y establecimiento de los requerimientos funcionales y las características técnicas de cada uno de los dispositivos diseñados.
- (4) Aplicación de los métodos de fabricación para los modelos funcionales de los dispositivos de rehabilitación.

2 Análisis de la problemática.

2.1 Estado del arte.

En 1968 la Organización Mundial de la Salud (OMS), define rehabilitación, como un conjunto de medidas médicas, sociales, educativas y profesionales, para preparar o readaptar al individuo, con el fin de que éste, alcance la mayor proporción posible de capacidad funcional. A su vez, define como Rehabilitación médica, a la asistencia especializada, que trata de desarrollar las capacidades funcionales y psicológicas del individuo, como mecanismo de compensación, con el fin de llevar una existencia autónoma y activa. (OMS, 1968)

Sistemas de
rehabilitación de
extremidad superior en
un paciente pediátrico
específico

13

Pero la historia de la rehabilitación parte mucho antes, ya en la medicina antigua, se hace mención al uso empírico de agentes físicos para la mejora de la salud. En la antigua Grecia (460 AC) los escritos de Hipócrates, ya daban gran importancia terapéutica a la dieta, ejercicios corporales, masajes y baños de mar. Luego, a través de diferentes experimentos realizados en Bolonia, por el médico y anatomista Luis Galvani (1737 – 1798), se demostró que un músculo, al aplicársele estimulación eléctrica continua, puede ser llevado a contracciones continuas tetánicas. Por otra parte, el médico Cristian Kratzenstein, profesor de Copenhague, utilizó la electricidad como método de curación para la parálisis.

Es así, como herramientas terapéuticas, fueron utilizadas por médicos antiguos, las cuales fueron las precursoras de la medicina física. Al incorporar, tanto el enfoque médico, como el biopsicosocial de la evaluación de los enfermos, se logró un manejo de rehabilitación integral, desarrollada en la primera mitad del siglo XX, lo cual, posteriormente llegó a ser una especialidad médica reconocida. (Vergara, 2010)

La especialidad de rehabilitación médica, como la conocemos actualmente, tiene su origen en Estados Unidos, a comienzo del siglo XX, donde el médico Dr. Frank Krusen, pudo darse cuenta, que los periodos de recaída de las enfermedades en diferentes pacientes, se relacionaba con el desconocimiento físico. Por otro lado, también pudo percatarse, que para que el paciente recuperara su confianza y autoestima, era necesario además del reacondicionamiento físico y vocacional, la reintegración social. Luego en 1934, junto a otro colega, estableció el Registro de Médicos técnicos en Terapia Física. Este registro consistía en un grupo de médicos especializados, con conocimientos en todas las áreas de manejo de las discapacidades, los cuales utilizaban agentes físicos, para las terapias de rehabilitación, para las personas con discapacidades. (Vergara, 2010)

La especialidad de rehabilitación, se gestó en nuestro país en el año 1958, donde el Dr. Livio Paolinelli Monti, quién iniciaba su carrera docente, como ayudante de física médica en la Universidad de Chile, viajó a Estados Unidos, para estudiar la especialidad de medicina física y rehabilitación en la Universidad de Colorado. Los conocimientos aprendidos en este estudio, lo llevaron a la planificación y desarrollo de la especialidad de Medicina Física y Rehabilitación en nuestro país.

A su regreso a Chile en 1961, se inauguró el servicio de Medicina Física y rehabilitación en la Universidad de Chile. Es así como en nuestro país, y en todo el mundo, se implementó la rehabilitación, como una rama reconocida de la medicina, la cual está enfocada en tratar y devolver, en lo posible, la funcionalidad a discapacitados, con el fin de reintegrarlos tanto al mundo laboral como a una vida más activa y autónoma. (Vergara, 2010)

Es gracias, a esta nueva rama de la medicina, que hoy en día existen diferentes tipos de rehabilitación. Para el caso de este proyecto, se trabajará con lo relacionado a rehabilitación pediátrica, donde se mostrarán diferentes artículos, destinados a la rehabilitación alrededor del mundo, específicamente, enfocados en la discapacidad por hemiparesia de las extremidades superiores.

2.1.1 Importancia de la órtesis para casos de hemiparesia.

Según la “Guía para pacientes y cuidadores del Hospital Universitario de Gran Canaria Doctor Negrín” en España, una de las mejores formas para lograr tanto el cuidado del paciente, como también, ayudar en el proceso de rehabilitación, es el uso de aparatos u órtesis. Estas órtesis, en primer lugar, tienen que estar pautadas con su médico rehabilitador, con el fin de escoger la adecuada para el paciente y su sistema de rehabilitación. En el caso de la hemiparesia de la extremidad superior, la función principal de la órtesis, es mantener una correcta postura de la mano y muñeca, con el fin de evitar complicaciones, como posturas anormales de la extremidad, dolor de muñeca o brazo, heridas o úlceras de presión por apoyos prolongados, problemas venosos, etc. (Cáceres et al, 2012). Como se puede apreciar en la siguiente imagen:



Figura 1: Órtesis de extremidad superior para mantener una correcta postura. (Cáceres et al, 2012)

En esta imagen, podemos observar como la órtesis para la mano y muñeca, sirve como apoyo para éstas, ayudándolas a que mantengan una posición adecuada, con el fin de evitar complicaciones, asociadas a una postura anormal.

2.1.2 Uso de la electro-estimulación funcional para el tratamiento de la hemiparesia.

En el documento, “Efectividad de las técnicas de electro-estimulación funcional en el miembro superior hemiparético tras el ACV” de la Universidad Central de Bolivia, se expone la importancia y efectividad del tratamiento de la aplicación de electro-estimulación funcional, para pacientes con hemiparesia. Identificando numerosos estudios que reafirman la importancia y efectividad de este tratamiento, en el papel propioceptivo y somato-sensorial de ésta técnica, de hecho en el artículo “Influence of electric somatosensory stimulation on paretic hand function in chronic stroke” escrito por Wu CW, Seo H-J, Cohen LG, consideran a la electro-estimulación somato-sensorial, una herramienta muy potente y coadyuvante para la rehabilitación del impacto clínico, en caso de hemiparesia.

En lo que se refiere a la recuperación de la función motora, el documento nos explica, que un gran número de estudios, afirman obtener resultados positivos y significativos a través de esta técnica, de hecho, destacan la importancia de la asociación entre la electro-estimulación y el ejercicio funcional, como método de mejora de la movilidad y fuerza de la extremidad dañada.

Sistemas de
rehabilitación de
extremidad superior en
un paciente pediátrico
específico

Por otro lado, el artículo “Functionalelectricalstimulation (FES) maymodifythepoor prognosis of strokesurvivorswithsevere motor loss of theupperextremity” escrito por Alon G, Levitt AF, McCarthy PA, demuestra que es posible ganar hasta un 45% más de función motora de la extremidad con hemiparesia, al aplicarle electro-estimulación funcional, en comparación con solo un 15% de la función motora, ganada al realizar solo ejercicios convencionales.

15

Como conclusión de los resultados obtenidos en este documento, se demuestra la efectividad de la electro-estimulación, combinada con ejercicios, nombrando una gran cantidad de artículos, que demuestran la importancia de dar utilidad a esta técnica, como complemento de la terapia física u ocupacional del paciente, para así, favorecer la actividad motora y funcional de la extremidad dañada. (Alcalde et al, 2012)

2.1.3 Uso de un sistema para el trabajo de rehabilitación de la extremidad, basado en la realización de ejercicios.

En el artículo “Terapia robótica para la rehabilitación del miembro superior en patología neurológica” escrito por L. Rodríguez-Prunotto, R. Cano-de la Cuerda, A. Cuesta-Gómez, I.M. Alguacil-Diego y F. Molina-Rueda. Se expone una revisión de los distintos dispositivos robóticos de miembro superior, destacando que los sistemas robóticos para ejercicios de rehabilitación, han demostrado ser igual de efectivos que la terapia convencional, bajo los mismos parámetros de intensidad y tiempo de tratamiento.

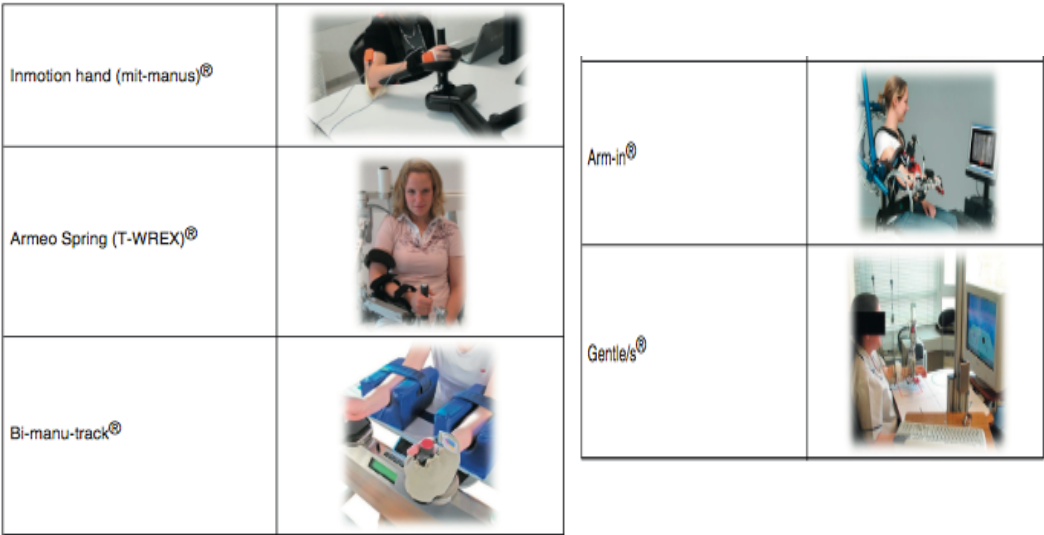
En este aspecto, el artículo destaca, que éste tipo de terapia ofrece nuevas posibilidades en el proceso de rehabilitación. Explicando, que frente a la fatigabilidad de los terapeutas al realizar dichos ejercicios, en un periodo de tiempo prolongado, los dispositivos robóticos permiten realizar sesiones de rehabilitación, con una intensidad mayor y durante un periodo de tiempo prolongado, en el cual los parámetros físicos como la velocidad, la fuerza o la precisión, permanecen invariables.

Para complementar lo dicho anteriormente, el artículo recalca que, el número de repeticiones aplicables por parte de la terapia robótica, también supone otra ventaja, en comparación con la que puede realizar un terapeuta, ya que el elevado número de repeticiones y en la práctica de movimientos, supone un efecto positivo en cuanto a la motivación de los pacientes, sumado también a la aplicación de recompensas o feedback.

La terapia robótica resulta más interesante y motivadora para el paciente, lo que implica mayor colaboración y esfuerzo por su parte. Este aspecto toma mayor importancia, cuando el ejercicio de rehabilitación se realiza en un paciente pediátrico, el cual necesita una motivación especial, para lograr una mayor colaboración y esfuerzo. (Prunotto et al, 2013)

En la siguiente imagen, se pueden apreciar los principales robots de miembro superior de uso clínico en la rehabilitación, expuestos en el artículo.

Figura 2: Principales robots de miembro superior de uso clínico en rehabilitación. (Prunotto, et al, 2013)



En base a lo expuesto en este ítem, se aprecia que toma gran importancia el uso de distintos dispositivos, para lograr una adecuada rehabilitación. Dentro de ellos cabe destacar, el uso de la electro-estimulación funcional, para el caso de daño en las extremidades, así como también, el uso de órtesis y terapia robótico, que puedan ayudar a recobrar la funcionalidad.

2.2 Problemática.

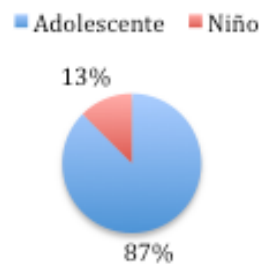
La discapacidad, cualquier sea su causa, se refleja a través de deficiencias tanto funcionales como también estructurales. Estas deficiencias tienen como resultado un gran impacto en la vida del individuo, pero no solo eso, también afecta a su núcleo familiar, roles, etc. Causando en él, una condición de dependencia. (OMG, 2009)

Es por este motivo, que existe la necesidad de equipos y sistemas de rehabilitación que ayuden al paciente, en su proceso de recuperación, aumentando en parte la capacidad funcional o estructural de la discapacidad que lo aqueja.

A nivel nacional, la población con discapacidad que vive en Chile, alcanza los 2.5 millones de personas. Tomando esta proporción en cuenta, se puede estimar que 1 de cada 3 hogares en Chile, tiene al menos, un integrante con discapacidad. Por otro lado, la población pediátrica afectada alcanza los 117.453, para un grupo de edad que va desde 0 a 15 años de edad. Esto quiere decir que 1 de cada 35 niños, entre 0 a 15 años, se ve afectado por algún tipo de discapacidad. (INE, 2004). Tomando esto en cuenta, el estado tampoco se hace cargo, firmemente de la población que presenta algún grado de discapacidad. De hecho, el presidente y director de la ONG, Alejandro Hernández, se refirió al insuficiente presupuesto que el gobierno destina anualmente, para dicho grupo de la población, asegurando que “La Teletón no alcanza a ayudar a más del 0,8 por ciento de la totalidad de personas con discapacidad, con una recaudación anual que alcanza los 55 millones de dólares; mientras que el Senadis (Servicio Nacional de Desarrollo e Inclusión Social), cuenta solamente con 22 millones de dólares anuales, menos de la mitad, para atender al otro 98 por ciento”. (Ruiz, 2012)

Son por motivos como éste, que en Chile existe una falta de equipos y sistemas de rehabilitación, especialmente, en pediatría; y los que existen, no son muy específicos para cada paciente, como lo es, en otros grupos de edad. Por ejemplo, dentro de los datos del 2007 de una importante empresa de prótesis y rehabilitación, se apreció lo siguiente:

Tamaño de los Equipos



En el gráfico, podemos apreciar, que dentro de la gama de equipos expuestos en el documento de la empresa, el 87% de ellos tenía como tamaño mínimo destinado a adolescentes, y solo el 13% de ellos, tenía como tamaño mínimo destinado a niños (5 a 10 años).

Otro factor importante, para tener en cuenta, es que el paciente es alérgico al pegamento, que normalmente poseen los electrodos, por lo que no es posible usar los métodos convencionales de electro-estimulación, que son electrodos directos a la piel. Así mismo, explicar que el paciente en la actualidad, recibe el tratamiento de rehabilitación en su hogar, a través de una persona especializada, que acude tres veces por semana, a realizar dichos ejercicios. Pero como se explica anteriormente, está limitado a las tres veces a la semana, por lo que le es difícil optimizar su tratamiento de realización de ejercicios.

Son a través, de todos estos problemas o inconvenientes, que nace la necesidad de la creación del diseño, de especificaciones técnicas y modelo funcional, para un sistema de rehabilitación integrado. Entiéndase como sistema de rehabilitación integrado, al conjunto de los tres dispositivos descritos en este proyecto.

3 Desarrollo de la propuesta.

3.1 Estudio del marco teórico.

Para lograr una adecuada comprensión, de lo realizado en éste proyecto, es necesario conocer la definición de distintos conceptos, específicamente, lo relacionado a la enfermedad que abordaremos, durante el desarrollo de esta tesis. Estos conceptos, serán mencionados a lo largo de todo este documento, y luego de lo explicado en este ítem, se dará por hecho su conocimiento y entendimiento.

Sistemas de rehabilitación de extremidad superior en un paciente pediátrico específico

17

Figura 3: Tamaño de los equipos expuestos en el documento de la empresa. (Elaboración propia)

En primer lugar, se debe entender que la hemiparesia no es una enfermedad, sino que es una condición neurológica, que se ve reflejada, en el debilitamiento muscular de la zona afectada, dificultando su movimiento, sin llegar a la parálisis.

El cerebro se divide en dos mitades o hemisferios (izquierdo y derecho), cada hemisferio se encarga del control de la mitad contraria del cuerpo. Es por este motivo, que al presentar una hemiparesia localizada en algún lugar del cuerpo, hay que tener presente que esta se debió, a un problema en el hemisferio cerebral contrario, al lado que se presenta.

La existencia de la hemiparesia, se puede deber a diferentes causas, dentro de las más comunes se encuentran la existencia de una lesión cerebral, que afecta la conducción de los impulsos nerviosos, golpes en la cabeza, infecciones, etc. La extensión y gravedad de la hemiparesia, dependerá siempre, de la extensión y de la localización de la zona cerebral afectada. (Argente et al, 2007).

En el caso de pacientes pediátricos, la identificación temprana de una posible hemiparesia, toma gran importancia al momento de comenzar un proceso de rehabilitación. Dentro de los posibles síntomas de la hemiparesia, en dichos pacientes, se encuentran, el poco movimiento de un lado del cuerpo, la mano siempre o casi siempre cerrada, una de las piernas más pasiva que otra, tendencia a girar la cabeza hacia un solo lado, etc.

La incidencia de la hemiparesia, en pacientes recién nacidos, no ha variado mucho en los últimos años, estimando una cifra de 2 a 3 por 1000 recién nacidos vivos.

Se ha demostrado, que el tratamiento multidisciplinario, con base en neurorehabilitación temprana y el abordaje precoz de la hemiparesia, en alguna determinada extremidad a través de una estimulación, puede lograr que el sistema nervioso compense y sustituya la funcionalidad perdida por la lesión. (Escobar et al, 2011).

3.1.2 *Órtesis.*

Es el término que se le da, a un dispositivo aplicable a un paciente, con el fin de cubrir una deficiencia del sistema locomotor de éste. Los propósitos generales de una órtesis es: sostener, asistir, adaptar, prevenir o corregir. Se debe tener en consideración que una órtesis, no es lo mismo que una prótesis, ya que las prótesis sustituyen piezas o partes del cuerpo ausentes, como un brazo o un pie. Dentro de las órtesis, también se incluyen, todos aquellos objetos que quizás son conocidos como apoyos: tablillas, collares, corsés, ayudas, vendajes, o calibradores. (Eisenberg, 1995).

Existen diferentes tipos de órtesis, dependiendo de la deficiencia que se necesite cubrir.

- (1) Órtesis estabilizadoras: Son las que mantienen una parte del cuerpo inmovilizada y se usa en caso de parálisis o para reducir alguna lesión o inflamación.
- (2) Órtesis funcionales: Se usan para mejorar el movimiento de alguna parte o miembro del cuerpo, por ejemplo, en caso de pérdida de fuerza funcional motora de alguna extremidad.

-
- (3) Órtesis correctoras: Se usa para corregir deformidades, por ejemplo, esqueléticas. Generalmente se utilizan durante la infancia, puesto que su eficacia es mucho mayor durante este periodo
 - (4) Órtesis protectoras: Son utilizadas para ayudar, en el proceso de recuperación de alguna parte del cuerpo lesionada. También suelen ser usadas tras intervenciones quirúrgicas, para acelerar la recuperación.

Sistemas de rehabilitación de extremidad superior en un paciente pediátrico específico

3.1.3 Electro-estimulación funcional.

19

La electro-estimulación, también conocida como electroterapia, se refiere a la aplicación de estímulos eléctricos a través de la piel, destinados a músculos o nervios en específico. Dicha estimulación se realiza, con el fin de producir efectos fisiológicos en el tejido humano, como por ejemplo, realizar una rehabilitación de algún músculo o nervio dañado.

En general, se usan en puntos motores específicos de la extremidad dañada, con el fin de lograr una estimulación más intensa de la zona afectada. (Quintana, 2013).



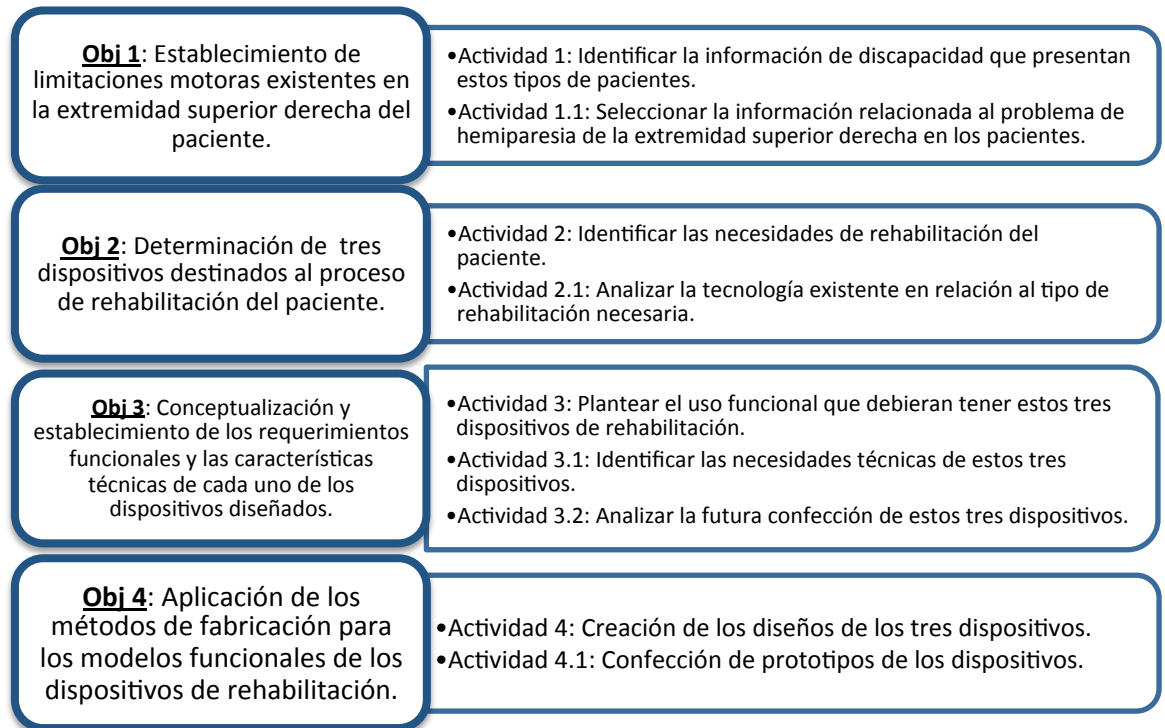
Figura 4: Uso de la electro-estimulación funcional en muñeca y brazo. (Alcalde et al, 2012)

En la imagen, se puede apreciar el uso de la electro-estimulación en la muñeca y brazo del paciente, con el fin de lograr una estimulación de los músculos dañados. Esta estimulación, se realiza para ayudar al proceso de rehabilitación de la extremidad.

3.2 Diseño de la propuesta.

A partir de los objetivos específicos planteados, en el comienzo de este documento, se ha elaborado la siguiente metodología de trabajo, con las actividades a realizar en cada una de ellas. Esta metodología elaborada, está basada en la de elaboración de proyecto. De ésta forma, es más fácil apreciar las actividades que llevaron a la realización de cada objetivo.

Figura 5: Esquema de la metodología utilizada, mostrando los objetivos específicos con sus respectivas actividades en cada una.
(Elaboración propia)



Objetivo 1: Establecimiento de limitaciones motoras existentes en la extremidad superior derecha del paciente.

Con el fin, de poder realizar un adecuado diseño, de los dispositivos de rehabilitación, primero se debe conocer la discapacidad que cubrirán estos sistemas. Para ello se tiene que, en primer lugar, identificar las limitaciones funcionales provocadas por la hemiparesia, en la extremidad superior derecha en pacientes de este tipo.

Actividad 1: Identificar la información de discapacidad que presenta este tipo de pacientes. Se realizará la recopilación de la información de discapacidad en pacientes pediátricos, con el fin de tener la mayor cantidad de datos, respecto a la discapacidad presente.

Actividad 1.1: Seleccionar la información relacionada al problema de hemiparesia, de la extremidad superior derecha. Una vez que se recopile la información de discapacidad de pacientes con este tipo de problemas, se procederá a la selección de aquella información, con la que se trabajará. En este caso, se seleccionará toda la información, relacionada a la discapacidad de la extremidad superior derecha.

Objetivo 2: Determinación de tres dispositivos, destinados al proceso de rehabilitación del paciente.

Sistemas de rehabilitación de extremidad superior en un paciente pediátrico específico

Una vez, que la información sea analizada y se identifique el problema a abordar, se procederá a la descripción de los tres dispositivos de rehabilitación necesarios, para poder ayudar al paciente en el proceso de rehabilitación.

Actividad 2: Identificar las necesidades de rehabilitación del paciente. Una vez que se identifique la discapacidad a abordar, con el desarrollo del sistema integrado de rehabilitación, se procederá a establecer la necesidad de rehabilitación del paciente, tomando en cuenta las limitaciones motoras anteriormente caracterizadas.

21

Actividad 2.1: Analizar la tecnología existente, en relación al tipo de rehabilitación necesaria. Luego, para poder lograr la caracterización de estos tres dispositivos de rehabilitación, que conformarán el sistema integrado, se procederá a analizar los equipos de rehabilitación ya existentes, para ello, se realizará una búsqueda de los equipos usados en rehabilitación, para casos de hemiparesia a nivel nacional e internacional.

Objetivos 3: Conceptualización y establecimiento de los requerimientos funcionales y las características técnicas de cada uno de los dispositivos diseñados.

Una vez realizada la caracterización de estos tres dispositivos, se procederá al análisis de los usos y las funciones que tendrán cada uno de ellos. Posteriormente, y antes de poder empezar con el proceso de fabricación de estos equipos, también se especificarán las características técnicas, que dichos dispositivos de rehabilitación deberán tener, para poder realizar, de la mejor manera posible la fabricación de ellos.

Actividad 3: Plantear el uso funcional, que debieran tener estos tres dispositivos de rehabilitación. Para poder identificar los requerimientos funcionales de los dispositivos, primero se procederá a plantear el uso que estos tendrán, dentro del proceso de rehabilitación del paciente. Para ellos se estimará, la forma que éstos, serán aplicados a la extremidad superior derecha, y la función que ellos ejercerán en ésta.

Actividad 3.1: Identificar las necesidades técnicas de estos tres dispositivos. Ya con la identificación del uso funcional, que tendrán estos dispositivos, se procederá a identificar las características técnicas, que debieran tener, para ello se identificará el uso funcional, que el paciente espera lograr, con estos dispositivos.

Actividad 3.2: Analizar la futura confección de estos tres dispositivos. Una vez que se identifiquen, las necesidades técnicas de estos tres dispositivos, y a modo de asegurarse de que sean apropiadas, se estudiará la creación de ellos, estimando la factibilidad y el alcance de su confección.

Objetivos 4: Aplicación de los métodos de fabricación, para los modelos funcionales, de los dispositivos de rehabilitación.

Como último paso, se realizará la confección de los modelos, de estos tres dispositivos de rehabilitación, tomando en cuenta tanto la funcionalidad que estos deban tener, así como también, las características técnicas de cada uno de ellos.

Actividad 4: Creación de los diseños de los tres dispositivos. Una vez obtenida la información relacionada a las características de los dispositivos, se procederá a confeccionar el diseño, de cómo serán, dichos equipos. Para ellos, en el caso de la órtesis y el equipo de ejercicios para la mano, se trabajará con un diseño digital, para que luego puedan ser confeccionados en una impresora en 3D. En el caso del equipo para ejercicios de la extremidad completa, la creación de su diseño no será digital del todo, aunque sí, algunas partes necesitarán ser impresas en impresora 3D.

Actividad 4.1: Confección de prototipos de los dispositivos. Como última actividad, se procederá a la creación de prototipos, de cada dispositivo, los cuales serán probados, para identificar falencias y mejoras, que luego servirán para dar como resultado, las confecciones de los dispositivos de rehabilitación finales.

3.3 Implementación.

Objetivo 1: Establecimiento de limitaciones motoras existentes en la extremidad superior derecha del paciente.

Para identificar la información relativa a las limitaciones funcionales del paciente, primero se procedió a la recopilación de información de discapacidad que presentan este tipo de pacientes pediátricos.

Para ello, se realizaron múltiples búsquedas en diferentes fuentes que caracterizan estos problemas de discapacidad, los cuales se relacionan con la funcionalidad motora presente en las diferentes extremidad del cuerpo de un paciente pediátrico.

De la misma manera, se tomaron en cuenta diferentes pruebas de funcionalidad motora que se realizan por médicos especialistas a pacientes con discapacidad motora, con el fin de lograr determinar el grado de funcionalidad presente en sus extremidades.

Una vez que toda esta información fue recopilada, se procedió a la selección de la información. Dicha selección, se realizó tomando en cuenta toda la información relacionada a la hemiparesia, de la extremidad superior derecha presente en pacientes.

Teniendo en cuenta dicha información, y por sobre todo, usando como guía los informes de evaluación de extremidad superior, se realizó una estimación de las dificultades o deficiencias, que el paciente podría tener en la actualidad en la extremidad superior derecha.

Objetivo 2: Determinación de tres dispositivos destinados al proceso de rehabilitación del paciente.

Sistemas de rehabilitación de extremidad superior en un paciente pediátrico específico

En esta etapa, se realizó la descripción de cada uno de estos tres dispositivos de rehabilitación. Para ello, en primer lugar, se utilizó la etapa anterior, donde se caracterizaron las limitaciones motoras y necesidades de rehabilitación del paciente, en relación a las limitaciones presentadas en su extremidad superior derecha.

Luego se procedió a la búsqueda de la información, sobre rehabilitación de hemiparesia para extremidades. En dicha búsqueda, se pudo conocer en qué consistían los dispositivos existentes, tanto en su forma, como también, en las características motoras y técnicas que estos presentaban.

Por último, y una vez realizadas las actividades anteriores, se procedió a diseñar los equipos de rehabilitación a confeccionar. Durante la realización de estos diseños, se prestó gran atención, a la necesidad de ejercitación, que debieran emplear en el paciente, para ayudar en su proceso de rehabilitación. Dicha determinación está desarrollada en el capítulo 4.1.2.

Objetivo 3: Conceptualización y establecimiento de los requerimientos funcionales y las características técnicas de cada uno de los dispositivos diseñados.

Una vez que se tienen los sistemas caracterizados, se procedió a determinar cuáles son los componentes, electrónicos y mecánicos que se usarán en cada uno de ellos. Para esto, primero se determinaron los requerimientos funcionales, que necesitarán cada uno de estos dispositivos, para cubrir las necesidades de rehabilitación del paciente.

En el capítulo 4.1.4, se describen los requerimientos funcionales, de cada uno de estos dispositivos. En dicha descripción de los requerimientos, se pueden apreciar las especificaciones de movilidad, velocidad, comodidad, etc., que necesitan, cada uno de estos dispositivos, para cubrir las necesidades de rehabilitación del paciente.

Luego que fueron descritos los requerimientos de ejercitación, que deben realizar los equipos, se procedió a determinar los componentes que harán posibles dichos requerimientos. Esta determinación, se logró, tomando en cuentas las necesidades de velocidad y fuerza que deben emplear, al momento de realizar los ejercicios de rehabilitación, por parte de los equipos.

Objetivo 4: Aplicación de los métodos de fabricación, para los modelos funcionales de los dispositivos de rehabilitación.

Una vez que se determinaron tanto los requerimientos funcionales, como también las características técnicas, de cada uno de los tres dispositivos, se procedió a realizar el proceso de confección de cada uno de ellos.

Para ello, se confeccionaron las piezas y se recopilaron los componentes necesarios, descritos en las etapas anteriores. En el caso de las piezas, en la mayoría se imprimieron, a base de las ya

diseñadas, en una impresora en 3D. Las medidas de la impresión, fueron basadas en la extremidad del paciente, ajustadas siempre, a otorgar la máxima comodidad.

Por último, se preparó toda la parte electro-mecánica de cada uno de estos dispositivos, armando de la manera más segura y precisa, los circuitos y sistemas que producirán la funcionalidad, de cada uno de los equipos.

4 Resultados.

4.1 Resultados Obtenidos.

4.1.1 *Establecimiento de limitaciones motoras existentes, en la extremidad superior derecha del paciente.*

De acuerdo a un “Informe de Evaluación de Extremidad Superior SHUEE”, con datos estimados, que fue elaborado por la doctora Lillo para usar como referencia para determinar las posibles limitaciones del paciente. Se puede determinar en este tipo de pacientes lo siguiente:

Los rangos de movimiento de la extremidad superior derecha, se encuentran fuera de los límites normales, donde muestra una flexión máxima de hombro de 90°. Por otra parte, no logra activar desviaciones de muñeca, flexión ni extensión de dedos o pulgar.

También se realizó diferentes análisis de funcionalidad y posición de la extremidad superior derecha. Estos análisis fueron:

- Análisis funcional espontáneo
- Análisis de agarrar y soltar
- Análisis posicional dinámico

Los resultados de estos análisis y la valoración que se le dieron, al momento de realizarlos, se explican a continuación.

- **Análisis funcional Espontáneo:** Este análisis refleja el uso o incorporación de la mano en forma espontánea, para la realización de tareas. En total se realizaron 45 tareas para evaluar dicha funcionalidad, las cuales, reflejaron lo siguiente:

El paciente solo incorpora su mano derecha para dos tareas, cuyas actividades las realiza, con un uso funcional espontáneo de la mano. Para la primera actividad, que corresponde a desenroscar la tapa de una botella, con ayuda de la mano izquierda, lleva su mano derecha para apoyarla sobre el objeto, dejándola ahí, mientras usa activamente, la mano izquierda. Similar es el caso, para la segunda actividad, en la cual debe partir masa con la mano, ya que con la ayuda de movimientos de su hombro, logra dejar la mano derecha sobre la masa y ejerciendo peso, logra completar la tarea.

Para las otras 43 tareas, deja la mano derecha fuera de la actividad y sólo la integra parcialmente, una vez que se le pide explícitamente que lo haga. En total, las tareas evaluadas, dieron como resultado un total de 2/45, con una valoración porcentual de 4,4%.

- **Análisis de agarrar y soltar:** Refleja la capacidad de agarrar o soltar un objeto. En total se realizaron seis tareas, para evaluar dicha capacidad, las cuales, según el “Informe de Evaluación de Extremidad Superior SHUEE” proporcionado, reflejaron lo siguiente:

El paciente, no logra agarrar ni soltar el objeto, en ninguna de las posiciones solicitadas por la evaluación (flexión, neutra y extensión). Se asiste, posicionando la mano, pero no logra activar dedos. Intenta sacudir la extremidad para soltar, cuando la muñeca está en flexión. No mueve los dedos.

En total, las tareas evaluadas dieron como resultado un total de 0/6, con una valoración porcentual de 0%.

- **Análisis posicional dinámico:** Este análisis, evalúa el posicionamiento de las diferentes partes, de la extremidad superior derecha, al realizar determinadas actividades. En total, se realizaron cinco tareas, con 12 actividades cada una, las cuales, según el “Informe de Evaluación de Extremidad Superior SHUEE” proporcionado, reflejaron el siguiente cuadro explicativo:

Pulgar: 4/12	En las cuatro tareas, el pulgar queda ligeramente incluido hacia palma. No lo activa. No se puede ver el espacio interdigital.
Dedos: 0/12	Al sacar el dinero de la billetera y doblar el papel, mantiene los dedos en extensión, porque quedan en esa posición, al apoyar la mano sobre el objeto. Al rasgar el papel y enhebrar cuentas, los mantiene en semi-flexión, porque ocurre lo mismo. No moviliza activamente. Sólo mantiene la posición en que quedan los dedos al apoyarlos.
Muñeca: 12/24	Mantiene muñeca neutra, (y sin ir a la desviación lateral) al desenroscar la tapa de la botella y partir la masa con la mano. Al usar cuchillo, tenedor y lanzar el balón grande, la muñeca queda en flexión. Queda en desviación cubital.
Antebrazo: 0/12	No logra activar supinación. En las tareas de aceptar monedas y recibir 5 de ellas, el antebrazo llega a la hiper-pronación, ya que el paciente lo auto-moviliza para integrarlo. Al llevar la mano a la boca y tocar la oreja opuesta, con la palma, el antebrazo queda en hiper-pronación, al realizar el movimiento desde hombro.

Tabla 1: Análisis del
posicionamiento
dinámico de la
extremidad superior
derecha del paciente,
proporcionado por el
Informe de Evaluación
de Extremidad Superior
SHUEE . (Elaboración
propia)

Codo: 8/12	Al intentar pegar autoadhesivos en la pelota y ponerse los calcetines, logra incorporar, muy brevemente, la mano derecha, manteniendo el codo en flexión. Al amarrar el zapato (tomar los cordones), la mano no participa, queda apoyada en el regazo en semi-flexión. Al gatear, no apoya la mano sobre el suelo. La mantiene en el aire, con el codo en flexión.
------------	--

En total, las tareas evaluadas dieron como resultado un total de 24/72, con una valoración porcentual de 33,3%.

4.1.2 *Determinación de tres dispositivos destinados al proceso de rehabilitación del paciente.*

En esta etapa, se describirán los tres sistemas, que formarán parte de la plataforma tecnológica de rehabilitación, estos tres equipos son los siguientes:

- Órtesis.
- Equipo de ejercicio de la mano como complemento para una manga de electroestimulación funcional.
- Un sistema para el trabajo de rehabilitación de la extremidad.

✓ Órtesis

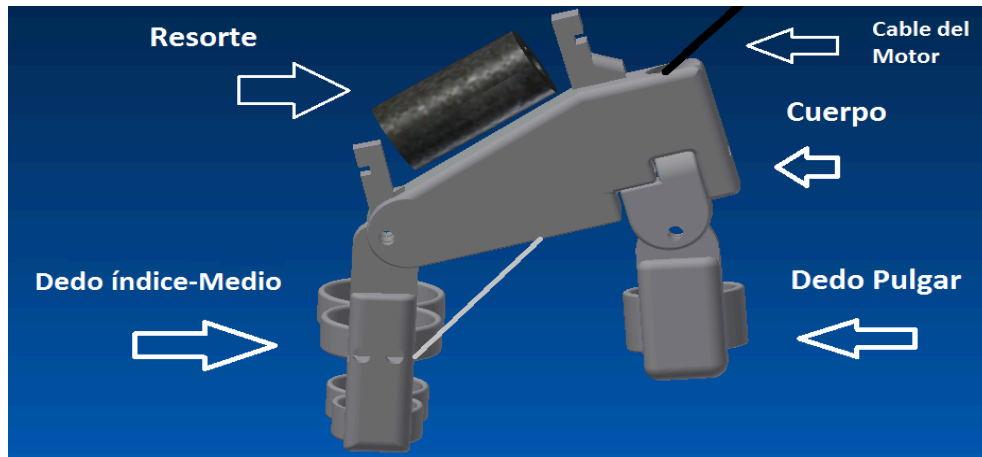
La órtesis que se espera crear, fue diseñada en el programa “Inventor”, que es un software de CAD 3D, que ofrece un conjunto de herramientas profesionales, para diseño mecánico, documentación y simulación de productos en 3D. (Autodesk, 2015). Este diseño de órtesis constará de tres partes específicamente.

Una parte, es el actuador de la órtesis, el cual es el que va en la mano derecha del paciente, ajustado tanto al dedo pulgar, como también, al índice-medio. Otra parte, constará de una estructura contenedora, de los componentes eléctricos y mecánicos de la órtesis. Cabe mencionar, que es el lugar donde se encontrará el actuador lineal, que tiene como función, realizar los movimientos de cierre de pinza de la órtesis, a través de un cable de acero, que va desde éste, hasta la órtesis en la mano.

Hay que tener en cuenta, que dicho movimiento, de cierre de pinza que realizará el actuador lineal, será ejercido, solo sobre los dedos índice-medio, es decir, la fuerza mecánica, que hará ese movimiento, será ejercida, solo sobre esa pieza y no sobre el dedo pulgar, lo que provocará, que el movimiento de pinza se vea determinado, solo por el movimiento que se provocará en dicha pieza, mientras que el dedo pulgar permanecerá, relativamente fijo en su posición.

Por último, la parte de accionamiento de la órtesis, será ubicada en el hombro izquierdo del paciente. La idea es que el paciente, con un movimiento particular del hombro (mover el hombro hacia arriba, adelante o atrás), pueda accionar el actuador lineal, que se encuentra en la caja

ubicada en la espalda del paciente y éste, realizar la fuerza de tracción que produce el cierre del actuador de la órtesis.



Sistemas de rehabilitación de extremidad superior en un paciente pediátrico específico

27

Figura 6: Diseño realizado en inventor del actuador de la órtesis. (Elaboración propia)

La primera parte del actuador de la órtesis, estará formada por 3 piezas, dichas partes son:

- El cuerpo del actuador de la órtesis
 - El apoyo para el dedo pulgar
 - El apoyo para el dedo índice-medio
- **El cuerpo del actuador de la órtesis:** El cuerpo del actuador de la órtesis, es la pieza a la cual estarán unidos, el apoyo para el dedo pulgar, como también, el apoyo para el dedo índice-medio. A través de él, pasará el cable encargado de transmitir el movimiento de cierre de pinza, desde el actuador lineal hasta el apoyo dedo índice-medio. En él, también estará un resorte axial, el cual se encargará de realizar la fuerza contraria al actuador lineal, sobre el apoyo del dedo índice-medio, que provocará la fuerza de abertura de pinza. Por último, servirá como sujetador de los ejes, que darán los grados de libertad, a los dos apoyos de dedos.

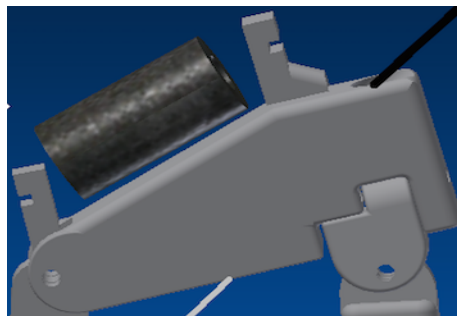
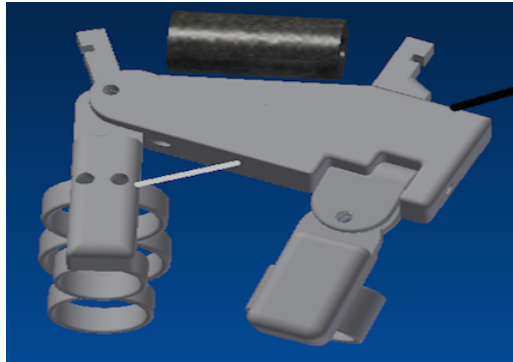


Figura 7: Diseño realizado en inventor del cuerpo del actuador de la órtesis. (Elaboración propia)

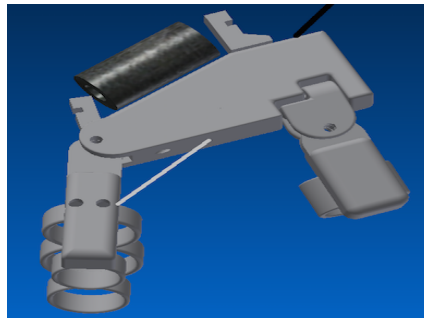
- **El apoyo para el dedo pulgar:** Corresponde a la pieza que sujetará el dedo pulgar del paciente, al actuador de la órtesis. La idea de este apoyo, es que pueda dejar el dedo pulgar en una posición relativamente fija, para así, poder lograr la función de pinza, al mover el apoyo del dedo índice-medio, hacia el dedo pulgar. En la siguiente imagen, se puede apreciar dicha función, donde el dedo pulgar permanece relativamente fijo, mientras que es el dedo índice-medio, el que se moverá para lograr el movimiento de

Figura 8: Diseño realizado en inventor del apoyo para el dedo pulgar en posición de cierre de pinza del actuador de la órtesis. (Elaboración propia)



- **El apoyo para el dedo índice-medio:** Se encargará de sujetar a la vez, el dedo índice y el dedo medio del paciente. En esta parte, también irá, el soporte donde será ejercida la fuerza del resorte axial, para así, poder lograr el movimiento de apertura de pinza. Este movimiento, será ejercido por el resorte, sobre el apoyo del dedo índice-medio, que es el que realizará los movimientos de pinza, recordando que el dedo pulgar permanecerá relativamente fijo. Por otro lado, es en este mismo lugar, donde el actuador lineal ejercerá la fuerza a través del cable, para ejercer la función de cierre de pinza. En la siguiente imagen, se podrá apreciar como el resorte ejercerá la fuerza, sobre el apoyo del dedo índice medio, para así, poder lograr la apertura del actuador de la órtesis.

Figura 9: Diseño realizado en inventor del apoyo para el dedo índice-medio en posición de apertura de pinza del actuador de la órtesis. (Elaboración propia)



- **Estructura contenedora de los componentes mecánicos y eléctricos de la órtesis (Unidad de control):** La estructura contenedora de la unidad de control, se encontrará ubicada en la espalda del paciente. En ella, estarán todos los componentes que trabajarán en conjunto, para realizar el movimiento del actuador de la órtesis. Por otro lado, en dicha estructura también estará el sistema, que recibirá la activación por parte del hombro y la procesará, para hacer funcionar, los componentes que realizan el movimiento. En la siguiente imagen, se puede ver cómo funcionará esta parte, al conectarse al actuador de la órtesis. También será posible apreciar el origen de las dos fuerzas, una que es la encargada de ejercer la fuerza de cierre de pinza de la órtesis, que será provocada por el actuador lineal, y la otra que es la encargada de ejercer la fuerza de apertura de pinza, del actuador de la órtesis, que será provocada por el resorte.



- **Sistema de activación de la órtesis:** Se informó, por parte del médico tratante, que aunque el paciente tiene hemiparesia en la extremidad superior derecha, si presenta señales mio-eléctricas notorias, en el bíceps derecho. Es por esta razón, que para confeccionar el sistema de activación de la órtesis, se usarán brazaletes, con tela conductiva, los cuales recibirán las señales mio-eléctricas provenientes de este músculo. Al poder detectar estas señales, lo que se busca, es que el paciente pueda controlar la apertura y cierre de la órtesis, gracias a la contracción y relajación de este músculo.

Las señales detectadas, serán procesadas, para poder determinar el umbral que diferencie, el estado de contracción y de relajación del músculo, que será efectuado a voluntad del paciente. Será este umbral, el que determinará la apertura o cierre de la órtesis. Si la señal sobrepasa el umbral (contracción del músculo), se realizará la activación, provocando el cierre de la órtesis. Así mismo, si la señal es menor que el umbral (relajación del músculo), se realizará la desactivación, provocando la apertura de la órtesis.

- ✓ **Equipo de ejercicio para la mano derecha, como complemento para una manga de electro-estimulación funcional.**

Este dispositivo será creado en material ABS, impreso en una impresora 3D, la cual tendrá una caja de mando y una estructura que servirá, para la realización de ejercicios de apertura y cierre de la mano derecha. Para realizar dichos ejercicios, se usarán servo-motores, que producirán dicho movimiento en una plataforma, que sostendrá la mano derecha del paciente. Se espera que dicha plataforma, guíe los movimientos de la mano, para realizar los ejercicios de rehabilitación. Así mismo, estos ejercicios deben ser complementados con la manga de electro-estimulación funcional.

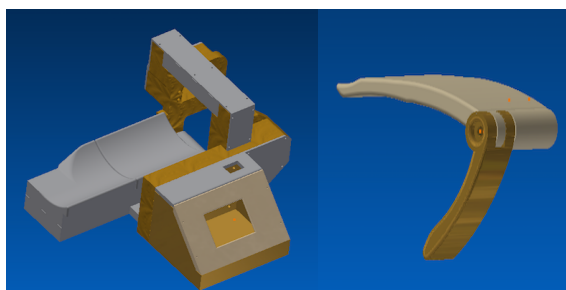


Figura 11: Diseño del equipo para la realización de ejercicios de rehabilitación para la mano derecha como complemento para la manga de electro-estimulación funcional. (Elaboración propia)

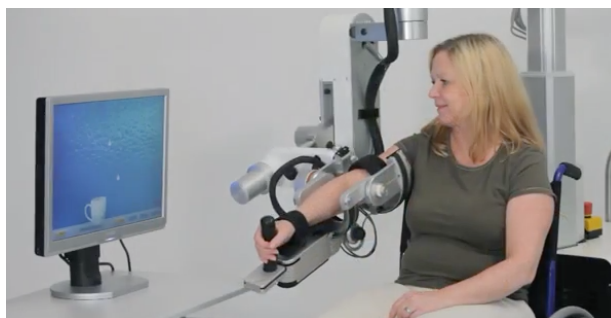
En la imagen de la izquierda, se puede apreciar el diseño del equipo, para la realización de los ejercicios de rehabilitación. Por otra parte, en la imagen de la derecha, se puede apreciar, cómo será la plataforma que sostendrá la mano derecha del paciente y que se encargará, de realizar los movimientos de apertura y cierre de la mano, efectuados a través de los servo-motores.

✓ **Un sistema de ejercicios para el trabajo de rehabilitación de la extremidad**

El sistema que se espera diseñar, servirá para la realización de ejercicios de la extremidad superior derecha. Estos ejercicios, servirán como un complemento importante, para el proceso de rehabilitación del paciente. Los ejercicios que se esperan realizar, a través de este sistema de trabajo, abarcarán distintos movimientos de toda la extremidad, desde muñeca hasta hombro.

El sistema de ejercicio, debe ser capaz de levantar la extremidad superior derecha del paciente, en su totalidad, apoyándola y guiándola en las diferentes rutinas de ejercicios de rehabilitación. De la misma manera, se podrán programar rutinas de diferentes tipos de ejercicios, intensidad y tiempo. Otro punto importante, es que el sistema debe interactuar con una interfaz, con el cual el paciente se sienta a gusto, preferentemente, un videojuego con el cual pueda realizar las rutinas, a medida que va jugando. Esto, ya que al ser un paciente pediátrico, es necesario que se entretenga, a medida que usa el sistema, lo que va a derivar en una mejor aceptación de éste.

Figura 12: Foto del sistema mecánico “ArmeoPower” de su página oficial, extraída el 20 - 11 - 2014.



En la imagen se puede apreciar, cómo funciona el dispositivo “ArmeoPower”, el cual sirve para la realización de ejercicios de rehabilitación, para casos de hemiparesia o pérdida de movimiento de una extremidad superior en pacientes adultos.

4.1.3 *Conceptualización y establecimiento de los requerimientos funcionales y las características técnicas de cada uno de los dispositivos diseñados.*

✓ **Órtesis**

❖ **Requerimientos Funcionales:**

Los requerimientos funcionales, estarán definidos para cada uno de los tres principales componentes del sistema:

- El actuador de la órtesis, ubicado directamente en la mano derecha del paciente.

- La unidad de control, ubicada en la espalda del paciente y que contendrá los componentes electrónicos y mecánicos, que controlan y transmiten el movimiento de la órtesis.
- El dispositivo de activación, que será activado por las señales provenientes del bíceps de la extremidad derecha, permitiéndole al paciente realizar la apertura y cierre de la órtesis a voluntad.

Sistemas de rehabilitación de extremidad superior en un paciente pediátrico específico

31

➤ Requerimientos funcionales para el actuador de la órtesis:

La órtesis, debe ser capaz de soportar y guiar tres dedos, que estarán en contacto con ella (pulgar, índice y medio). Es importante que la órtesis, guíe los dedos al realizar los movimientos de apertura y cierre de la mano derecha. La amplitud de apertura, debe ser apropiada para permitir el agarre de objetos pequeños, de hasta 8 mm de diámetro.

El soporte para el dedo pulgar, debe ser capaz de mantener, de manera cómoda y segura su posición. Su postura, debe ser un poco más rígida, con respecto al soporte de los dedos índice y medio, ya que las dos fuerzas que actuarán, para realizar los movimientos de apertura y cierre de la mano, serán efectuados completamente, en el soporte de los dedos índice-medio, dejando así, el soporte del dedo pulgar como referencia.

El soporte para el dedo índice-medio, debe ser capaz producir un movimiento de apertura y cierre con 90 grados de amplitud, respecto del eje axial del pulgar. Así mismo, debe mantener fijos y de manera cómoda, el dedo índice y medio del paciente. El soporte contendrá también:

- Una cavidad en la cual será sujetado el cable de acero, proveniente de la unidad de control, ubicado en la espalda, y que se encargará de ejercer la fuerza, para realizar el movimiento de cierre de mano.
- Una estructura, que servirá para la fijación del cable, que interactuará entre éste soporte y el cuerpo de la órtesis, que es el responsable de ejercer la fuerza opuesta al cable de acero y así poder realizar el movimiento de apertura de mano.

Es importante también, que el cuerpo de la órtesis, sea capaz de mantener los componentes, que ayudarán a realizar los movimientos de apertura y cierre. Estos componentes son básicamente 2:

- Un resorte, que ejercerá la fuerza para la apertura del conjunto, dedo índice-medio, con respecto al cuerpo de la órtesis.
- Una guía, que contendrá el cable de acero, que es el encargado de transmitir la fuerza proveniente del actuador lineal, ubicado en la unidad de control, para lograr la contracción del soporte del dedo índice-medio y así realizar el movimiento de cierre.

➤ Los requerimientos para Unidad de Control:

Ubicada en la espalda del paciente, toma gran importancia, ya que es la estructura contenedora de las partes mecánicas y electrónicas, que interactuarán al momento de hacer funcionar la órtesis. Es necesario que dicha caja sea, en primer lugar, de gran comodidad para el paciente, ya que será usada, en forma de pequeña mochila. También es necesario, que la caja sea lo más reducida e inadvertida posible, ya que se espera, que su uso sea cotidiano, por parte del paciente.

Dentro de la unidad, se encontrarán todos los elementos que se enumeran y describen en las “características técnicas”. Es necesario también, que la caja contenedora de estos elementos, tenga diferentes cavidades de entrada-salida, ya que servirán, para comunicar esta caja y los componentes que posee, con 3 sistemas importantes. Estos sistemas son:

- El cargador de la batería recargable, que se encuentra dentro de la caja y sirve para suministrar energía a los componentes de ésta.
- El sistema de activación de la órtesis, que se ubica en el hombro izquierdo del paciente y que será accionado por éste.
- La órtesis, ubicada en la mano derecha del paciente, que soportará y guiará la mano a rehabilitar, con el fin de lograr los movimientos de apertura y cierre.

➤ Los requerimientos para el sistema de activado, determinado por las señales provenientes del bíceps derecho:

Es necesario, que el paciente pueda realizar dicha activación, al contraer voluntariamente el músculo bíceps, de la extremidad derecha. Es importante también, que esta detección, sean de tal manera, que no se pueda ver afectada por señales externas, producidas por diferentes factores. Es por esta razón, que se necesita un sistema capaz, de detectar estas señales, para que luego puedan ser procesadas, para poder realizar el accionamiento de la órtesis.

❖ Características Técnicas

Dentro de las características técnicas, que tendrá la órtesis, se puede mencionar, que luego de diferentes pruebas que se realizaron, donde se pudo apreciar que peso y tipos de objetos, se necesitan levantar con esta órtesis, se determinó que la fuerza de acción, que deberá ejercer el motor, para hacer que se produzca el movimiento de apertura y cierre de la mano, a través de la órtesis, debe ser mayor a 9N (Newton).

Por otra parte, toda la programación de la ejecución de ese movimiento, a través del actuador, será controlada por el módulo Arduino UNO, el cual recibirá la señal de accionamiento, proveniente del hombro izquierdo del paciente, para luego activar el actuador lineal, que transmitirá la fuerza de tracción, a través del cable de acero, que moverá la órtesis de la mano derecha, realizando el movimiento de cierre, de dicha mano.

A continuación se nombrarán y detallarán los componentes importantes, que se usarán para lograr el movimiento de la órtesis:

Componente	Cantidad	Imagen	Descripción
Actuador Lineal Firgelli L16-50-63-6-R	1		Motor PMDC de diseño axial, que utiliza una sección transversal rectangular, para una mayor resistencia. Las opciones estándar incluyen: cuatro longitudes de carrera, tres combinaciones de fuerza/velocidad, cuatro opciones de interfaz, etc. (Linealtec, 2010)

Arduino UNO	1		Los módulos Arduino, son pequeños computadores con los que se puede registrar información de diferentes sensores, así como controlar la activación de luces, motores y otros dispositivos eléctricos. A diferencia de un computador ordinario, no cuenta con pantalla o teclado, se requiere de un software especial, para poder codificar los algoritmos de control, que gobernarán las acciones del módulo. (CTC, 2014).
Baterías recargables Li-ion GSP 585460 200mAh - 3,7V – 7,4 Wh	2		Es un dispositivo diseñado para almacenamiento de energía eléctrica, que emplea como electrolito, una sal de litio, que procura los iones necesarios, para la reacción electroquímica reversible, que tiene lugar entre el cátodo y el ánodo. (Sánchez, 2010).
Fuente Conmutada Ajustable LM2596 DC – DC	1		Este circuito permite obtener un voltaje regulado, a partir de una fuente de alimentación, con un voltaje mayor, por ejemplo: si tiene una fuente de 12VDC, se puede regular a 5VDC, 3.3VDC, 2.2VDC, etc., para el uso con micro-controladores, Arduino, PICs, Raspberry Pi, fuentes variables, drivers para leds, etc. (Electronilab, 2013).

Sistemas de rehabilitación de extremidad superior en un paciente pediátrico específico

33

Tabla 2: Componentes que se usarán para lograr el movimiento de la órtesis. (Elaboración propia)

Cabe destacar, que adicionalmente a estos componentes principales, se implementaron otros elementos, que forman parte de este sistema, que componen la órtesis. Algunos de estos elementos son:

- Cable de acero de 1 mm de diámetro.
- Resorte axial de tracción.
- Tubo de recubrimiento para el cable de acero.
- Conector para recarga de la batería.

❖ Requerimientos Funcionales:

Dentro de los requerimientos funciones del equipo de ejercicio, para la mano derecha, podemos dividirlo en 4 partes:

34

En primer lugar, el equipo debe ser cómodo y seguro para el paciente, siendo necesario, que en la zona en que se apoya el brazo, tenga una superficie y forma tal, que sea apta, para soportarlo, de la forma más cómoda y segura posible. Así mismo, el brazo debe ubicarse en el equipo de tal manera, que sea fácil para el paciente, poner la mano en la garra, permitiéndole realizar los ejercicios de rehabilitación.

En segundo lugar, la garra, que va a guiar la mano, en los ejercicios de rehabilitación, debe estar en posición horizontal, es decir, el dedo pulgar debe estar en el soporte, que se encuentra hacia abajo, mientras que los otros cuatro dedos de la mano, se encontrarán en el soporte que se encuentra arriba. Así mismo, esta garra, debe ser capaz de mover cada soporte por separado, en diferentes ángulos y velocidades, para así realizar los ejercicios de rehabilitación. La apertura máxima que tendrá esta garra, será de 90 grados, entre los ejes axiales del dedo pulgar y el dedo índice, es decir, cada uno de estos dos soportes, podrá moverse en 45 grados.

En tercer lugar, para poder complementar, los ejercicios de rehabilitación de este equipo, con los de la electro-estimulación funcional, será necesario sincronizar, los impulsos entregados de electro-estimulación, con el ciclo de apertura de mano, que realizará el equipo. Así mismo, hay que recordar que el paciente es alérgico a los adhesivos, comúnmente usados, en electrodos para electro-estimulación, por lo que se hace necesario, usar electrodos secos, para lograr implementar electro-estimulación, en el brazo del paciente, a medida que realiza los ejercicios de rehabilitación.

Por último, el equipo debe contar con un panel de control, que permita al usuario, ajustar los parámetros más relevantes, del ejercicio que se realice. Las opciones del panel de control son las siguientes:

Opciones	Rango	Descripción
Apertura (I)	20-30-45 Grados	Moverá el soporte para todos los dedos, menos el pulgar. Este movimiento tendrá hasta 3 grados de aperturas diferentes. Movimiento hasta 20, 30 o 45 grados.
Apertura (P)	20-30-45 Grados	Moverá el soporte para el dedo pulgar, este movimiento tendrá hasta 3 grados de aperturas diferentes. Movimiento hasta 20, 30 o 45 grados.
Velocidad	De 1 a 4 Repetición por Min	La velocidad con que se realiza cada ciclo de ejercicio, está dada por las repeticiones por minuto. Las velocidades van desde 1 a 4 repeticiones por minuto.

Tabla 3: Opciones que tendrá el panel de control del equipo.
(Elaboración propia)

Tiempo de aplicación	De 1 a 30 Min	El tiempo de aplicación, definirá la duración total del conjunto de ciclos de ejercicios. Este tiempo puede ir entre 1 a 30 minutos.
Opción “Restablecer”	Opción	Opción del panel de comando, que restablece los valores predeterminados para las 4 opciones anteriores.
Opción “Comenzar”	Opción	Opciones del panel de comando, que comienza la sesión de ejercicios, con los valores escogidos.

Sistemas de rehabilitación de extremidad superior en un paciente pediátrico específico

35

Luego de comenzar la sesión de ejercicios, el panel de comandos debe cambiar a un panel de “progreso”, donde se ve el avance en tiempo, de lo que se lleva ejercitando. Así mismo, debe mostrar también en el panel de “progreso”, las opciones escogidas anteriormente, para poder ser revisadas en cualquier momento, mientras se realizan los ejercicios. Por último, en este panel, también debe ser posible, escoger la opción de pausar el ejercicio, en cualquier momento, y así mismo, salir y cancelar la sesión de ejercicio.

❖ Características Técnicas:

A continuación se nombrarán y detallarán los componentes importantes, que conformarán el equipo de ejercicios de rehabilitación, como complemento para una manga de electroestimulación funcional:

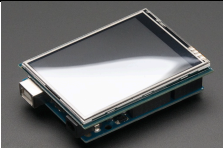
Componente	Cantidad	Imagen	Descripción
Arduino UNO	1		Los módulos Arduino, son pequeños computadores, con los que se puede registrar información de diferentes sensores, así como controlar la activación de luces, motores y otros dispositivos eléctricos. A diferencia de un computador ordinario, no cuenta con pantalla o teclado, se requiere un software especial, para poder codificar los algoritmos de control, que gobernarán las acciones del módulo. (CTC, 2014).
TFT TouchShield 2.4” para Arduino	1		El escudo táctil LCD TFT, es una pantalla multicolor TFT compatible con Arduino, con pantalla táctil y el zócalo para tarjetas SD. El conductor TFT, se basa en S6D112 con datos de 8 bits y 4 bits de interfaz de control. (Ada, 2014).

Tabla 4: Componentes que conformarán el equipo de rehabilitación de la mano derecha del paciente. (Elaboración Propia)

Fuente Conmutada Ajustable LM2596 DC – DC	1		Este circuito permite obtener un voltaje regulado, a partir de una fuente de alimentación, con un voltaje mayor, por ejemplo: si tiene una fuente de 12VDC, se puede regular a 5VDC, 3.3VDC, 2.2VDC, etc., para el uso con micro-controladores, Arduino, PICs, Raspberry Pi, fuentes variables, drivers para leds, etc. (Electronilab, 2013).
Baterías Recargables de 12V, 4 AH	1		Una batería o acumulador eléctrico, es un dispositivo electroquímico, que permite almacenar energía en forma química, mediante el proceso de carga, y liberarla como energía eléctrica. El tipo de acumulador, más usado en la actualidad, dado su bajo costo, es la batería de plomo ácida. En ella, los dos electrodos están hechos de plomo y el electrolito es una solución de agua destilada y ácido sulfúrico. (CONAMA y GTZ., 2014)
Standard Servo GOTECK GS-5509MG	2		Un motor servo, es un dispositivo actuador, que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición, dentro de su rango de operación, y de mantenerse estable en dicha posición. Está formado, por un motor de corriente continua, una caja reductora y un circuito de control, y su margen de funcionamiento generalmente es de menos de una vuelta completa. (MCI, 2009).
Mini wireless digital TENS AND EMS DM6227	1		Mini estimulador automático, que permite aplicación inmediatamente, en cualquier momento y en cualquier lugar, en tan sólo 3 segundos. Basta con colocar el electrodo inalámbrico, autoadhesivo, directamente donde se requiere, seleccionar el programa deseado y listo. Las unidades TENS, son recomendadas por los fisioterapeutas y los médicos para fortalecer y tonificar los músculos. (TENSPros, 2015).

✓ *Sistema de ejercicios para el trabajo de rehabilitación de la extremidad*

❖ Requerimientos Funcionales

Este sistema de ejercicios para el trabajo de rehabilitación, es el más complejo de los tres equipos, que forman parte de este trabajo, debido a su complejidad de control y expectativas de efecto terapéutico, que se traduce en requerimientos funcionales específicos, muy particulares y difíciles de lograr.

En primer lugar, debe ser un equipo capaz de soportar, mover y guiar, en una serie de patrones específicos, toda la extremidad superior derecha del paciente. El paciente debe sentarse y colocar su extremidad, en una estructura, la cual guiará esta extremidad, en los ejercicios a realizar. Estos ejercicios consisten en una serie de movimientos, que influirán en las zonas del hombro, muñeca, antebrazo y brazo del paciente.

Es por esta razón, que además de ser una estructura capaz de soportar y guiar estos ejercicios, debe también, poder fijar de la mejor manera posible, dichos segmentos del cuerpo, a la estructura, sin que esto afecte negativamente, la comodidad del paciente o produciendo algún tipo de daño.

Como consejo del equipo de médico, que trata al paciente, hay que fijar los segmentos de la extremidad, de la forma más firme posible. Así mismo, toma gran importancia la fijación y posición del codo, el cual debe estar firme y unido a esta estructura, ya que es el punto principal, de acción de los ejercicios de rehabilitación, que se pretenden emplear.

Según los ejercicios recomendados por los médicos, que se ocupan de la rehabilitación, este equipo debe de guiar al paciente, en una serie de ejercicios de actividades cotidianas. Dentro de estos ejercicios o movimientos que debe realizar el paciente, el más importante, y que fue recalado por los médicos, para su proceso de rehabilitación, es el de pronación y supinación. En la siguiente imagen, se puede apreciar este movimiento:



Figura 13: Movimiento de pronación y supinación de la extremidad superior derecha. (Higuero, 2007).

Otros de los movimientos necesarios recomendados por los médicos, son aquellos que la extremidad debiera realizar en caso de un normal funcionamiento. Dentro de estos podemos mencionar los siguientes movimientos:

- Movimiento de comer (Mover la extremidad simulando el llevarse la comida a la boca).
- Movimiento de lavarse los dientes.

Sistemas de rehabilitación de extremidad superior en un paciente pediátrico específico

- Movimiento de desabrocharse el cuello (Llegar al medio del cuello).
- Movimiento que simula el lanzamiento de objetos con la extremidad.
- Movimiento de tracción y contracción (Simular abrir una puerta).
- Movimiento que simula Desenvainar una espada.

Las sesiones de realización de los movimientos mencionados anteriormente, según especificaciones médicas, idealmente deben ser de 45 minutos de duración. Este tiempo fue destacado por los médicos, ya que la idea es dividir la sesión en dos etapas.

Una primera etapa, que será la parte analítica de la sesión, en la cual, los médicos van a poder medir las reacciones y mejoras de los músculos del paciente, al realizar los ejercicios de movimiento, para así poder hacer un seguimiento de la recuperación, de estos músculos, a medida que las sesiones avanzan.

La segunda parte, será la etapa funcional de la sesión, en la cual se ejecutarán los ejercicios de rehabilitación, con el fin de ir estimulando los músculos, en cada uno de ellos.

Cabe destacar que en este tipo de rehabilitación, según informan los terapeutas, los ejercicios deben variar en cada ciclo, sin que exista un patrón de repetición. Es por esto, que toma gran importancia, que el equipo, aparte de realizar ejercicios de rehabilitación en sí, pueda ser programado para rutinas, donde el paciente pueda ir, completándolas y aumentando la dificultad de los ejercicios, a medida que avanza en su rehabilitación.

Por otra parte, y tomando en cuenta que el destinatario es un paciente pediátrico donde, a diferencia de un paciente adulto, la realización de ejercicios prolongados, son difíciles de hacer, ya que el paciente suele desconcentrarse con facilidad o aburrirse. Es necesario que, aparte del equipo para la realización de ejercicios, de la extremidad superior derecha, exista un sistema de juego, para que el paciente pueda entretenerse y motivar el uso de este equipo. Es por esta razón, que toma gran importancia, el que este equipo de rehabilitación, pueda interactuar con una pantalla, que a su vez contendrá, algún tipo de juego, que hará que el paciente, a medida que realiza los ejercicios, también pueda jugar y divertirse. Esto pensado en estimular la utilización de este equipo, para que su uso y constancia pueda ser una diversión y un desafío para el paciente.

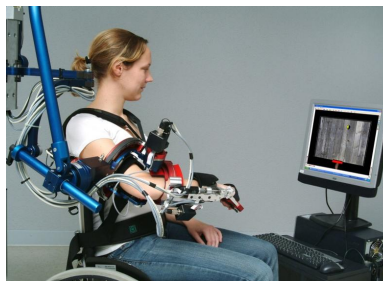


Figura 14: Foto del sistema mecánico “ArmeoPower” de su página oficial, extraída el 13 - 06 – 2015.

En la imagen mostrada, correspondiente al sistema de rehabilitación “ArmeoPower”, se puede apreciar cómo podría interactuar, un equipo de rehabilitación, con una pantalla para la realización de ejercicios. Cabe destacar que en el caso del equipo que se pretende confeccionar, la idea es integrar, algún tipo de juego, con que se familiarice el paciente, para lograr así, captar su atención y poder mezclar, los ejercicios de rehabilitación, con la entretención del paciente. Esto produciría, mejores resultados de dedicación y esfuerzo, por parte del paciente, a la hora de realizar los ejercicios, logrando así, maximizar su proceso de rehabilitación.

❖ Características Técnicas

Sistemas de
rehabilitación de
extremidad superior en
un paciente pediátrico
específico

El sistema de ejercicios deberá contar con las siguientes especificaciones:

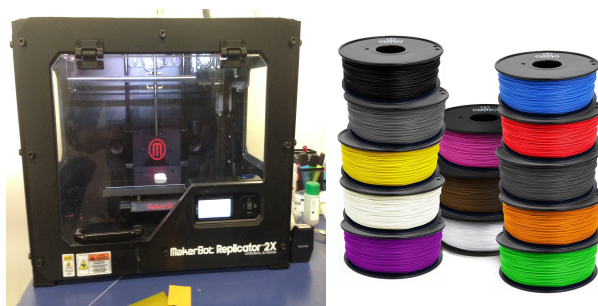
- a. **Brindar soporte de gravedad cero:** La estructura mecánica del sistema, debe ser capaz de fijar, soportar y mantener la posición del brazo derecho, en equilibrio estático y dinámico, tal que no sea necesario, ejercer fuerza, por parte del paciente, incluso para mantener el brazo elevado. A este efecto se le conoce como “anulación de gravedad”, ya que no requiere de la aplicación de fuerza por parte del paciente, para mantener una posición elevada del brazo.
- b. **Grados de libertad y Amplitud de movimiento:** El sistema deberá poseer suficientes grados de libertad, para poder realizar rotaciones, en todas las articulaciones del brazo derecho del paciente, como así también la apertura y cierre de la mano. Así mismo, deberá ser capaz de ejecutar movimientos funcionales en la extremidad, con la amplitud apropiada, según las indicaciones de los terapeutas.
- c. **Asistir al movimiento voluntario:** El sistema deberá ser capaz de medir, la actividad electro-muscular del brazo derecho, en diversos puntos, y en base a dicha información, asistirá al movimiento de la extremidad, conforme el paciente, en forma voluntaria, provoque dicha actividad electro-muscular. De manera complementaria, existirán una serie de sensores de fuerza, capaces de detectar fuerzas voluntarias, ejercidas por el paciente, y consecuentemente, ejecutar los movimientos en la dirección de esa fuerza, para asistir al movimiento de la extremidad.
- d. **Grabar movimientos:** El sistema deberá ser capaz de recoger información externa, como la aplicación de una fuerza, para realizar una secuencia de movimientos asistidos, que quedarán grabados en una memoria interna, para luego ser repetidos, de forma automática, con posterioridad.
- e. **Ejecutar movimientos pre programados:** El sistema debe ser capaz de ejecutar, una serie de movimientos, en secuencias específicas y que corresponden a ejercicios o tareas funcionales. Estas secuencias fijas, estarán definidas por los terapeutas, pudiendo ajustarse la velocidad, tiempo de ejecución o número de repeticiones.
- f. **Realimentación virtual:** El sistema,deberá estar dotado de una pantalla de visualización para el paciente, en la que se presentarán, una serie de escenarios virtuales, en que se realizarán ejercicios funcionales o se controlarán juegos. Los eventos que se produzcan en la pantalla, estarán sincronizados, con los movimientos automáticos o asistidos, que realice el paciente.
- g. **Control directo:** El sistema debe tener un modo de control directo, en el cual un operador autorizado, puede controlar arbitrariamente, el movimiento individual, de cada uno de los grados de libertad, del sistema articulado. De esta forma se puede grabar poses y componerlas, para generar nuevas secuencias de movimiento.

- h. **Limitaciones de seguridad:** El sistema deberá contar, con una serie de medidas de seguridad, que permitan prevenir daño al paciente, por aplicación de fuerza excesiva, flexiones, extensiones o rotaciones fuera de rango, vale decir, que no debe producir movimientos no naturales o que produzcan dolor, incomodidad o daño al paciente.
- i. **Seguridad electro-médica:** El sistema deberá proveer aislación eléctrica apropiada hacia el paciente, adicionalmente, deberá estar dotado de medidas adicionales de seguridad, garantizando que no se pondrá en riesgo eléctrico, al paciente.

4.1.4 *Aplicación de los métodos de fabricación, para los modelos funcionales, de los dispositivos de rehabilitación.*

Es importante primero mencionar, que cada modelo de las partes, fue diseñado haciendo uso del software “Inventor”. Estos diseños, permiten ser luego impresos en una impresora 3D, la cual usa como material para sus impresiones, en el caso específico de este trabajo, un filamento de plástico ABS de 1,75 mm de grosor.

Figura 15: Foto real, de una impresora 3D y fotografía ilustrativa, de los filamentos usados en la impresión.
(Elaboración Propia)



A la izquierda, fotografía real de la impresora 3D, empleada para la creación de las piezas. A la derecha, fotografía ilustrativa de la presentación, en que se encuentran los filamentos de material ABS, usados en la impresión.

✓ **Órtesis**

Al igual, que durante el proceso de descripción funcional de este dispositivo, la confección y montaje, también se dividió en 3 secciones:

- El actuador de la órtesis, ubicada directamente en la mano derecha del paciente.
- La unidad de control, ubicada en la espalda del paciente y que contendrá los componentes electrónicos y mecánicos, que controlan y transmiten el movimiento de la órtesis.
- El dispositivo de activación, que estará ubicada en el hombro izquierdo del paciente, permitiéndole activar la apertura y cierre de la órtesis.

Es necesario mencionar que, para la confección de este equipo, fue necesario imprimir un total de 9 partes. Los planos de estas partes se pueden apreciar en la sección de anexo. (Ver Anexo 1)
A continuación el listado de las partes diseñadas e impresas:

- Cuerpo del actuador
- Apoyo para el dedo pulgar
- Unión
- Apoyo para el dedo índice-medio (Parte 1)
- Apoyo para el dedo índice-medio (Parte 2)
- Sujetador
- Estructura contenedora de los componentes de la unidad de control
- Tapa de seguridad para el compartimiento de las baterías
- Tapa correspondiente a la estructura contenedora

➤ Actuador de la órtesis

El actuador de la órtesis, es la estructura que se ubica en la mano derecha del paciente, dicha estructura, sostendrá los dedos pulgar, índice y medio de la mano. Será ésta, quién guiará los dedos, en los movimientos de apertura y cierre.

En primer lugar, para lograr sostener los dedos, anteriormente mencionados, fue necesaria la confección de dos estructuras. Una estructura, que sostendrá el dedo pulgar y otra que sostendrá, el dedo índice y el dedo medio a la vez. Se escogió sostener estos tres dedos, en vez de los cinco, ya que la función de agarrar objetos de la mano, está determinada, solo por dichos dedos, siendo los otros dos (meñique y anular), acompañamiento a dicho movimiento. Las dos estructuras confeccionadas, que sostendrán y guiarán, en los movimientos a estos tres dedos, se pueden apreciar a continuación:

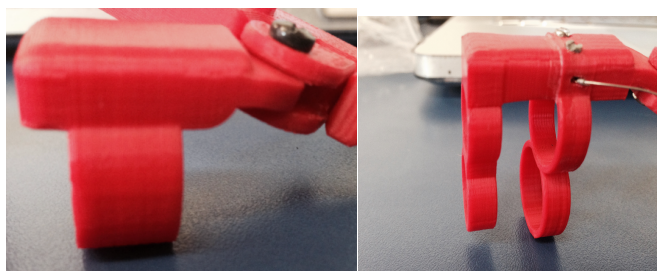


Figura 16: Foto de las estructuras que sostendrán los dedos pulgar, índice y medio, de la mano derecha. (Elaboración Propia)

En la imagen de la izquierda, se puede apreciar la estructura, que sostendrá el dedo pulgar de la mano derecha del paciente. Mientras, que en la imagen de la derecha, se puede observar la estructura, que sostendrá los dedos índice y medio de la mano derecha del paciente.

Luego, se procedió a la confección de la pieza, que servirá como cuerpo, para unir las dos estructuras, anteriormente mencionadas, y así dar como resultado, una sola, correspondiente al “Actuador de la órtesis”. En este cuerpo del actuador, también estarán ubicados, un resorte axial de tracción y un cable guía de metal. El primero, es el encargado de realizar la fuerza de tracción, sobre el apoyo para los dedos índice y medio, que provocará, el movimiento de apertura; mientras que el segundo, corresponderá a un cable de acero, que proviene desde la unidad de control y transmitirá la fuerza necesaria, producida por el actuador lineal, hacia el mismo apoyo, para realizar el movimiento de cierre.

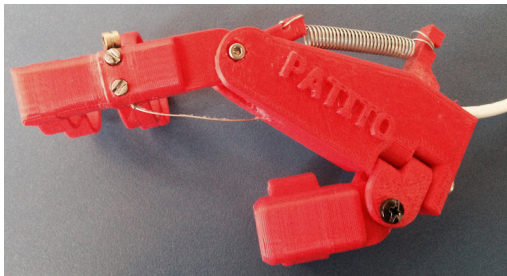


Figura 17: Foto de la estructura correspondiente al cuerpo del actuador de la órtesis. (Elaboración Propia)

En la imagen anterior, se puede observar la pieza confeccionada, correspondiente al cuerpo del actuador y en ella se aprecia cómo y dónde, estarán ubicados el resorte axial y el cable de acero, que son las piezas encargadas de transmitir, las fuerzas necesarias, para realizar los movimientos de apertura y cierre de la mano.

Por último, una vez realizadas las uniones de todas las piezas, anteriormente mencionadas, se llegó a una estructura final, correspondiente al actuador de la órtesis. Es ésta, la que sostendrá y guiará los dedos de la mano del paciente, durante el proceso de tomar y soltar objetos. Cabe mencionar, que la estructura que sostendrá el dedo pulgar, estará relativamente fija en su posición, esto determinará, que los movimientos y agarres sean definidos, solo por la pieza que sostendrá, los dedos índice y medio.

Figura 18: Foto del actuador de la órtesis totalmente armado. (Elaboración Propia)



En la imagen se observa, cómo interactúan las dos piezas (resorte y cable de acero), que son las encargadas de realizar las fuerzas, con el apoyo para los dedos índice y medio.

El proceso de armado completo, del actuador de la órtesis, se encuentra detallado en el anexo (Ver Anexo 6), en él se explica, cómo se realizó la confección y unión de cada uno de los componentes, que lo conforman. Por otra parte, también se detallan, los tipos de pernos y otros materiales, que fueron usados, para la fabricación de esta estructura.

➤ La unidad de control

Para realizar la impresión de esta unidad, primero se procedió a imprimir las tres partes, que la conforman y que fueron diseñadas con anterioridad. Estas tres partes corresponden a:

- La estructura contenedora, de los componentes de la unidad de control.
- La tapa de seguridad, para el compartimiento de las baterías (Dicho compartimiento se encuentra dentro de la estructura contenedora).
- La tapa de la estructura contenedora.

Una vez impresas estas tres piezas, que conforman la unidad contenedora de control, se procedieron a ubicar cada componente, en dicha estructura. Hay que recordar, que ésta fue diseñada, para poder alojar y fijar, de la mejor manera posible, los componentes necesarios que utilizará la órtesis, para su funcionamiento. Estos componentes son:

- Actuador Lineal Firgelli L16-50-63-6-R.
- Arduino UNO.
- Baterías recargables Li-ion GSP 585460 200mAh - 3,7V – 7,4 Wh.
- Fuente Conmutada Ajustable LM2596 DC – DC.

A continuación, se muestra en la imagen de la izquierda, la estructura contenedora, con los componentes totalmente armados en ella, así como también, la tapa de seguridad, para el compartimiento de las baterías. Por otro lado, a la derecha se muestra la tapa de la estructura contenedora impresa.

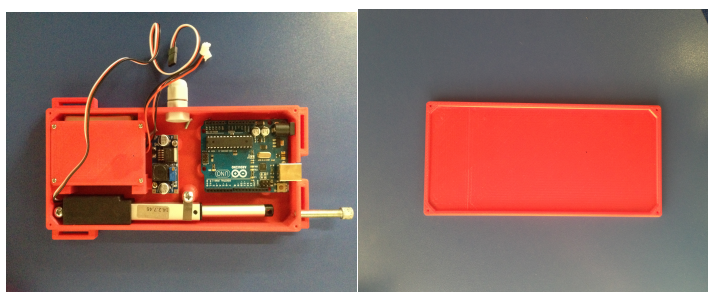


Figura 19: Estructuras que conforman la unidad de control de la órtesis. (Elaboración propia)

Es importante mencionar que, además de estos componentes, se utilizaron otros más pequeños, que sirvieron para fijar, unir y asegurar, todos los componentes anteriormente mencionados. En la siguiente imagen, se puede apreciar la unidad de control, totalmente armada:

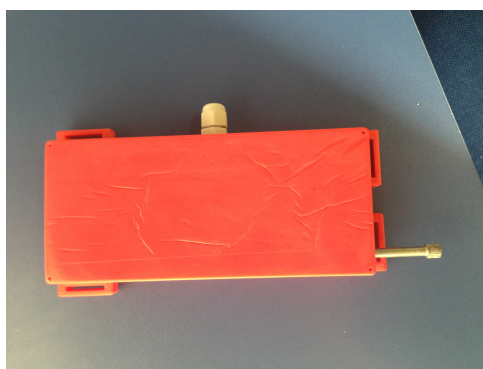


Figura 20: Foto de la unidad de control de la órtesis, totalmente armada. (Elaboración propia)

➤ Dispositivo de activación

Existen diversas formas, de provocar la activación de la órtesis. Usualmente, estos dispositivos son del tipo mecánico, requiriendo una activación mecánica, cuando esto es posible. Esta activación es realizada, por alguna porción de la misma extremidad, que posea actividad remanente, para ejercer la fuerza y amplitud de movimientos necesarios, que provoquen la activación mecánica.

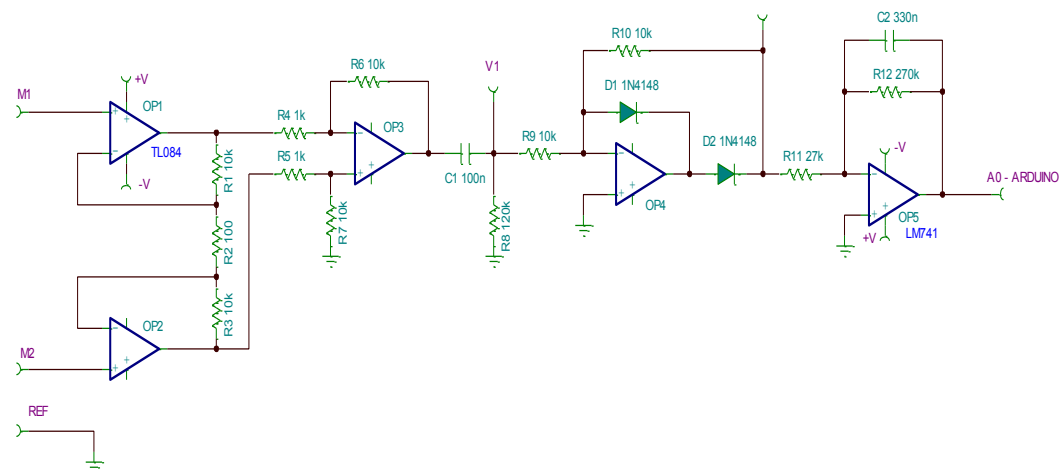
En nuestro caso particular, el paciente no posee esas características, únicamente se logró registrar actividad electro-muscular, en el bíceps del brazo derecho. De lo anterior, la neuróloga tratante,

indicó que se utilizará, la señal de contracción de este músculo, para la activación del cierre de la órtesis, y de manera complementaria, la relajación de este músculo, sería empleada para la apertura de la órtesis.

La actividad de este músculo, fue medida empleando un amplificador de electromiografía, basado en un amplificador biológico, cuya señal es filtrada, rectificada, integrada y luego ingresada, al módulo “Arduino de control”, para que se produzca la activación del actuador lineal, para provocar el cierre y apertura de la órtesis.

A continuación se muestra el diagrama esquemático, del amplificador miográfico empleado.

Figura 21: Amplificador de EMG empleado para la activación de la órtesis. (Elaboración propia)



Se puede apreciar en el circuito, las entradas M1 y M2, que se localizan directamente sobre el bíceps del paciente, empleando brazaletes de tela conductiva, la referencia REF se conecta con los mismos brazaletes en la muñeca del mismo brazo, la salida de este circuito, se conecta a la entrada analógica del módulo ARDUINO, el que procesa esta información y determina la activación del cierre o apertura de la órtesis, en función del nivel de la intensidad de la actividad electromiográfica.

➤ Órtesis final Armada

Una vez que las tres partes, (actuador de la órtesis, unidad de control y sistema de activación) de la órtesis fueron impresas y ensambladas, se procedió a integrarlas para conformar la órtesis final. Para este proceso, en primer lugar, se procedió a lubricar el cable de acero, para disminuir el roce, mejorando la fuerza que el actuador lineal transmite, al “apoyo para el dedo índice-medio”, así mismo, se agregó un tubo de recubrimiento, para el cable de acero, y que sirve para proteger este cable, cuando transmita la fuerza proveniente del actuador lineal, ubicado en la unidad de control.

Cabe señalar, que el sistema de activación de la órtesis, va unido al módulo Arduino, que se encuentra dentro de la unidad de control. Es este módulo, el que se encarga de realizar el proceso de apertura y cierre de la órtesis.

Este proceso está determinado por un código fuente, que fue programado en lenguaje C (Ver Anexo 2). Un código fuente, es un conjunto de líneas de texto, codificado en algún lenguaje de programación, que son las instrucciones que debe seguir el módulo Arduino, para ejecutar la programación diseñada (LINFO, 2004). A continuación, se puede apreciar el equipo totalmente

armado, correspondiente al actuador de la órtesis, unidad de control y sistema de activación de ésta.



Sistemas de
rehabilitación de
extremidad superior en
un paciente pediátrico
específico

45

Figura 22: Foto del
equipo de la órtesis,
totalmente armado.
(Elaboración propia)

Esta órtesis, tiene como finalidad, guiar y apoyar al paciente, en el momento de realizar la acción de tomar o soltar un objeto. El paciente, al realizar la acción de agarre, envía impulsos eléctricos, a través de los músculos, los cuales son recogidos, por el sistema de activación y procesados por la unidad de control. Dando como resultado, la activación o no, del actuador de la órtesis.

La idea de este dispositivo, es poder otorgarle, una mayor autonomía al paciente y con esto se espera, que pueda desenvolverse mejor, en las diferentes acciones que realiza a diario, pudiendo utilizar, en un mayor grado, su mano derecha.

✓ ***Equipo de ejercicio para la mano derecha, como complemento para una manga de electro-estimulación funcional.***

Para la confección de este equipo, fue necesario imprimir un total de veinte partes. Dichas partes fueron diseñadas y se ven ya ensambladas, en el capítulo 4.1.2, donde se caracterizaron, cada uno de los equipos. Los planos de estas partes, se pueden apreciar, en la sección anexos. (Ver Anexo 3)

A continuación el listado de las partes diseñadas e impresas:

- Pieza base del equipo
- Porta brazo parte uno
- Porta brazo parte dos
- Garra soporte dedo pulgar
- Garra soporte dedo índice
- Pieza contenedora del motor uno
- Pieza contenedora del motor dos parte uno
- Pieza contenedora del motor dos parte dos
- Pieza horizontal superior
- Pieza contenedora del circuito
- Pieza pantalla para la caja
- Pieza porta Arduino
- Tapa de la estructura contenedora del circuito
- Tapa uno motor uno
- Tapa dos motor uno

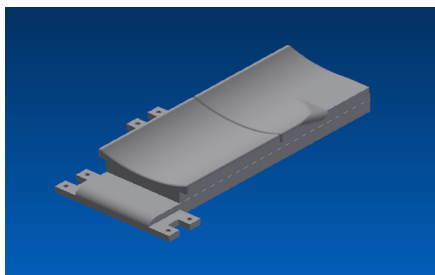
Trabajo de Título 2015

- Tapa uno motor dos
- Tapa dos motor dos
- Tapa pieza horizontal superior
- Pieza contenedora de la batería
- Tapa de la estructura contenedora de la batería

46

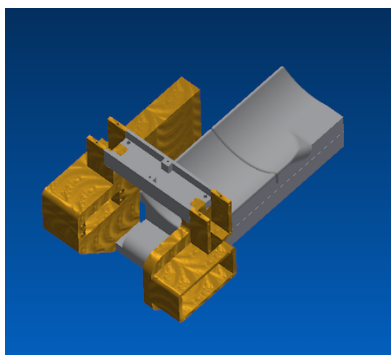
Una vez impresas, las veinte partes mencionadas, se procedió a armar el equipo con cada una de ellas. Para ello se procedió a ensamblar, la estructura base del equipo, para que luego, ésta fuera usada como base y referencia para el ensamblado, de las demás piezas. Esta estructura corresponde, en el equipo, al lugar donde será apoyado el brazo del paciente, durante los ejercicios de rehabilitación. En la siguiente imagen, que fue modelo en el programa “Inventor”, se puede apreciar cómo quedará ensamblada esta estructura, que servirá como estructura principal, de referencia para las demás piezas.

Figura 23: Imagen modelada en el programa “Inventor”, de las 3 primeras piezas ensambladas.
(Elaboración propia)



Luego, a la estructura anteriormente mencionada, se le agregaron las piezas, donde se instalaron los servo-motores, que ejercen la fuerza para realizar los movimientos, para los ejercicios de rehabilitación. Estas piezas toman gran importancia, ya que, aparte de que en ellas van los servo-motores, también pasarán y contendrán, todos los cables que provocarán, la activación de estos. En la siguiente imagen, que fue modelo en el programa “Inventor”, se puede apreciar, cómo fueron incorporadas estas dos piezas, a la estructura anteriormente armada.

Figura 24: Imagen modelada en el programa “Inventor”, de la estructura resultante de los ensambles
(Elaboración propia)



Para terminar de conformar, lo que será el esqueleto principal del equipo, se procedió a incorporar el apoyo o garra para la mano. Este apoyo tiene una gran importancia, ya que es en él, que los servo-motores, ejercen la fuerza para realizar los movimientos de ejercicios de rehabilitación.

Un servo-motor, ejerce la fuerza sobre el apoyo superior de la mano, el cual tiene como función, guiar a los dedos índices, medio, anular y meñique, en la realización de los ejercicios. Mientras que el otro servo-motor, ejercerá la fuerza sobre el apoyo inferior de la mano, el cual tiene como función, guiar al dedo pulgar, en la realización de los ejercicios. Con la incorporación de este apoyo o garra, al equipo anteriormente armado, se obtiene el esqueleto final del equipo de rehabilitación. En la siguiente imagen, se puede observar cómo queda el equipo, con los ensambles realizados.

Sistemas de rehabilitación de extremidad superior en un paciente pediátrico específico

47

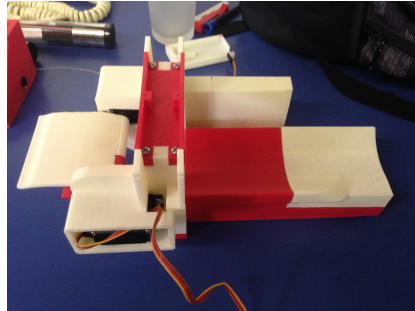


Figura 25: Foto de la estructura resultante de todas las uniones. (Elaboración propia)

Como se puede apreciar en la figura 25, la estructura principal ya esta armada y solo falta agregar:

- La estructura contenedora del circuito, que controlará este equipo.
- Las tapas que cubrirán las partes abiertas.
- La estructura contenedora de la batería.

La estructura contenedora del circuito de control, corresponde a la cavidad en la cual, estarán todas las partes eléctricas. En ella podemos encontrar, el circuito que manejará, toda la activación del equipo, así como también, la pantalla touch, que es la encargada de interactuar con el usuario, para poder escoger, los diferentes parámetros y tipos de ejercicios.

El circuito, que se encuentra armado al interior de esta estructura contenedora, fue ensamblado a través del siguiente diseño:

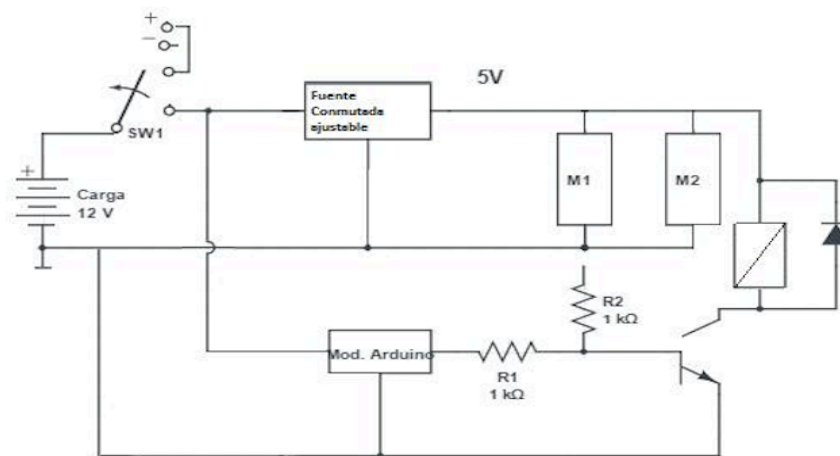


Figura 26: Diseño del circuito armado. (Elaboración propia)

En el diagrama, se pueden observar los componentes, que fueron utilizados para el armado del circuito, que controlará, la activación del equipo de rehabilitación. Así mismo, también se pueden

Trabajo de Título 2015

observar, los componentes, que forman parte del circuito de disparo, para la habilitación de la electro estimulación funcional.

Estos son:

- Dos resistencias de 1 K Ohm
- Un transistor PN 2222
- Un relé DC 5 Volt DT

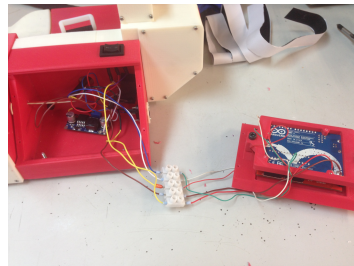
48

Por otro lado, la pantalla touch, corresponde a una TFT TouchShield 2.4", que funciona como complemento al modulo Arduino. De la misma manera, en dicho modulo Arduino, estará el código fuente, que fue programado en lenguaje C (Ver Anexo 4).

Como se mencionó anteriormente, un código fuente, es un conjunto de líneas de texto, codificado en algún lenguaje de programación, que son las instrucciones que debe seguir el módulo Arduino, para ejecutar la programación diseñada (LINFO, 2004). En este caso, las opciones de ejercitación, que fueron programadas a través del código, ya están explicadas en el capítulo 4.1.1. Así mismo, todo el control de la pantalla táctil, también fue programado en el mismo código.

Como resultado de este código programado, el usuario podrá modificar parámetros, tales como: el ángulo de apertura de la mano, la velocidad de movimiento y la duración del ejercicio. La confección final resultante, que integra tanto el equipo, con la pantalla táctil y el módulo Arduino, se puede apreciar a continuación:

Figura 27: Resultado final, resultante que integra tanto el equipo con la pantalla táctil y el módulo Arduino.
(Elaboración propia)



Cabe mencionar que en el equipo, existe un interruptor, que será el encargado de diferenciar, las tres opciones posibles. Estas opciones son:

- Prender el equipo.
- Apagar el equipo.
- Cargar la batería del equipo.

La imagen final de la estructura ya armada, se puede apreciar a continuación:

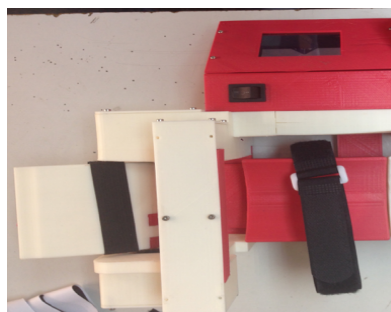


Figura 28: Foto resultante de la incorporación de las tapas a la estructura.
(Elaboración propia)

Posterior a esto, se realizó el ensamblado de la estructura, que contendrá la batería de 12 Volts. Esta batería energizará el sistema y le dará una autonomía, estimada de 300 horas de uso al equipo. Las piezas empleadas para la fabricación de esta estructura son las siguientes:

- Pieza contenedora de la batería.
- Tapa de la estructura contenedora de la batería.

Esta batería, estará unida al circuito del equipo, ya que es la encargada, de energizar los servomotores, y a su vez, en el circuito, se encuentra el sistema por el cual, la batería, puede ser recargada, usando un cargador externo al equipo. Es por esta razón, que la estructura contenedora de la batería, fue ubicada justo al lado izquierdo, de la estructura contenedora del circuito.

El equipo final resultante, se puede apreciar a continuación:

Sistemas de rehabilitación de extremidad superior en un paciente pediátrico específico

49

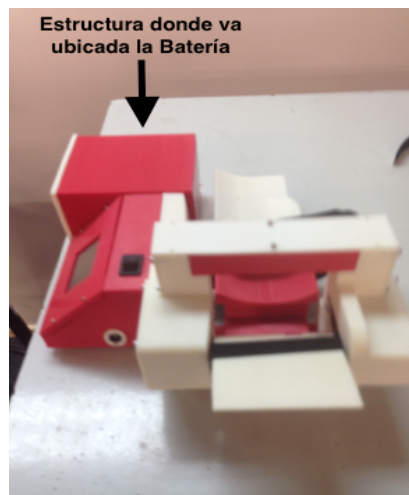


Figura 29: Foto final del equipo totalmente armado. (Elaboración propia)

Como paso adicional, a la confección de este equipo, se le agregó una base de acrílico, para darle firmeza y soporte a cada una de sus partes. Por otro lado, esta base sirvió como sujetador de la estructura de la batería, ya que por su peso, es peligroso sujetarla solo con tornillos normales al equipo. La estructura final resultante, con su base de acrílico, pesa alrededor de 1,5 kilogramos.

Una vez que el equipo, para la realización ejercicios de rehabilitación de la mano derecha, estuvo totalmente armado. Se procedió a complementar éste, con la electro-estimulación funcional. Para esto fue necesario incorporar a este equipo, el dispositivo “Mini wireless digital TENS AND EMS DM6227”. Dicho dispositivo fue recomendado por los médicos del paciente, para cumplir la función de electro-estimular los músculos del brazo, mientras se realizan los ejercicios de la mano derecha del paciente, específicamente, los ejercicios de apertura de mano durante cada repetición.

Para realizar esto, fue necesario sincronizar los impulsos eléctricos entregados por dicho dispositivo, con el movimiento de apertura de mano que realiza el equipo, sobre la mano del paciente.

Por otra parte, hay que recordar que el paciente es alérgico, al adhesivo de los electrodos normales de electro-estimulación funcional. Por ello, fue necesario idear una forma de usar electrodos en seco, sobre el brazo del paciente. Esto se logró, con la utilización de electrodos de

caucho electro-conductivos, del fabricante español TELIT, que sirven como electrodos en seco y que pueden ser conectados a los impulsos, entregados por el dispositivo “Mini wireless digital TENS AND EMS DM6227”

Luego de incorporar, todos los componentes del sistema de electro-estimulación funcional, al equipo terminado, se dio como finalizada la confección de éste. Pudiendo mencionar, que se cubrieron las necesidades de ejercitación para la mano derecha, esto gracias, a la realización de diferentes ejercicios. Así mismo, también estos ejercicios son posibles complementarlos, con electro-estimulación funcional, gracias a la utilización de los electrodos en seco, que pueden ser usados en el paciente.

El proceso de armado completo del equipo, de ejercicios para la mano derecha, se encuentra detallado en el anexo (Ver Anexo 7). En él, se explica cómo fue la confección y unión de cada una de las piezas que lo conforman. Por otra parte, también se detallan los tipos de pernos y otros materiales que fueron utilizados para la fabricación de esta estructura.

✓ ***Apoyo en la confección de un sistema de ejercicios, para el trabajo de rehabilitación de la extremidad superior derecha***

Como se explicó al principio de esta tesis, este es el único equipo en el cual su confección, no fue hecha por el autor, sino que por un conjunto de profesionales. Esto debido a la complejidad de su diseño, confección y programación. Dentro de los profesionales que apoyaron la confección de este equipo podemos mencionar:

- Cinco Ingenieros (Un electrónico, Dos biomédicos, Un informático y Un mecánico)
- Dos Médicos Neurólogos
- Tres Kinesiólogos
- Un terapeuta ocupacional y rehabilitación
- Dos Técnicos Electrónicos

Por lo anteriormente explicado, mi colaboración en la confección de este equipo, fue apoyar, en la creación de partes, que fueron diseñadas en el programa “Inventor” y luego impresas en una impresora 3D. Estas partes tuvieron diversas funciones, como por ejemplo:

- Piezas que sirvieron de eje, para el movimiento producido por los motores.
- Piezas que sostendrán los diferentes segmentos de la extremidad derecha, del paciente en el equipo.
- Piezas de protección, que cubrirán las diferentes intersecciones de los segmentos del equipo.

Los planos de las partes diseñadas e impresas, se pueden apreciar en la sección de anexo (Ver Anexo 5). A continuación el listado de las partes diseñadas e impresas, con sus respectivos planos:

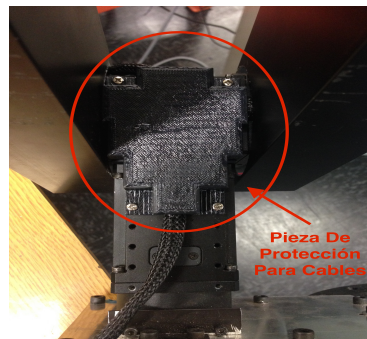
- Pieza de Protección
- Guía Lineal Curva
- Asa de agarre del equipo (Parte 1)
- Asa de agarre del equipo (Parte 2)
- Ruedas Guía (Pieza 1)

- Ruedas Guía (Pieza 2)
- Rueda dentada para la correa
- Bisagra para flexión de codo

➤ **Pieza de Protección**

Una de las piezas diseñadas e impresas, fue un concentrador de conexiones, que permite la fijación y protección de un grupo de cables, que se encuentran en una de las articulaciones principales del sistema, correspondiente a la rotación vertical del hombro. La función de esta pieza, es cubrir tres cables, que convergen en dicha ubicación y que por temas de seguridad, toma gran importancia, a la hora de pensar que este equipo, está diseñado para un paciente pediátrico. Es por esta razón, que se tienen que tomar todas aquellas medidas, que garanticen la seguridad del paciente, a la hora de utilizar el equipo.

La pieza finalmente confeccionada, se puede observar a continuación:



Sistemas de rehabilitación de extremidad superior en un paciente pediátrico específico

51

Figura 30: Foto de la pieza de protección confeccionada.
(Elaboración propia)

➤ **Guía Lineal Curva**

Otra de la parte diseñada e impresa, fue una pieza en forma de C, la que se denomina guía lineal curva, o guía lineal circular. Su propósito, es poder generar un movimiento circular de rotación, con un eje proyectado, a partir de un movimiento lineal, de un motor. Al unir, dos de estas piezas, forman una estructura, por la cual pasa una correa, que transmite la fuerza producida por el motor. Esto hace que la estructura, donde va el motor, use como guía y eje, esta estructura en forma de C, para desplazarse por ella.

A continuación se aprecia, como es esta estructura, su función de guía y eje para la estructura transportadora del motor.



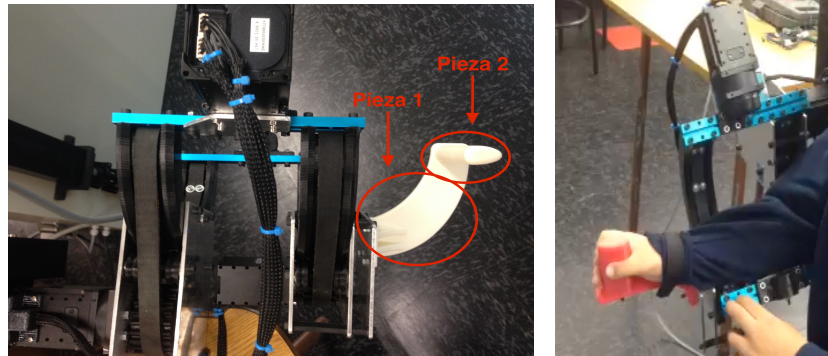
Figura 31: Fotos de la derecha e izquierda, correspondiente a las posiciones de la estructura contenedora. Imagen central, correspondiente a la unión de dos piezas en C confeccionadas.
(Elaboración propia)

En la imagen de la izquierda, se puede ver la primera posición de la estructura contenedora del motor. Mientras que en la imagen de la derecha, se puede observar cómo se desplazó dicha estructura, a una segunda posición. Este desplazamiento, se realizó usando como guía, la estructura en forma de C, que se armó con las piezas impresas. En la imagen central, se puede apreciar, cómo fueron unidas estas dos piezas en C, para conformar la estructura por donde pasa la correa.

➤ Asa de agarre del equipo

Por otra parte, también se diseñó e imprimió dos piezas, que conformarán el asa de agarre del equipo. Esta es la estructura, donde el paciente pone su mano, mientras la otra pieza, es la base que sirve para unir, estas dos partes, a la estructura contenedora del motor, que se mueve a través de la pieza en forma de C. La idea de esta pieza, es que el paciente la sujete, con su mano derecha, a medida que se mueve, con la estructura contenedora del motor.

Figura 32: Fotos correspondientes a las asa de agarre del equipo confeccionada.
(Elaboración propia)



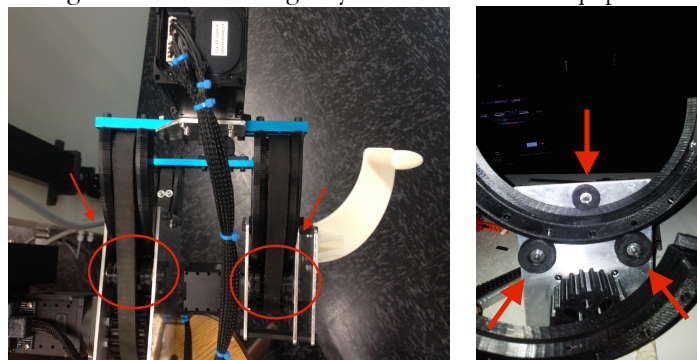
En la imagen de la izquierda, se puede apreciar las dos piezas, que conforman el mango del equipo. Mientras, que en la imagen de la derecha, se puede observar la función, que cumple como mango del equipo, sobre la mano del paciente.

➤ Ruedas Guía

Para realizar el desplazamiento, de la estructura contenedora del motor, es necesario, que algún tipo de estructura, la guíe, mientras recorra la pieza en forma de C, anteriormente explicada. Es por esta razón, que se diseñaron e imprimieron, una serie de ruedas, de dos tamaños distintos, que realizarán esta función.

A continuación, la imagen de estas ruedas guía y su ubicación en el equipo.

Figura 33: Fotos correspondientes a las ruedas guías confeccionadas.
(Elaboración propia)



En la imagen de la izquierda, se pueden ver las ruedas de mayor tamaño, que sirven como guía, de la caja contenedora del motor, como así mismo, también fijan la estructura en forma de C, en su posición. Por otro lado, en la imagen de la derecha, se pueden apreciar, las ruedas de menor tamaño, las cuales tienen también, como función principal, fijar la estructura en C en su posición. La función de fijar, que tienen ambos tipos de ruedas, cumplen los requerimientos, de aumentar la seguridad del equipo y específicamente, los movimientos que se producen, en la estructura en forma de C.

➤ Rueda dentada para la correa

El motor, para transferir la fuerza rotacional, que provoca el movimiento de la correa, transmite su fuerza en forma de tracción de la correa, fijándola con una serie de cavidades, en donde engarzan los dientes de la correa. Para ello, se diseñó e imprimió, una rueda dentada, que se usará en cada una de los actuadores, de los motores que transmitirán, la fuerza de movimiento a las correas.



Figura 34: Foto correspondiente a la rueda dentada, para la correa confeccionada. (Elaboración propia)

En la imagen, se puede apreciar la ubicación de la rueda dentada en el equipo, y como ésta, sujeta la correa. Esta correa, es la encargada de realizar el movimiento, que desplaza la estructura contenedora del motor, a lo largo de la estructura en forma de C.

➤ Bisagra para flexión de codo

Como este, es un equipo, que realiza ejercicios, para toda la extremidad superior derecha del paciente, fue necesario también, diseñar una bisagra, que permita realizar la flexión del codo. Esta bisagra, irá ubicada entre las dos estructuras, que contienen los motores y permitirá flexionar, estas dos partes del equipo, y por consiguiente, la extremidad del paciente. Se imprimieron dos piezas iguales a la diseñada, para luego ser unidas, creando la respectiva bisagra.



Figura 35: Fotos de la derecha e izquierda correspondiente a la flexión que realiza el equipo. Imagen central correspondiente a la unión de dos piezas de bisagra confeccionadas. (Elaboración propia)

En la imagen de la izquierda, se puede observar la posición inicial, de flexión del equipo. Mientras que en la imagen de la derecha, se puede apreciar la flexión que realiza el equipo, y por consiguiente, el brazo del paciente, con respecto a la bisagra creada. En la imagen central, se logra observar la bisagra, que fue creada, uniendo dos copias de la pieza creada.

4.2 Validación de los resultados

54

Para realizar la validación de los resultados, se procedió a exponer los tres equipos, a un médico especialista en rehabilitación. En este caso fue la Dra. Susana T. Lillo, fisiatra infantil. Quién, luego de una revisión, determinó, la satisfacción por la confección de éstos. Respecto a ello, expuso que: *“Cumplen con los requisitos funcionales, para ser utilizados como parte de la terapia de rehabilitación del paciente pediátrico ya señalado y otros con patologías similares. Satisface los requerimientos planteados inicialmente, incluso superando las expectativas esperadas por mí.”*

El documento completo entregado, validando los equipos, se puede apreciar en el anexo (Ver Anexo 8).

5 Discusión

Durante la realización de este documento, se identificaron dos puntos de mayor importancia, a la hora de desarrollar los objetivos, estos son:

- 1) Al realizar el diseño de los dispositivos de rehabilitación, enfocados en el paciente, la identificación de las limitaciones o problemas, que dicho paciente tiene en términos funcionales, es el foco central, al momento de diseñar. Esta identificación de las limitaciones funcionales, serán un importante punto de partida, a la hora de escoger, tanto las características, como también, el determinado funcionamiento, que el dispositivo debe cumplir.
- 2) La realización de una investigación previa, de los dispositivos de rehabilitación ya existentes, como también, el recibir consejos o recomendaciones de médicos especializados, en el tema de rehabilitación, toma gran importancia, a la hora de determinar, cómo deben ser estos equipos. Todo esto, con el fin de lograr un adecuado diseño, que pueda ser de ayuda efectiva, en el proceso de rehabilitación del paciente.

Durante la realización de este proyecto, es posible, que no se haya investigado con mayor profundidad, la problemática relacionada, a los dispositivos de rehabilitación ya existentes en el comercio. Así mismo, puede que haya faltado una descripción más directa y profunda, tanto de la caracterización de los dispositivos, como también, la confección de cada uno de ellos. Se recomienda que, en caso de usar este documento como base para un desarrollo futuro, se analicen las sugerencias anteriormente expuestas, con el fin de lograr un desarrollo más completo, que pueda repercutir, en la mejora del diseño expuesto, en este documento.

6 Conclusiones

6.1 Conclusiones.

Como resultado del proyecto anteriormente expuesto, es posible concluir, que se lograron diseñar y fabricar tres dispositivos, que conforman el sistema de rehabilitación propuestos. Estos sistemas abarcan, las tres necesidades básicas del paciente, las cuales son:

- Fabricar un equipo, que ayude a mejorar la autonomía del paciente, al usar su extremidad superior derecha.
- Fabricar un equipo de ejercicios de rehabilitación, de la mano derecha, que sea complementado con electro-estimulación funcional, no usando electrodos comunes, por la alergia que presenta el paciente al pegamento de ellos.
- Fabricar un equipo, capaz de realizar, de manera autónoma, los ejercicios de rehabilitación, que actualmente son aplicados, por un médico especialista.

Primero, se confeccionó una órtesis, para la mano derecha del paciente, la cual tiene la capacidad de apoyar y guiar dicha mano, al momento de realizar la acción de agarrar un objeto. Esta acción, es controlada por el paciente, a través de la captura, de los impulsos eléctricos, provenientes del músculo bíceps, de la extremidad superior derecha. Es así como, el paciente puede activar o desactivar el movimiento de agarre de la órtesis, pudiendo sujetar o soltar, distintos objetos.

Luego, se confeccionó un equipo, con el cual el paciente, puede realizar distintos tipos de ejercicios de rehabilitación, para la mano derecha. Estos ejercicios, pueden ser programados, tanto en su velocidad, como también, su apertura y duración, por parte de su médico tratante. Así mismo, estos ejercicios pueden ser complementados con la electro-estimulación funcional de la extremidad. Todo esto, gracias a la utilización de electrodos en seco, en el brazo del paciente, los cuales entregan impulsos eléctricos, a los músculos de la extremidad, sincronizados con los ejercicios de la mano.

Por último, se apoyó la confección de un sistema, para la realización de ejercicios de rehabilitación, destinados a la extremidad superior derecha del paciente. Este apoyo, constó en el diseño y fabricación, de diferentes partes que componen los diferentes sistemas del equipo. Entre ellos, piezas que sirvieron como eje, para el movimiento de los diferentes segmentos, piezas de soporte, tanto para el paciente como para el equipo, y piezas de protección y recubrimiento.

Por otro lado, este proyecto ha mostrado, como es posible realizar una metodología adecuada, en el resultado del diseño y fabricación, de dispositivos de rehabilitación. A partir de las actividades propuestas, se ha podido generar una adecuada línea de progreso que, teniendo en cuenta tanto las necesidades de rehabilitación del paciente, así como también, los requerimientos de fabricación, se pudo llegar, a los equipos finalmente expuestos en este documento.

También, se ha demostrado, por las diferentes pruebas realizadas a los dispositivos, así como también, por las opiniones de especialistas, que los equipos cumplen la función de realizar, los ejercicios de rehabilitación, para los cuales fueron diseñados. Dicho esto, hay que mencionar, que se espera que estos dispositivos, sean de gran ayuda, durante el proceso de rehabilitación del

paciente, pudiendo apoyar este proceso, maximizando la capacidad de rehabilitación, de la extremidad superior derecha.

6.2 Resumen de las Contribuciones.

El trabajo desarrollado, corresponde a cubrir la necesidad, que tiene un paciente pediátrico específico, respecto a la funcionalidad, de su extremidad superior derecha. En relación a esto, se logró determinar una metodología de trabajo, que fue eficaz en éste caso, para la investigación y posterior confección de los equipos de rehabilitación.

Adicional a esto, se desarrollaron equipos adecuados, para el proceso de rehabilitación, que lograron cubrir las necesidades del paciente. Esto fue recalcado, por los médicos tratantes del paciente, específicamente, por la Dra. Susana T. Lillo Sarno, quién mostró satisfacción, por la confección de estos equipos. Así mismo, también especificó, que serán de gran ayuda, para el proceso de rehabilitación del paciente

6.3 Alcance de las contribuciones.

Este diseño, de la plataforma de rehabilitación integrada, está destinado a un paciente pediátrico, en específico, que presenta hemiparesia, en su extremidad superior derecha. Adicional a esto, también presenta una serie de otros problemas, que fueron descritos en este trabajo, por lo cual, se hizo necesario, una confección personalizada y específica, que lograra cubrir, las necesidades de dicho paciente.

Asimismo, la metodología utilizada, también puede ser propuesta, para los diseños de diferentes equipos de rehabilitación, destinados a un grupo más amplio de pacientes. Primero, analizando las limitaciones por ejemplo, de un determinado grupo de pacientes, para luego describir o caracterizar, los dispositivos de rehabilitación necesarios, respecto a las necesidades que presenten. De esta forma su descripción, de requerimientos técnicos y funcionales, podrá estar adecuada al grupo de pacientes, que se pretende cubrir, para posteriormente, realizar la confección más conveniente a las necesidades de ellos.

6.4 Investigaciones futuras.

Como investigaciones futuras, se propone:

- 1) Poder aplicar, el diseño de la plataforma de rehabilitación integrada, expuesta en este trabajo, a un grupo más amplio de pacientes, con el fin de poder abordar, una necesidad mayor, de equipos de rehabilitación.
- 2) Que los equipos expuestos en este trabajo, y con el propósito de determinar el nivel en rehabilitación de ellos, sean validados, por médicos especialistas en el área.
- 3) Mejorar la metodología utilizada, con el fin de poder optimizar el proceso de diseño, de dispositivos de rehabilitación. Esperando que se puedan identificar diferentes actividades, que lleven a una mejor confección de la metodología.

7 Referencias Bibliográficas

- Ada. (2014). Adafruit 2.8" TFT TouchShield v2 – Capacitive or Resistive. Recuperado el 12 de junio del 2015, desde <https://learn.adafruit.com/downloads/pdf/adafruit-2-8-tft-touch-shield-v2.pdf>
- Alcalde, Gajownik. (2012). Fisioterapia y calidad de vida. *Revista de colegio de fisioterapeutas*, 15(2), 53-57.
- Arce. (2005). Prótesis de Miembros Superiores. Recuperado el 12 de octubre del 2014, desde <http://www.arcesw.com/pms1.htm>
- Arias López. (2012). Biomecánica y patrones funcionales de la mano. Recuperado el 16 de junio del 2015, desde <http://www.bdigital.unal.edu.co/32030/1/31373-113677-1-PB.pdf>
- Argente, Alvares. (2007). *Semiología médica, fisiopatología, semiotecnia y propedéutica*. Buenos Aires: Editorial Medica Panamericana.
- Autodesk. (2015). Software de CAD 3D para diseño mecánico. Recuperado el 1 de junio del 2015, desde <http://www.autodesk.es/products/inventor/overview>
- Cáceres, Arce, Primo, López, García, Fernández, Gonzales. (2012). Guía para pacientes y cuidadores, ejercicios para realizar en casa después de un accidente cerebrovascular. Recuperado el 7 de junio del 2015, desde <http://www.sexne.es/downloads/ejerciciospararealizarencasadespuesdeunacv.pdf>
- Clase de Tecnologías Creativas (CTC). (2014). Conceptos, ¿Qué es Arduino?. Recuperado el 27 de mayo del 2015, desde <http://madrid.verkstad.cc/es/course-literature/que-es-arduino/>
- CONAMA y GTZ. (2014). *Guía técnica sobre manejo de baterías de plomo ácido usadas*. Santiago: Proyecto CONAMA / GTZ.
- Eisenberg. (1995). *Dictionary of Rehabilitation medicine*. 6(2). Nueva York: Springer Publishing Comp.
- Electronilab. (2013). Módulo LM2596 Convertidor de Voltaje DC-DC Buck 1.25V-35V. Recuperado el 27 de mayo del 2015, desde <http://electronilab.co/tienda/modulo-lm2596-convertidor-de-voltaje-dc-dc-buck-1-25v-35v/>

Escobar, Núñez, Henao, Cerda, Cox, Miranda. (2011). Caracterización psicométrica, motora y funcional en niños con parálisis cerebral. *Revista chilena de pediatría*, 82(5), 388-394.

Fundación Nacional de Discapacitados. (2013). Discapacidad en Chile. Recuperado el 21 de octubre del 2014, desde <http://www.fnd.cl/discapacidadenchile.html>

Giménez. (2002). ¿Qué es la Neurofibromatosis (NF)?. Recuperado el 21 de octubre del 2014, desde <http://www.medicina21.com/doc.php?op=enfermedades3&p=&ef=Fibrosis%20qu%EDstica&id=1399>

Higuero. (2007). El entrenamiento del bíceps (IV): Músculos implicados 3. Recuperado el 10 de junio del 2015, desde <http://www.fuerzaycontrol.com/cuerpo-humano/musculos-anatomia-cuerpo-humano/musculos-del-tren-superior/el-entrenamiento-del-biceps-iv-musculos-implicados-3/>

INE. (2004). Resultado nacional, prevalencia de personas con discapacidad en Chile. Recuperado el 21 de octubre del 2014, desde http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/encuestas_discapacidad/pdf/presentacionresultadosestudionacionaldeladiscapacidad.pdf

Laura. (2013). Hemiplejía y Hemiparesia: causas y apoyo con Tratamiento Natural. Recuperado el 21 de octubre del 2014, desde <http://saludnatural.biomanantial.com/hemiplejia-y-hemiparesia-causas-y-apoyo-con-tratamiento-natural/>

Linealtec. (2010). Productos “actuadores”. Recuperado el 27 de mayo del 2015, desde <http://www.linealtec.com/08-Filrgelli/Firgelli.html>

LINFO. (2004). SourceCodeDefinition. Recuperado el 8 de junio del 2015, desde http://www.linfo.org/source_code.html

Mallea, Heras, Aguirre, Serrano, Tena, Rubio, Delgado. (1997). Síndrome de Sturge-Weber: Experiencia en 14 casos. *Servicio de Neuropediatría y Radiodiagnóstico. Hospital Infantil La Fe*, 46(2), 138-141.

MCI. (2009). *Como utilizar un servo motor con arduino*. Santiago: MCI Electronics.

Organización Mundial de la Salud (OMS). (1968). *Comité de expertos de la OMS en rehabilitación médica* (informes técnicos N° 419). De Suiza: Organización Mundial de la Salud

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2009). Rehabilitación de niños lesionados. *Boletín de la Organización Mundial de la Salud*, 87(1), 325-404.

Prunotto, Cano de la Cuerda, Gómez, Alguacil, Molina. (2013). *Terapia robótica para la rehabilitación del miembro superior en patología neurológica* (2da ed.). Madrid: Elsevier España.

Quintana. (2013)¿Qué es la electro-estimulación o electroterapia? Ondas Rusas. TENS. FES. Recuperado el 28 de octubre del 2014, desde <http://www.kinesiologiaramosmejia.com/que-es-la-electroestimulacion-o-electroterapia-ondas-rusas-tens-fes>

Ruiz. (2012). La verdadera cara de la rehabilitación para discapacitados en chile. Recuperado el 17 de octubre del 2014, desde <http://radio.uchile.cl/2012/11/30/la-verdadera-cara-de-la-rehabilitacion-para-discapacitados-en-chile>

Sánchez, Onelio, Ruiz, Yelki. (2008). *Módulo de Configuración, Seguridad y Reportes del Sistema de Rehabilitación Integral*. Cuba: UCI.

Sánchez. (2010). *Modelo de poligeneración energética distribuida en áreas residenciales*. L.A: Lulu.

Smith. (2014). La maravillosa mano humana. Recuperado el 12 de octubre del 2014, desde <http://www.mundomanana.org/articulos/la-maravillosa-mano-humana-a238>

TENSPROS. (2015). TENS units. Recuperado el 29 de mayo del 2015, desde http://www.tenspros.com/Mini-Digital-Wireless-Stim-Unit-Powered-Muscle-Stimulator_p_42.html

Vergara. (2010). Desarrollo de la Medicina Física y Rehabilitación como especialidad medica. *Revista Hospital Clínico Universidad de Chile*, 21, 281-287.

Sistemas de
rehabilitación de
extremidad superior en
un paciente pediátrico
específico

Órtesis: Dispositivo aplicable a un paciente, con el fin de servir de soporte o cubrir, una deficiencia de alguna parte del cuerpo.

Rehabilitación: Término general, para referirse a la fase del proceso de atención sanitaria, dirigido a atender las secuelas de una enfermedad o trauma, que causan disfunción y discapacidad.

Electro-estimulación funcional: Es una técnica, destinada a producir contracciones, mediante trenes de faradización, en grupos musculares.

Hemiparesia: Condición neurológica, que se ve reflejada, en el debilitamiento muscular de la zona afectada, dificultando su movimiento, pero sin llegar a la parálisis.

Software de CAD 3D “Inventor”: Software que ofrece, un conjunto de herramientas fáciles de usar para diseño mecánico, documentación y simulación de productos en 3D.

ArmeoPower: Es un dispositivo de ejercicio, para la terapia de rehabilitación de la extremidad superior.

Hemisferectomía: Procedimiento neuroquirúrgico, que consiste en la extracción o inhabilitación de un hemisferio cerebral (una de las mitades del cerebro).

Limitación motora o deficiencia motriz: Deficiencia, que provoca en el individuo que la padece, alguna disfunción en el aparato locomotor. Como consecuencia, se pueden producir limitaciones posturales, de desplazamiento o de coordinación del movimiento.

Miembro o extremidad superior: Es cada una de las extremidades, que se fijan a la parte superior del tronco. Se compone de cuatro segmentos: cintura escapular, brazo, antebrazo y mano.

Movimiento de pinza (Mano): Movimiento de la mano, que simula una pinza en tenaza. La persona coge los objetos entre el pulgar y el índice, a la altura de la yema de los dedos o más abajo.

Motor: Parte sistemática de una máquina, capaz de hacer funcionar el sistema, transformando algún tipo de energía (eléctrica, de combustibles fósiles, etc.), en energía mecánica, capaz de realizar un trabajo.

Supinación: Acción o movimiento por el cual, el cuerpo humano o alguna de sus partes, es colocada en posición de supino (decúbito supino). Así, la «supinación de la palma de la mano», implica el movimiento del antebrazo y mano, para que la palma quede mirando hacia arriba.

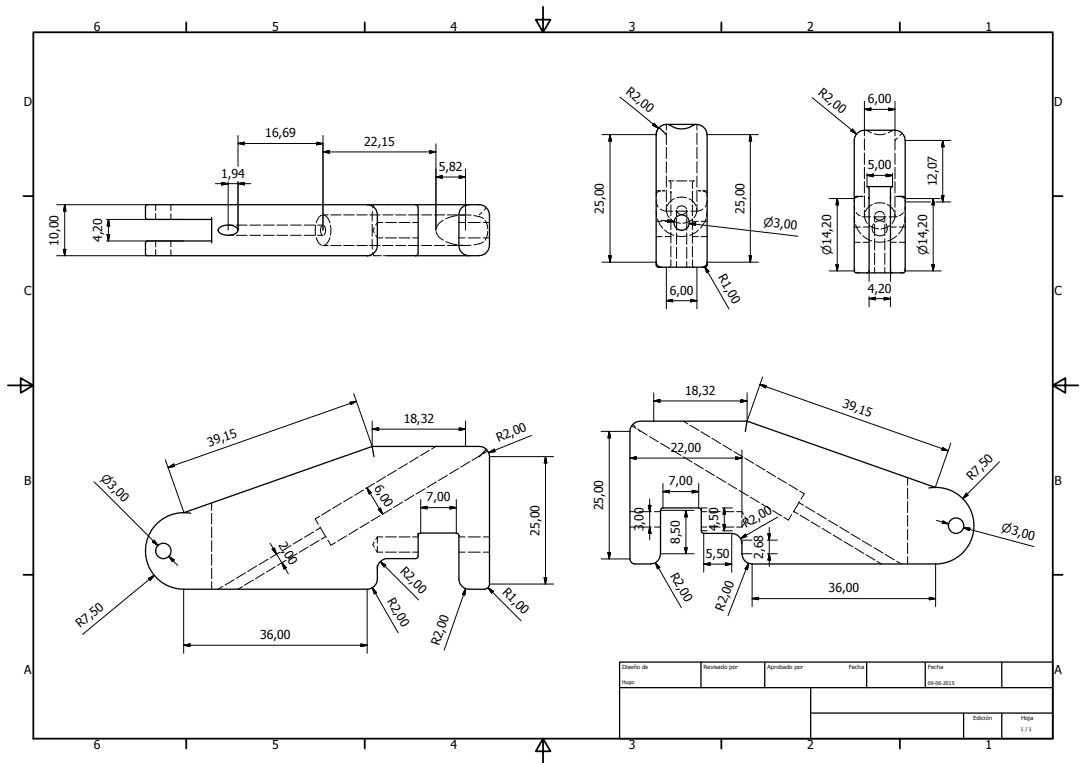
Pronación: Rotación del antebrazo, que permite situar la mano, con el dorso hacia arriba; el movimiento contrario, se denomina supinación.

Sistemas de rehabilitación de extremidad superior en un paciente pediátrico específico

Espasticidad: Trastorno motor, del sistema nervioso, en el que algunos músculos, se mantienen permanentemente contraídos. Dicha contracción, provoca la rigidez y acortamiento de los músculos, e interfiere en sus distintos movimientos y funciones.

Cuerpo del Actuador

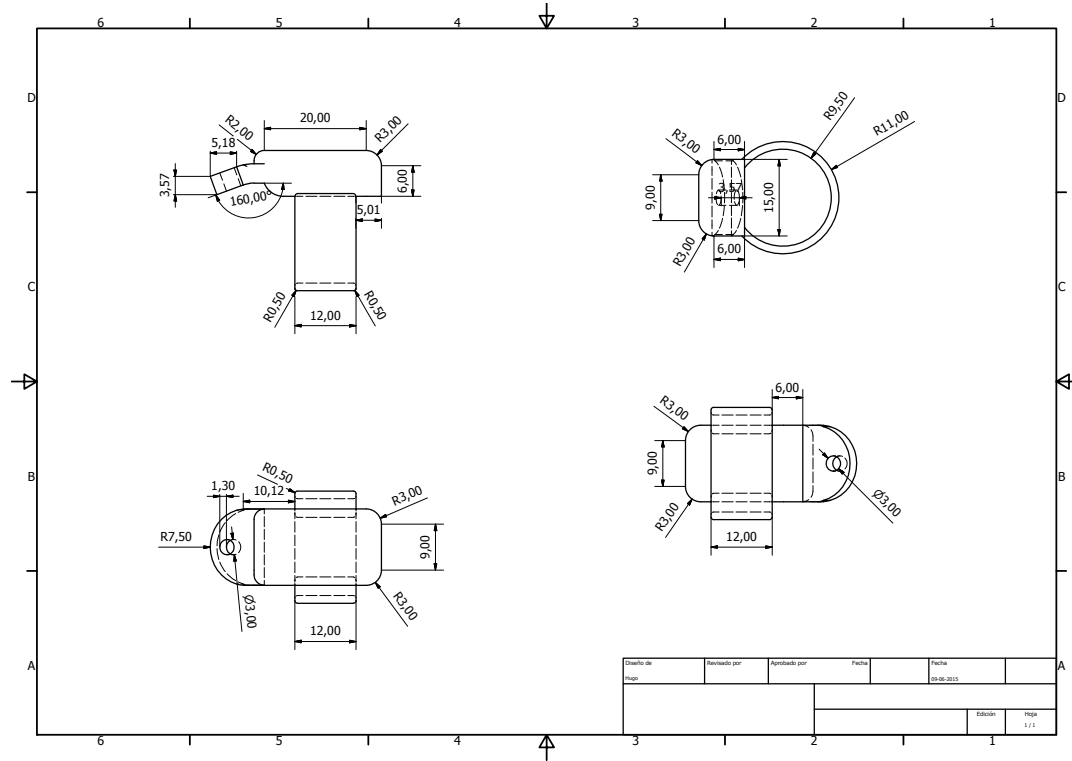
62

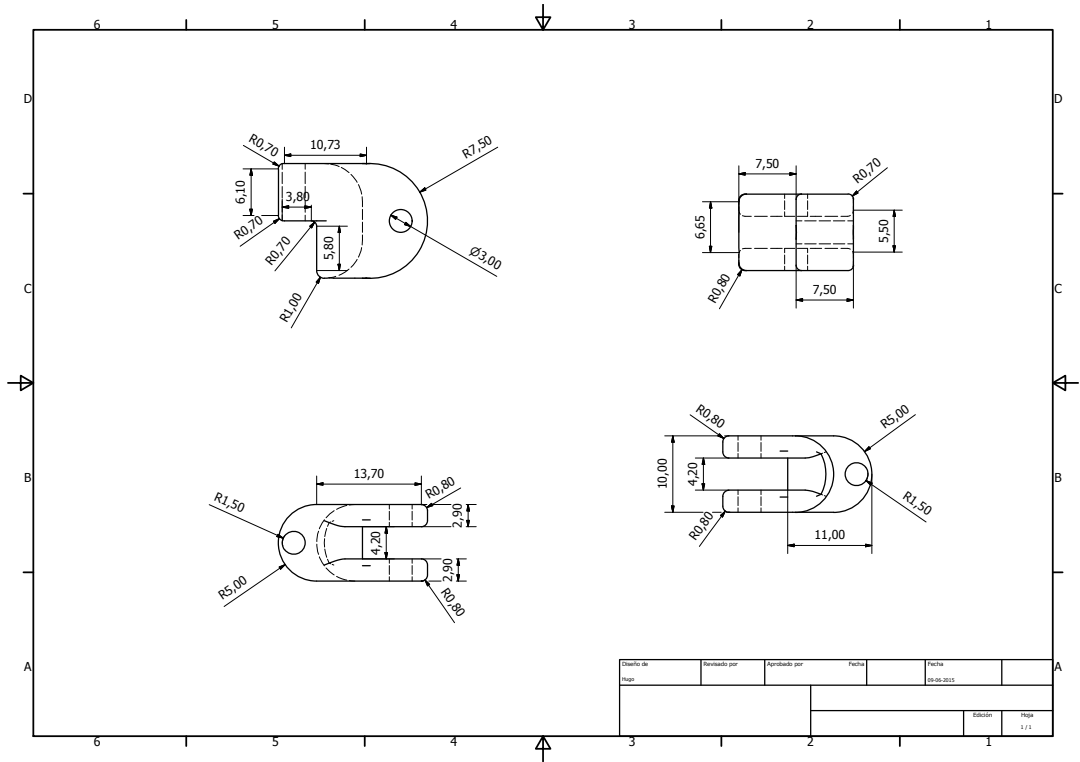


Apoyo para el dedo pulgar

Sistemas de
rehabilitación de
extremidad superior en
un paciente pediátrico
específico

63

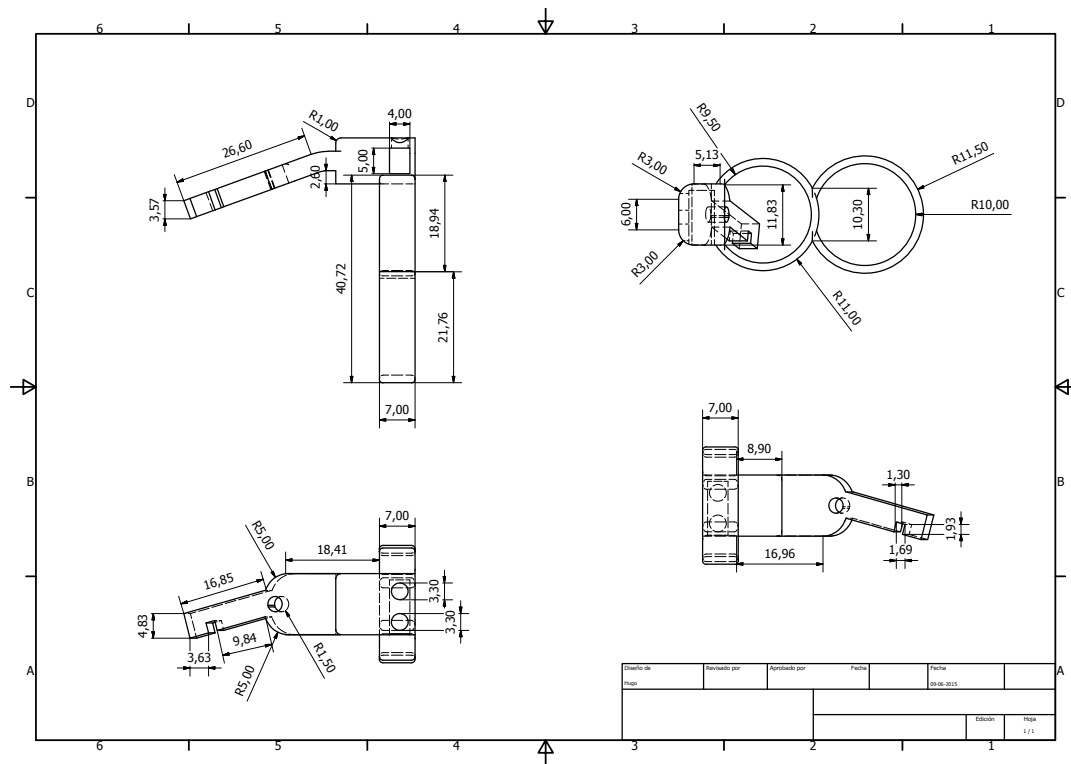


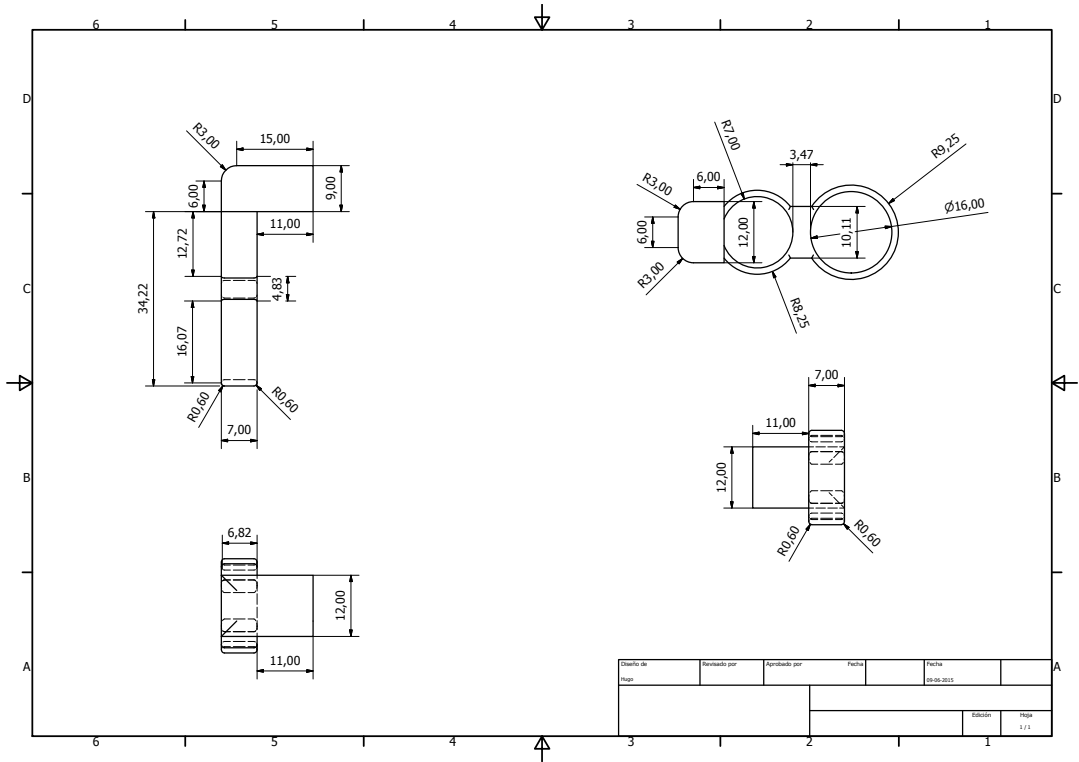


Apoyo para el dedo índice-medio (Parte 1)

Sistemas de
rehabilitación de
extremidad superior en
un paciente pediátrico
específico

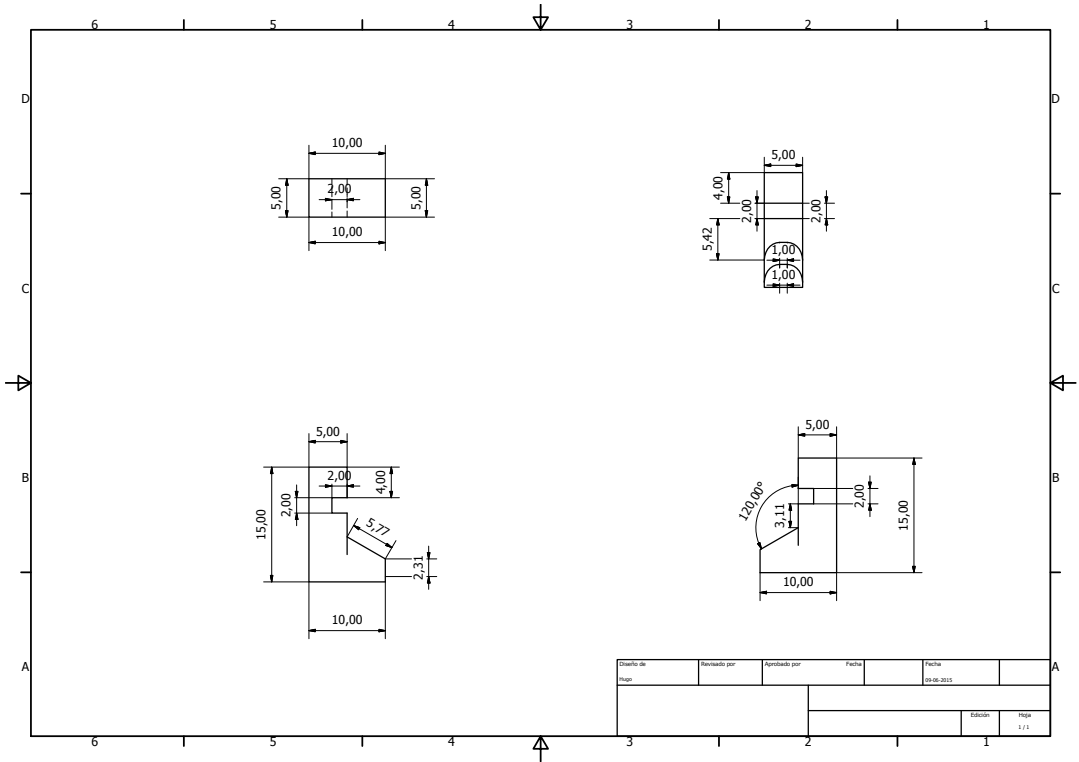
65

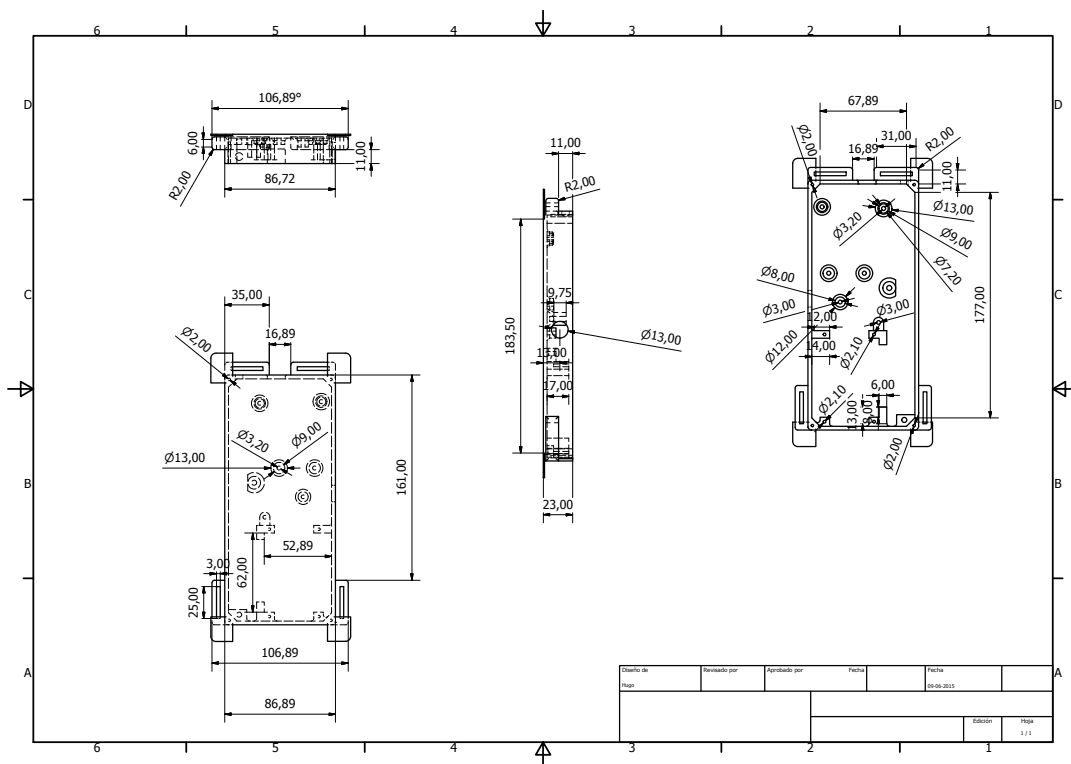




Sujetador

Sistemas de
rehabilitación de
extremidad superior en
un paciente pediátrico
específico

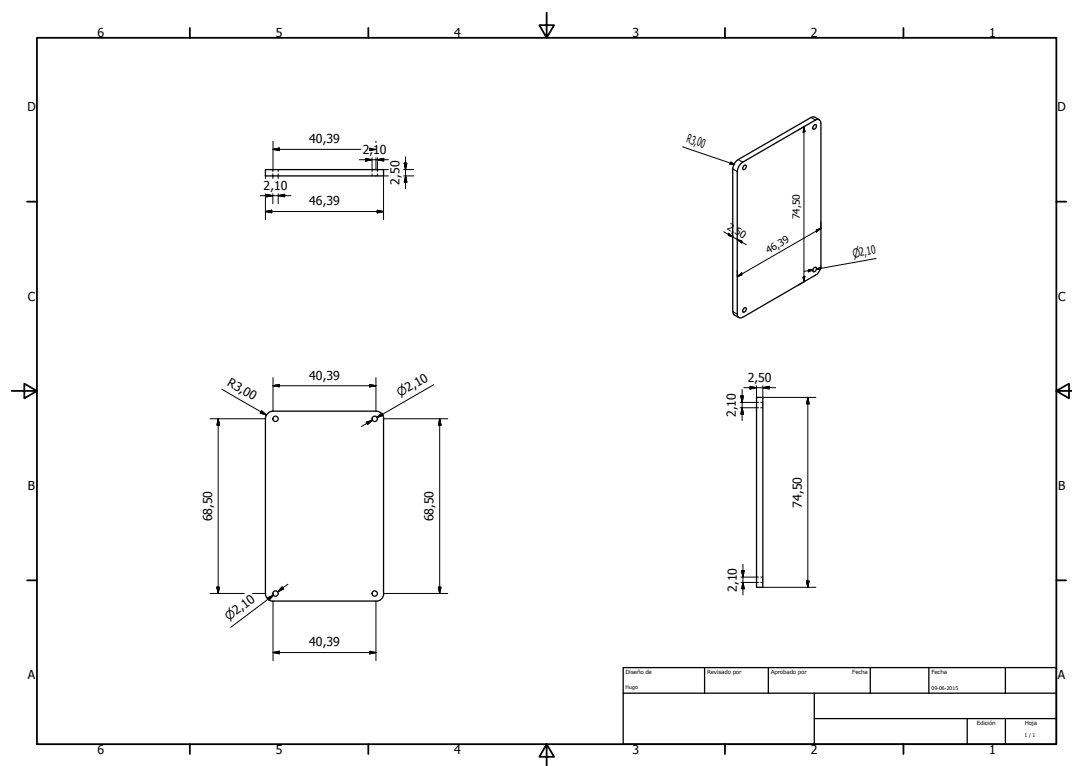


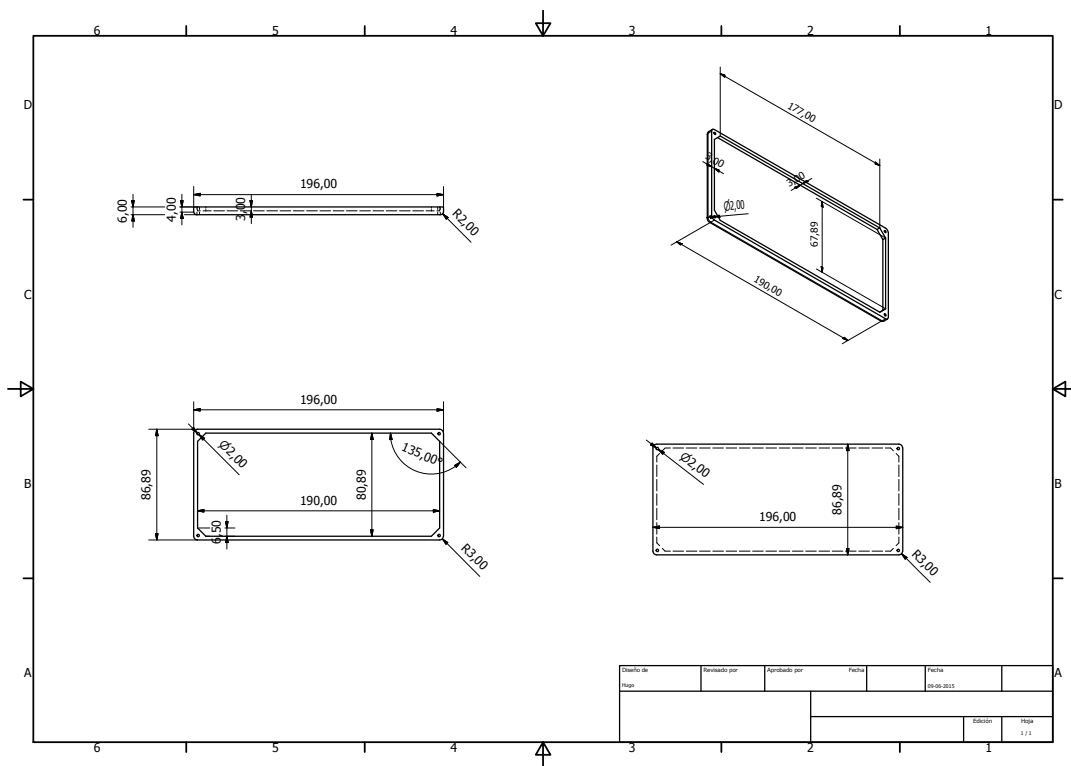


Tapa de seguridad para el compartimiento de las baterías

Sistemas de rehabilitación de extremidad superior en un paciente pediátrico específico

69





9.2 Anexo 2: Código fuente de la unidad de control de la órtesis

```
#include<VarSpeedServo.h>
```

```
constintbuttonPin = 2;
constintledPin = 13;           //
constintpotPin = 16;           //
constintmainPin = 12;          //
constintServoMin = 1000;       //
constintServoMax = 2000;       //
constintPotiMin = 0;           //
constintPotiMax = 1023;
constintButtonDelay = 100;     /
VarSpeedServomyServo;         // Servo

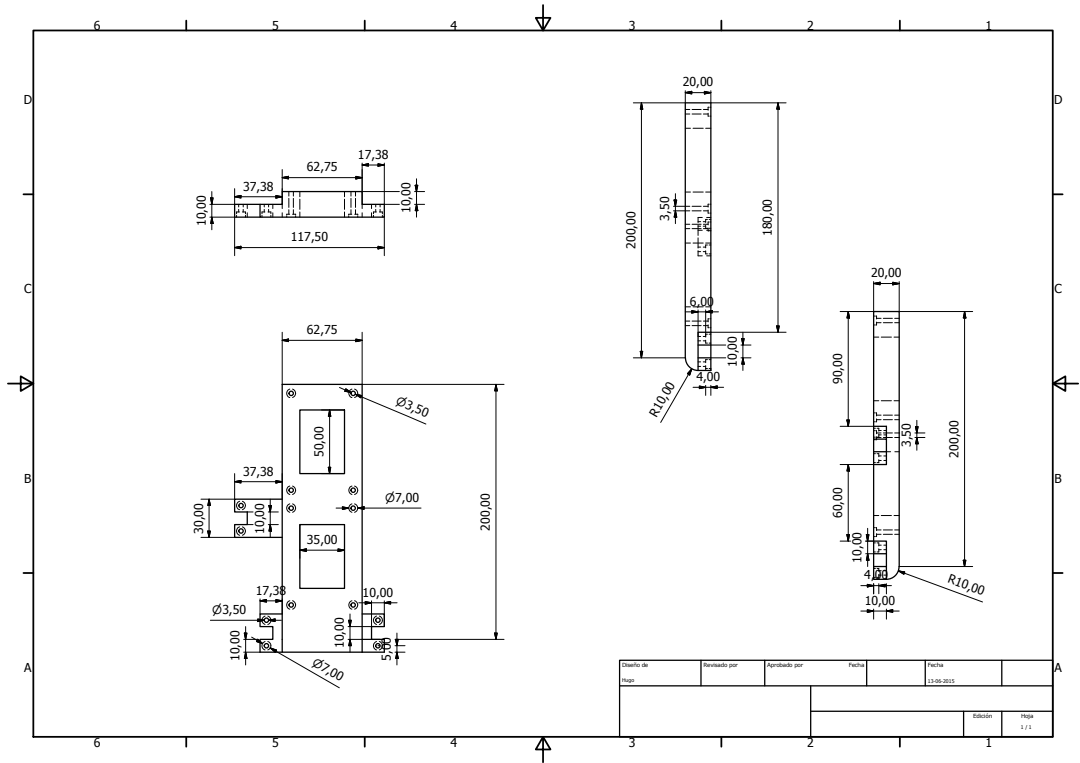
voidsetup() {
    pinMode(ledPin, OUTPUT);
    pinMode(potPin, INPUT);
    pinMode(buttonPin, INPUT);
    digitalWrite(buttonPin, HIGH);
    myServo.attach (mainPin, ServoMin, ServoMax);
    Serial.begin (9600);
}

voidloop() {
    staticunsignedlongdebounce = 0;
    staticintbuttonstate = HIGH;
    staticunsignedlonglasttick;
    if (millis () - lasttick> 5000) {
        lasttick = millis ();
        Serial.print ("Position=");
        Serial.println (myServo.readMicroseconds());
    }
    intbuttonnow = digitalRead(buttonPin);
    if (millis() - debounce>= ButtonDelay
        &&buttonnow != buttonstate) {
        buttonstate = buttonnow;
        debounce = millis();
        switch (buttonstate) {
            case LOW:
                digitalWrite(ledPin, HIGH);
                {
                    intpotlast = analogRead (potPin);           //
                    intspeed = map (potlast, PotiMin, PotiMax, 1, 256) & 0xff;
                    myServo.slowmove ((myServo.readMicroseconds() >ServoMin + 400
                        ? ServoMin + 100 : ServoMax - 100), speed);
                }
                //
                Serial.print ("Speed=");
                Serial.println (speed);
            }
            break;
            case HIGH:
                //
                digitalWrite(ledPin, LOW);
                break;
        }
    }
}
```

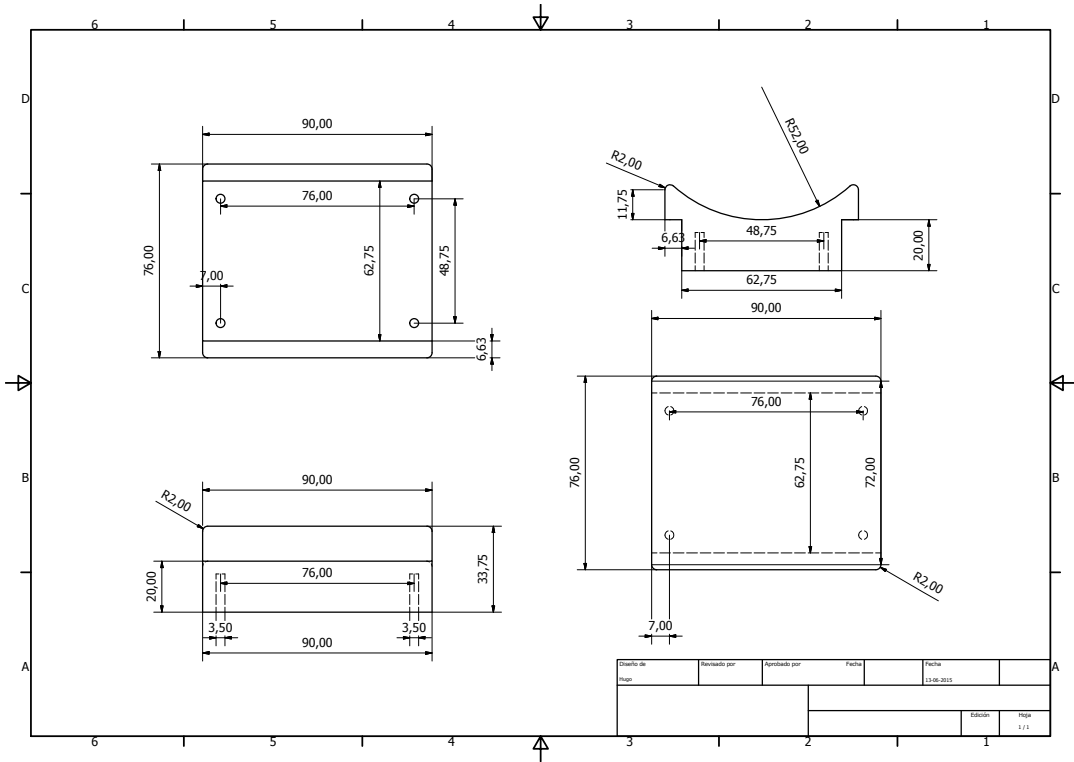
Sistemas de
rehabilitación de
extremidad superior en
un paciente pediátrico
específico

Pieza base del equipo

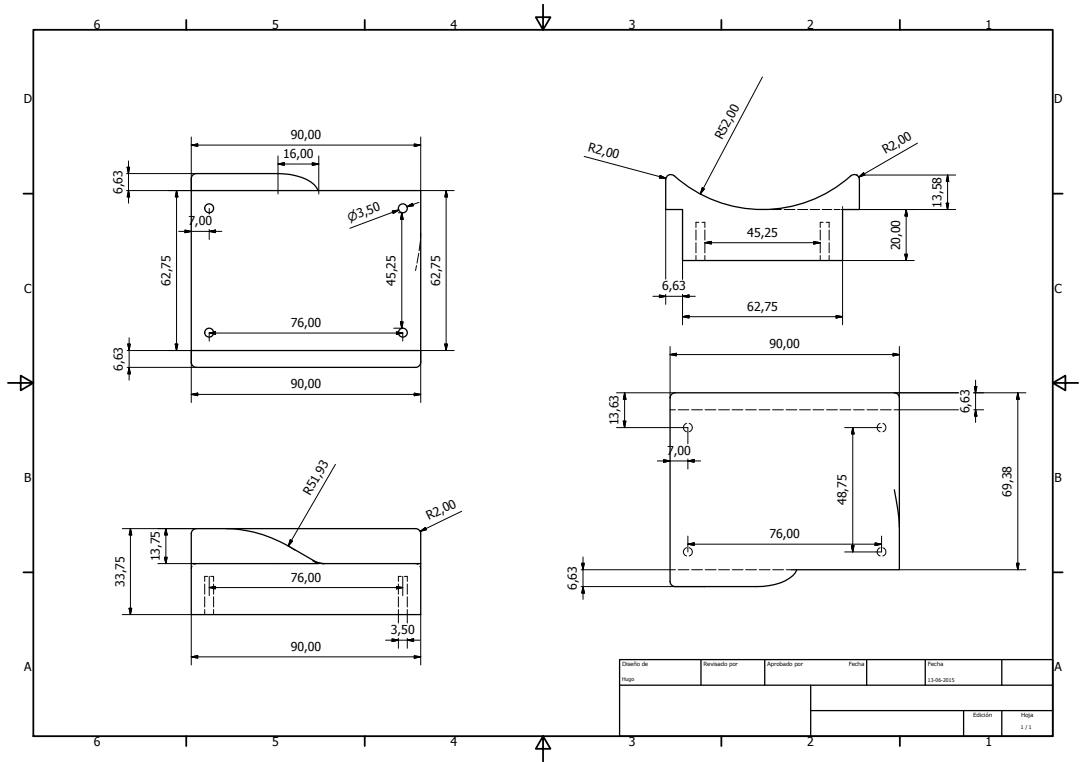
72



Porta brazo parte uno



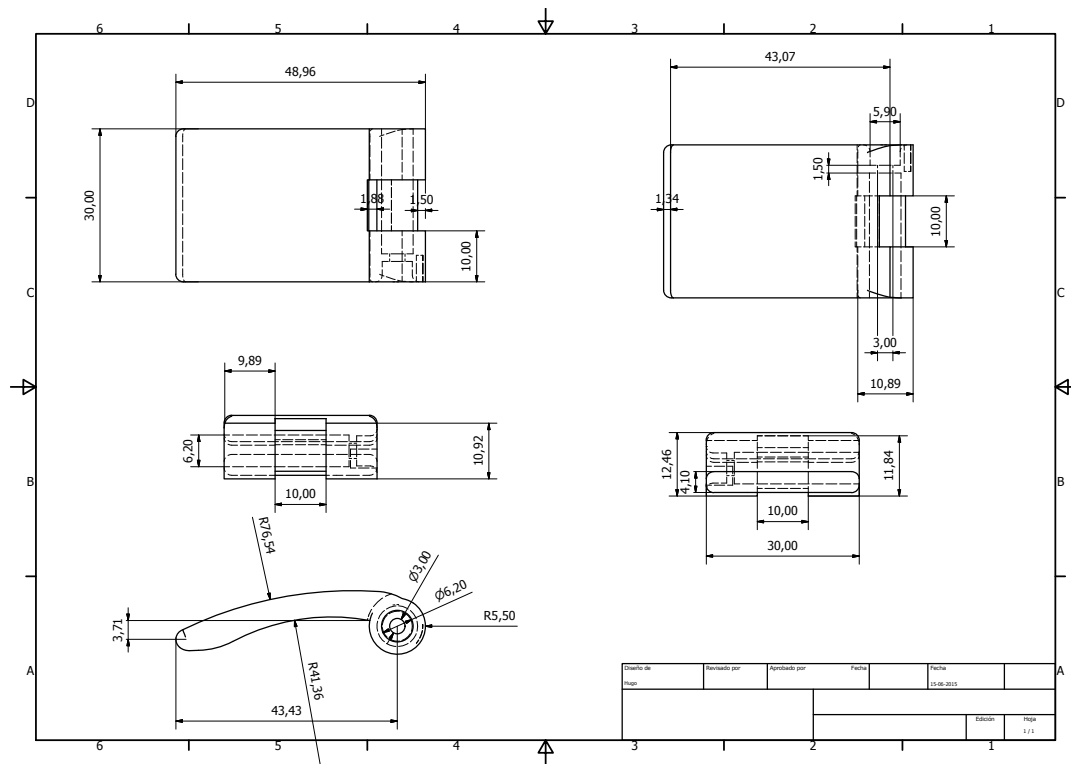
Sistemas de
rehabilitación de
extremidad superior en
un paciente pediátrico
específico

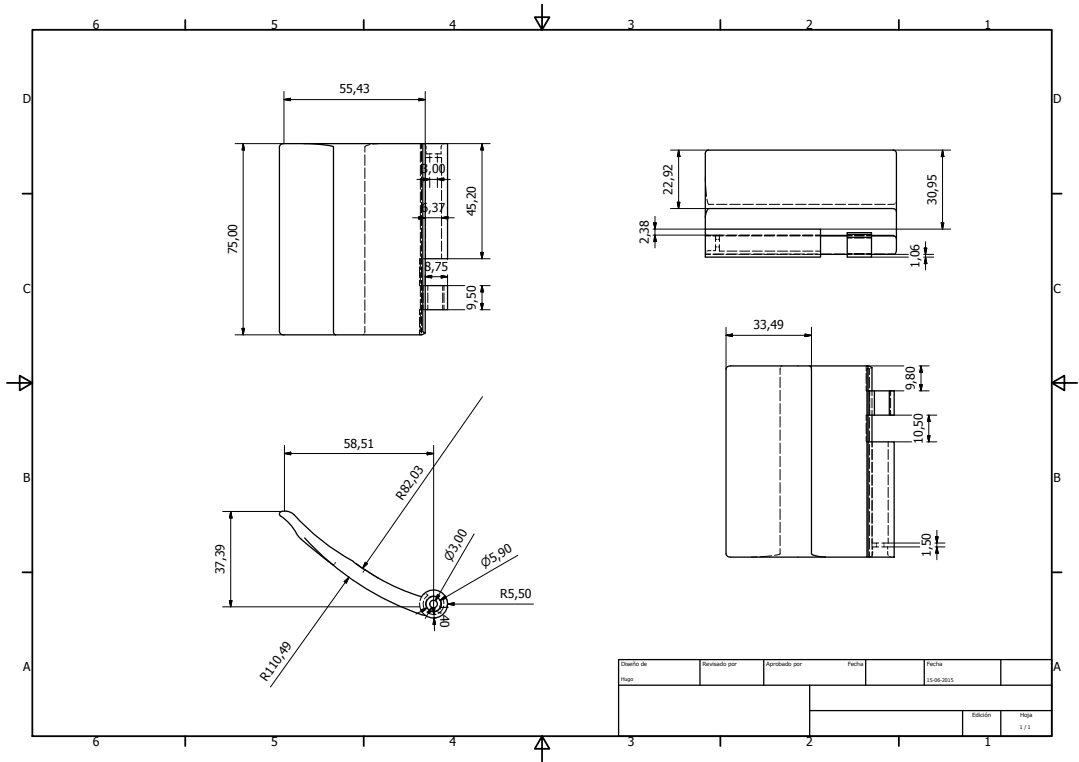


Garra soporte dedo pulgar

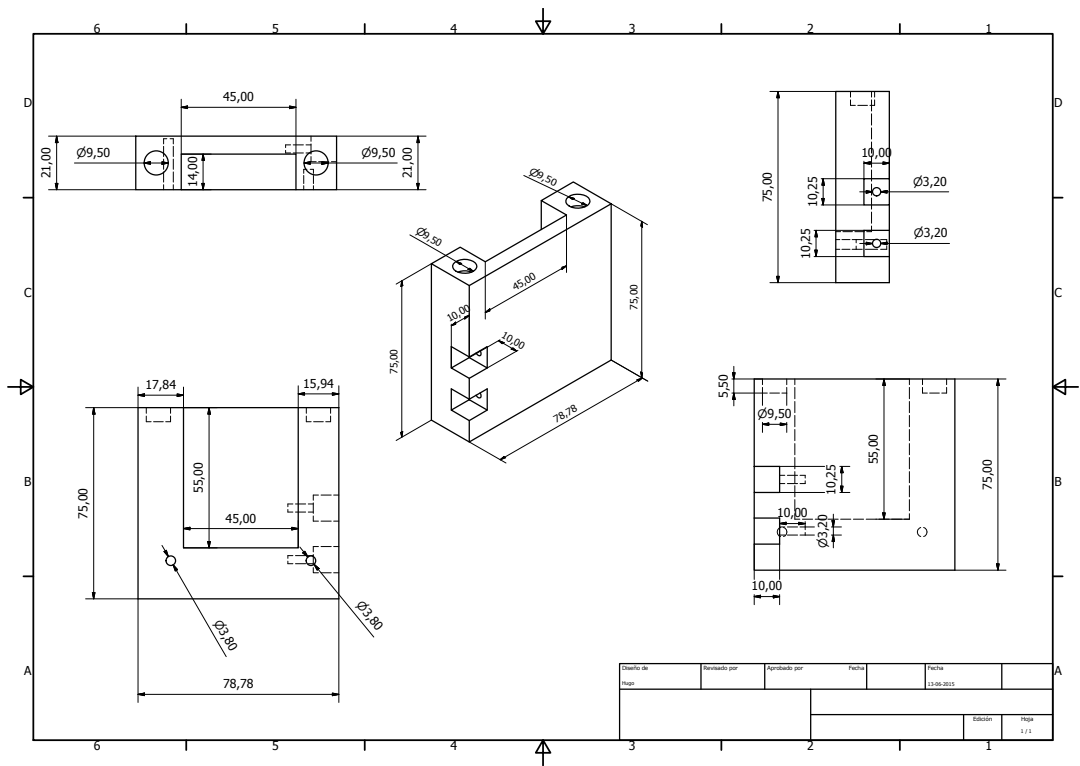
Sistemas de rehabilitación de extremidad superior en un paciente pediátrico específico

75

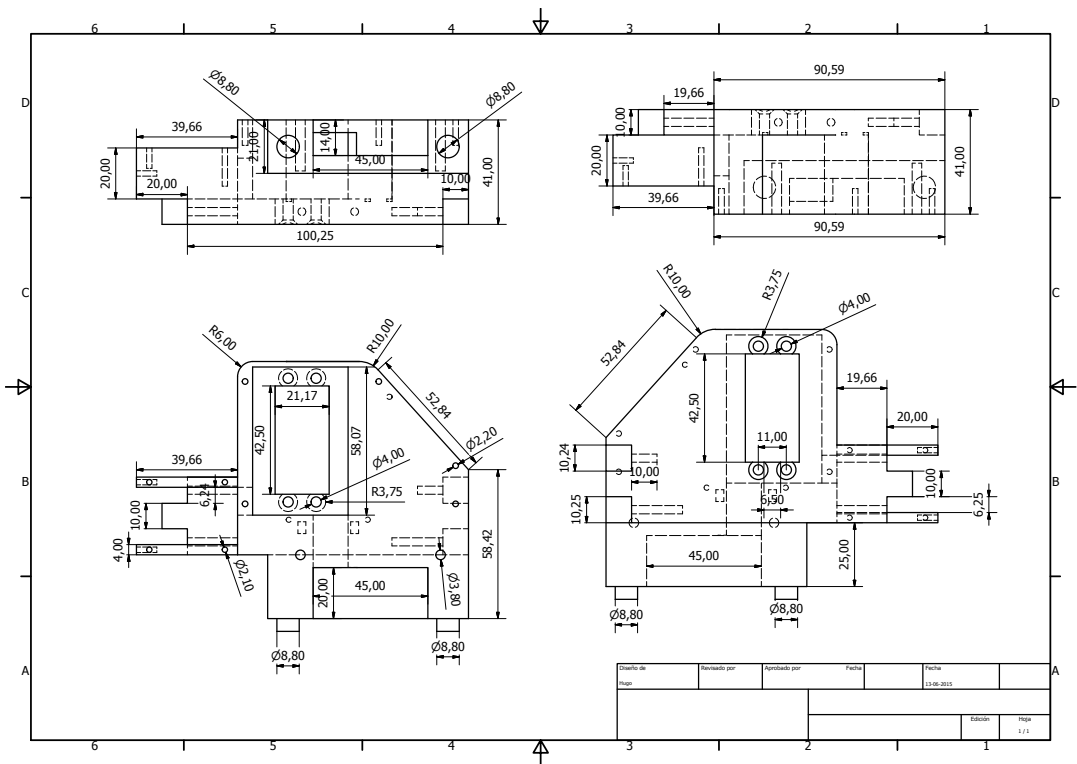




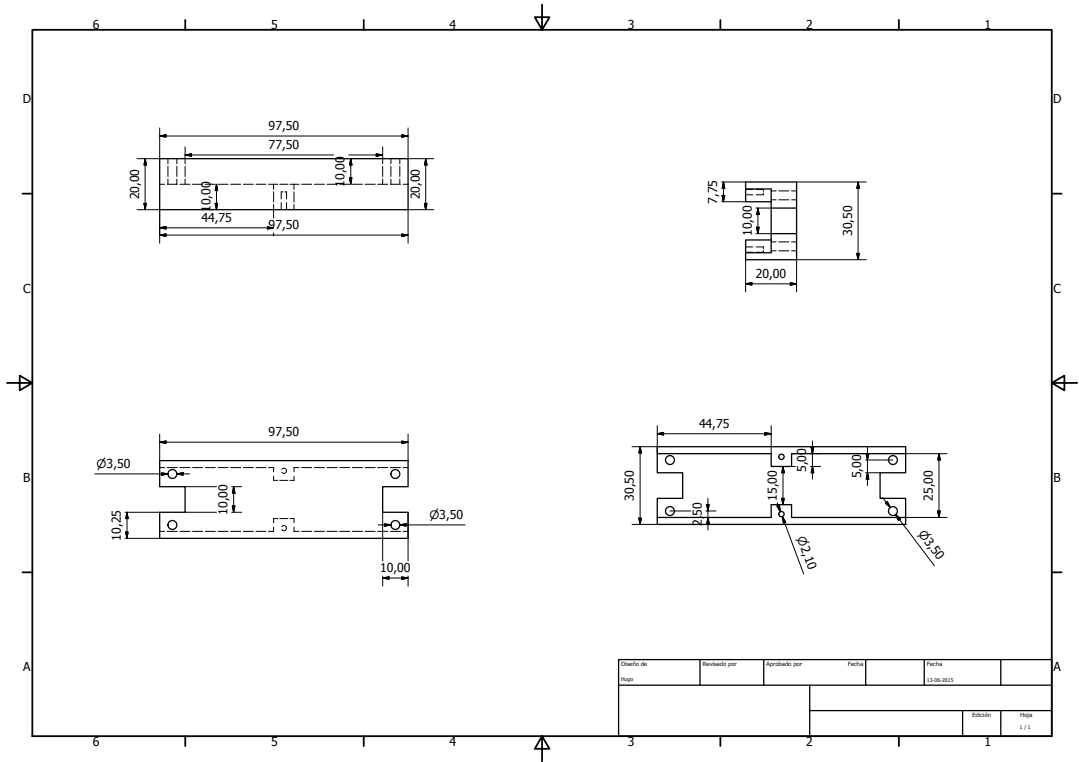
Sistemas de rehabilitación de extremidad superior en un paciente pediátrico específico



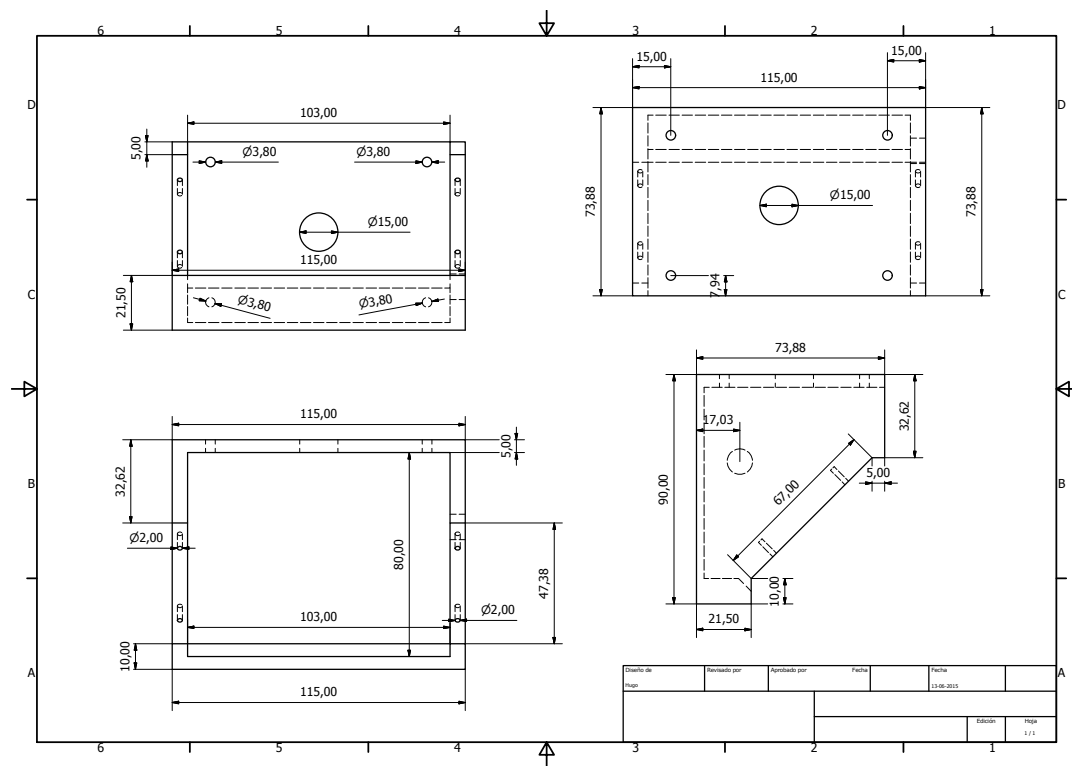
Pieza contenedora del motor dos parte dos



Sistemas de
rehabilitación de
extremidad superior en
un paciente pediátrico
específico



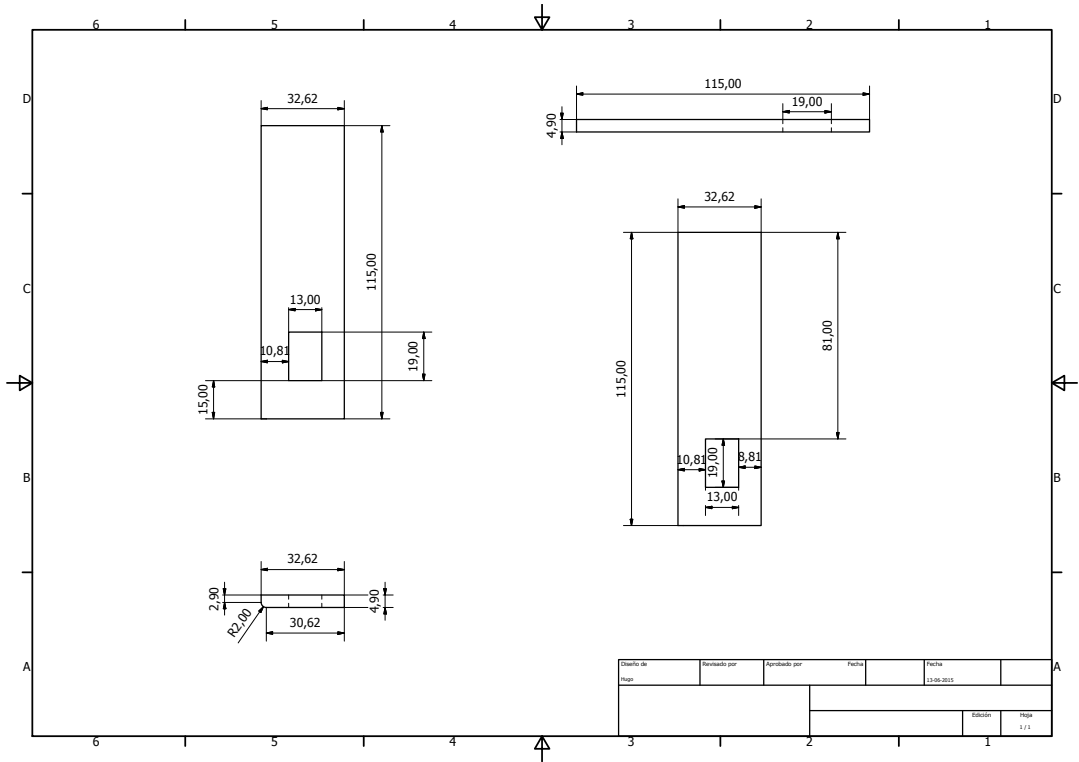
Pieza contenedora del circuito



Sistemas de
rehabilitación de
extremidad superior en
un paciente pediátrico
específico



Sistemas de rehabilitación de extremidad superior en un paciente pediátrico específico



Sistemas de rehabilitación de extremidad superior en un paciente pediátrico específico

Technical drawing of a mechanical part, showing three views: Front View, Top View, and Side View. Dimensions are in millimeters.

Front View:

- Overall Width: 90,59
- Overall Height: 54,76
- Top Left Corner Radius: R6,00
- Top Right Corner Radius: R10,00
- Internal Width (Left): 41,73
- Internal Width (Right): 52,48
- Internal Height (Left): 48,00
- Internal Height (Right): 15,00
- Bottom Width: 90,59
- Bottom Height: 18,32
- Internal Slanted Edge Length: 44,71
- Internal Slanted Edge Length: 52,84

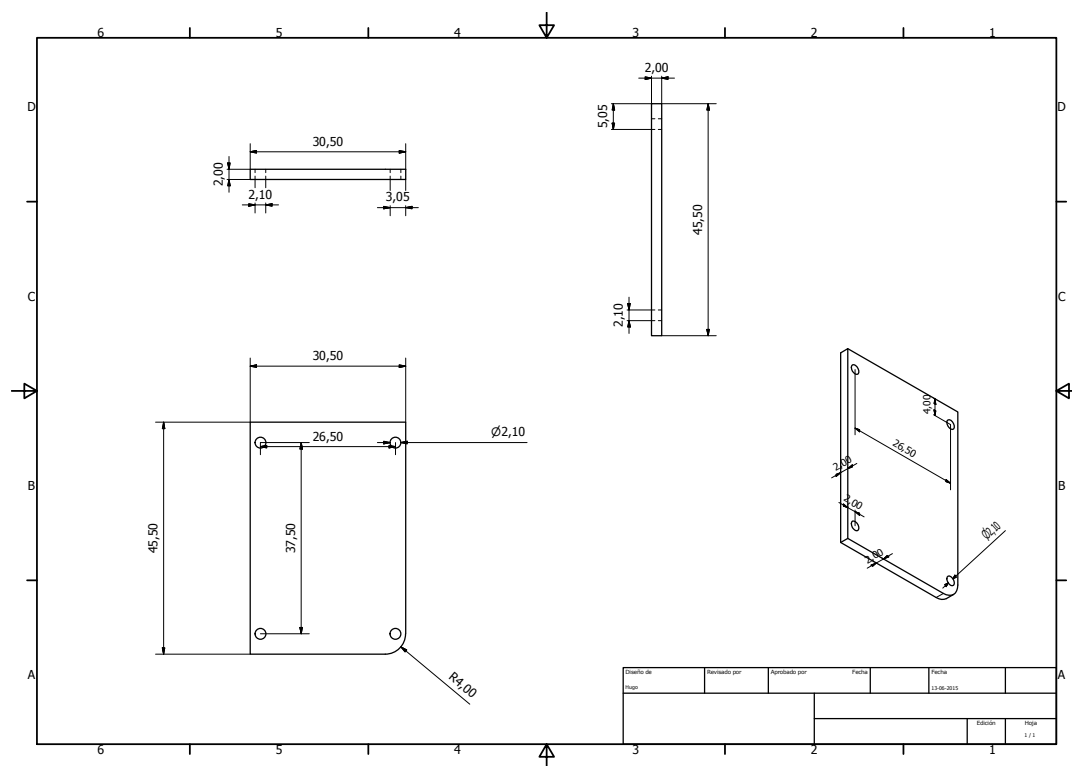
Top View:

- Overall Width: 90,59
- Overall Depth: 52,84
- Internal Width (Left): 41,73
- Internal Width (Right): 52,48
- Internal Height (Left): 48,00
- Internal Height (Right): 15,00
- Bottom Width: 90,59
- Bottom Height: 18,32
- Internal Slanted Edge Length: 44,71
- Internal Slanted Edge Length: 52,84

Side View:

- Overall Width: 2,00
- Overall Height: 60,76
- Internal Width (Left): 41,73
- Internal Width (Right): 52,48
- Internal Height (Left): 48,00
- Internal Height (Right): 15,00
- Bottom Width: 90,59
- Bottom Height: 18,32
- Internal Slanted Edge Length: 44,71
- Internal Slanted Edge Length: 52,84

Tapa uno motor dos



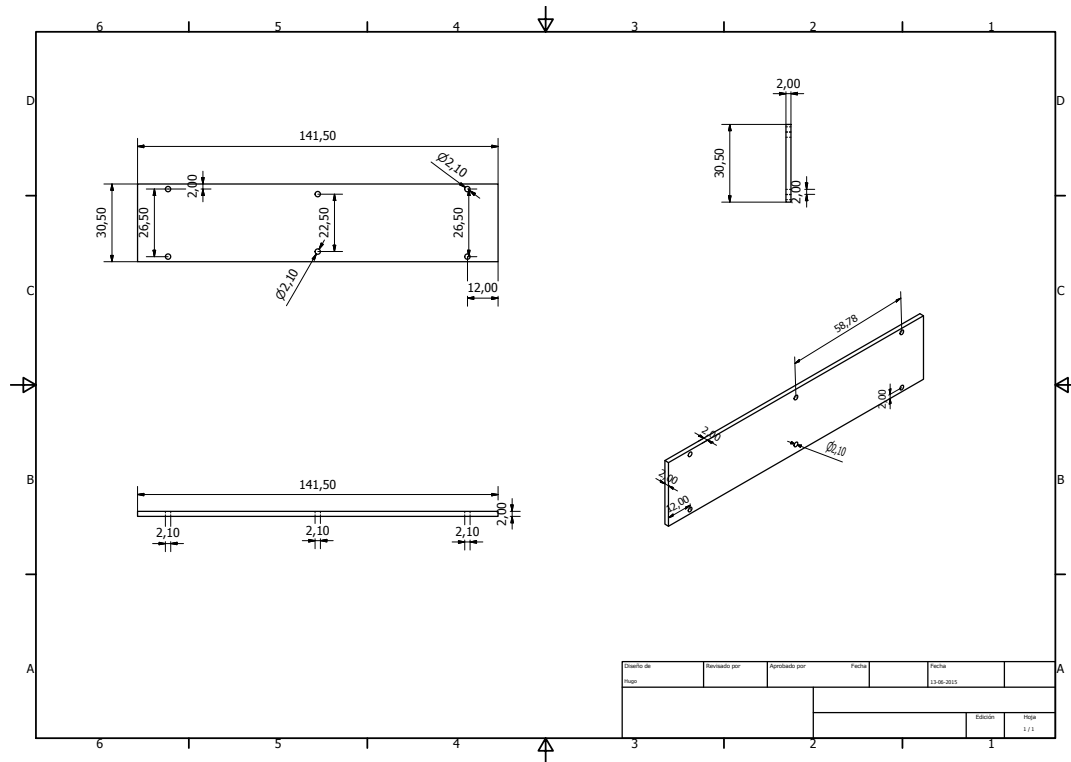
Sistemas de
rehabilitación de
extremidad superior en
un paciente pediátrico
específico

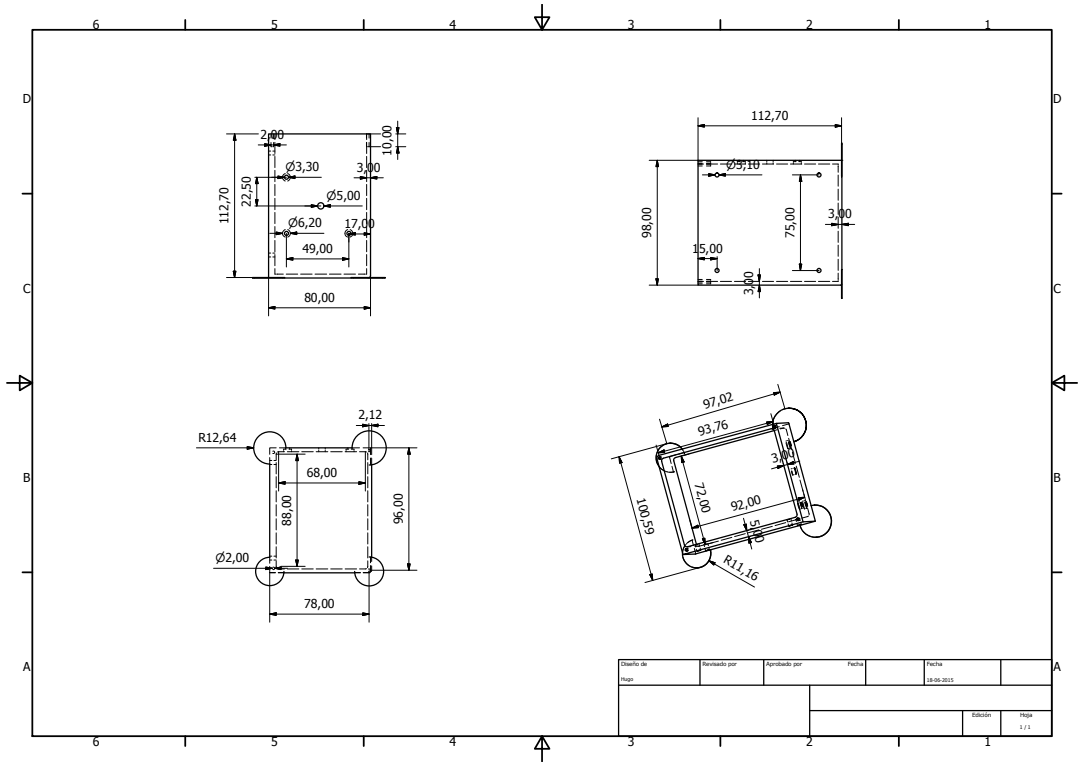


Tapa pieza horizontal superior

Sistemas de
rehabilitación de
extremidad superior en
un paciente pediátrico
específico

89

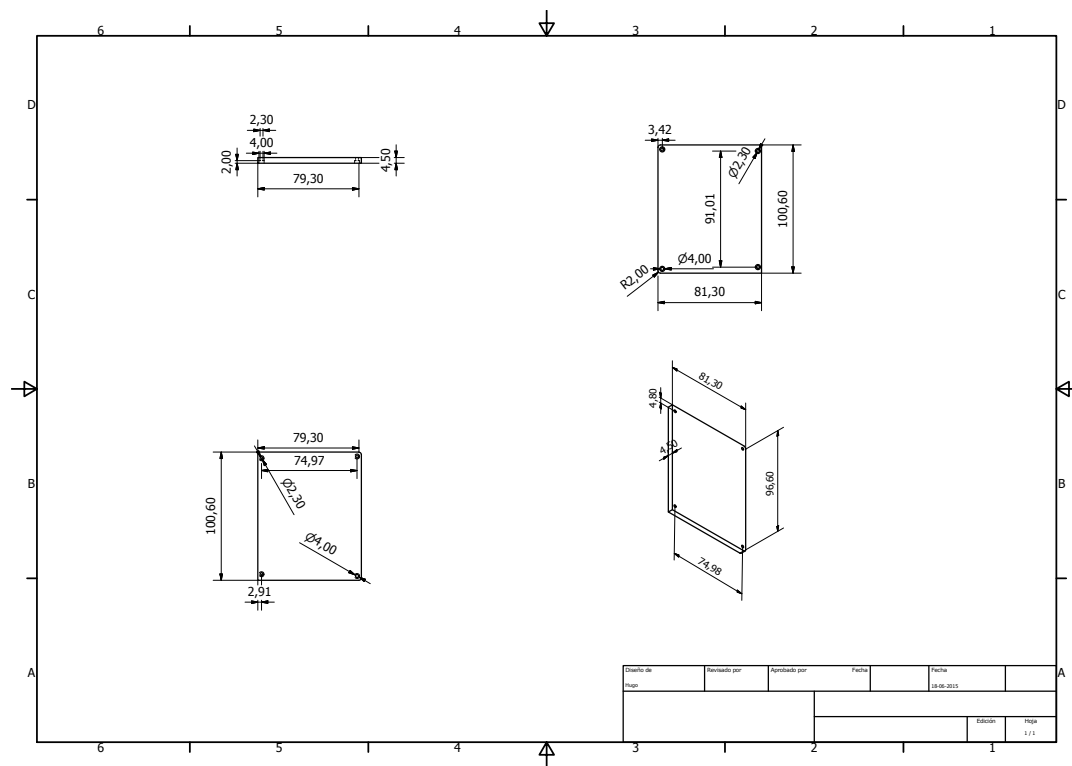




Tapa de la estructura contenedora de la batería

Sistemas de
rehabilitación de
extremidad superior en
un paciente pediátrico
específico

91



```
#include<LiquidCrystal.h>
#include<Servo.h>
Servo servoP;
Servo servoI;
LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);
int lcd_key = 0;
int adc_key_in = 0;
int API[]={20, 30, 45};
int APP[]={15, 30, 45};
int VEL[]={1, 3, 7};
int DUR=5;
int APIi=0;int APPi=0;int VELi=0;int menui=1;int mins, secs, dsecs;
int alfa1, beta1, alfa2, beta2, omega, sentido;
float delta1, delta2;
unsigned long T_transcurrido=100,T_partida;
int character=128;
#define btnRIGHT 0
#define btnUP 1
#define btnDOWN 2
#define btnLEFT 3
#define btnSELECT 4
#define btnNONE 5
void setup(){
  pinMode(0, OUTPUT);
  digitalWrite(0, LOW);
  servoP.attach(3);
  servoI.attach(1);
  alfa1=30;
  beta1=30;
  motores();
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print(" PATITO 2");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(" M&M Ltda.");
  delay(2000);
  digitalWrite(0, HIGH);
  menui=1;
  menu();
  menu();
}
void motores(){
  servoI.write((alfa1));
  servoP.write((beta1));
}
int read_LCD_buttons()
{
  adc_key_in = analogRead(0);
  if (adc_key_in> 1000) return btnNONE;
  if (adc_key_in< 50) return btnRIGHT;
  if (adc_key_in< 250) return btnUP;
  if (adc_key_in< 450) return btnDOWN;
  if (adc_key_in< 650) return btnLEFT;
  if (adc_key_in< 850) return btnSELECT;
  return btnNONE;
}
void menu()
{

```

```

lcd.clear();
lcd.setCursor(1,0);lcd.print("ApP:");lcd.print(APP[APPi]);
lcd.setCursor(10,0);lcd.print("ApI:");lcd.print(API[APIi]);
lcd.setCursor(1,1);lcd.print("Vel:");lcd.print(VEL[VELi]);
lcd.setCursor(10,1);lcd.print("Dur:");lcd.print(DUR);
lcd.cursor();
lcd.blink();
switch (menui)
{
  case 1:
  {
    lcd.setCursor(0,0);lcd.print(char(126));lcd.setCursor(5,0); break;
  }
  case 2:
  {
    lcd.setCursor(9,0);lcd.print(char(126));lcd.setCursor(14,0); break;
  }
  case 3:
  {
    lcd.setCursor(0,1);lcd.print(char(126));lcd.setCursor(5,1); break;
  }
  case 4:
  {
    lcd.setCursor(9,1);lcd.print(char(126));lcd.setCursor(14,1); break;
  }
}

}

void terapia()
{
  alfa1=0;beta1=0;motores();
  T_partida=millis();
  T_transcurrido=(millis()-T_partida)/1000;
  lcd.clear();
  lcd.noCursor();lcd.noBlink();
  lcd.setCursor(0,0);lcd.print(" Ejercitando...");
  lcd.setCursor(0,1);lcd.print(" Tiempo: ");
  dsecs=0;
  sentido=1;
  alfa2=API[APIi];
  beta2=APP[APPi];
  omega=VEL[VELi];
  delta1=1;//+omega*alfa2/100;
  delta2=1;//+omega*beta2/100;
  while (T_transcurrido<DUR*60+1){
    mins=T_transcurrido/60;
    secs=(T_transcurrido%60);

    if (dsecs>(100/omega)){
      lcd.setCursor(10,1);lcd.print(mins);lcd.print(":");
      if (secs<10){lcd.print("0");}
      lcd.print(secs);lcd.print(" ");
      dsecs=0;
    }
    if (sentido==1){alfa1=alfa1+delta1;beta1=beta1+delta2;}
    if (alfa1>alfa2){sentido=0;}
    if (alfa1<5){sentido=1;}
    motores();
  }
  T_transcurrido=(millis()-T_partida)/1000;
  dsecs++;
  delay(1);

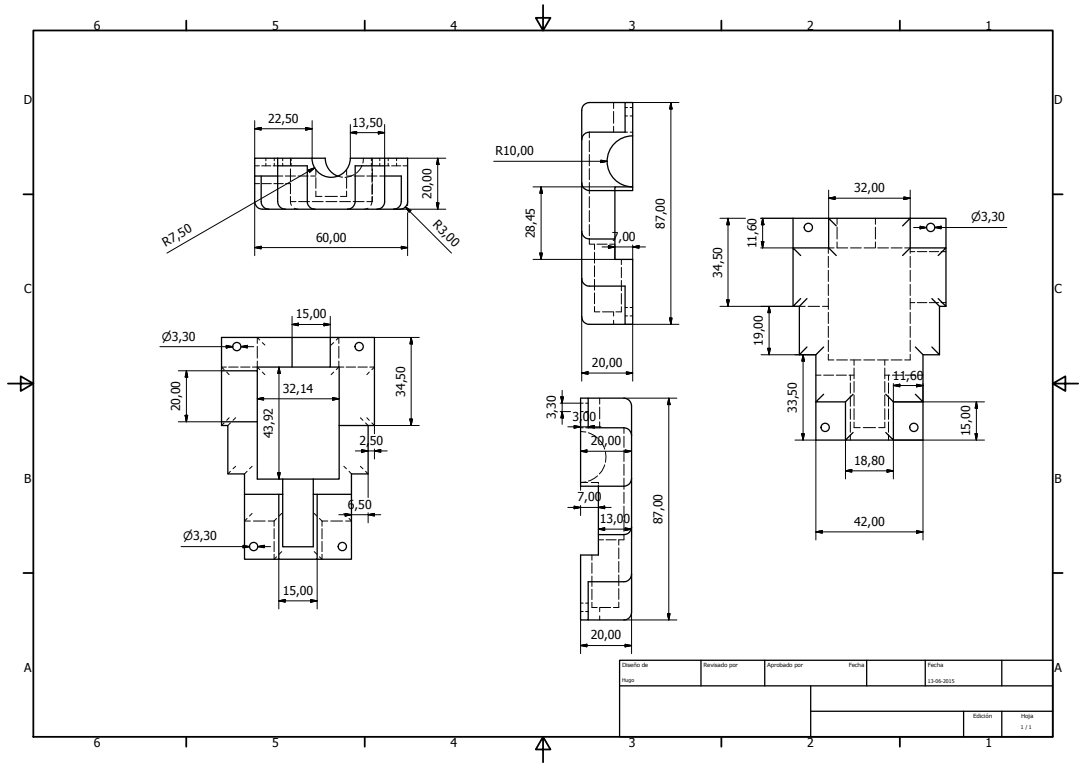
```

```
}
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);lcd.print(" Fin ejercicio!");
lcd.setCursor(0,1);lcd.print(" Tiempo: ");lcd.print(mins);lcd.print(":");
if (secs<10){lcd.print("0");}
lcd.print(secs);lcd.print(" ");
}
voidloop()
{
lcd_key = read_LCD_buttons(); // readthebuttons
switch (lcd_key)           // dependingonwhichbuttonwaspushed, weperformanaction
{
  case btnUP:
    {switch (menui)
      {
        case 1:
        {
APPi++;if(APPi>2){APPi=2;}
        break;
        }
        case 2:
        {
        case 3:
        {
VELi++;if(VELi>2){VELi=2;}
        break;
        }
        case 4:
        {
        DUR++;if(DUR>30){DUR=30;}
        break;
        }
        }
      }
    menu();
    delay(300);
    break;
  }
  case btnDOWN:
    {switch (menui)
      {
        case 1:
        {
APPi--;if(APPi<0){APPi=0;}
        break;
        }
        case 2:
        {
APIi--;if(APIi<0){APIi=0;}
        break;
        }
        case 3:
        {
VELi--;if(VELi<0){VELi=0;}
        break;
        }
        case 4:
        {
        DUR--;if(DUR<1){DUR=1;}
        break;
        }
      }
    }
  }
```

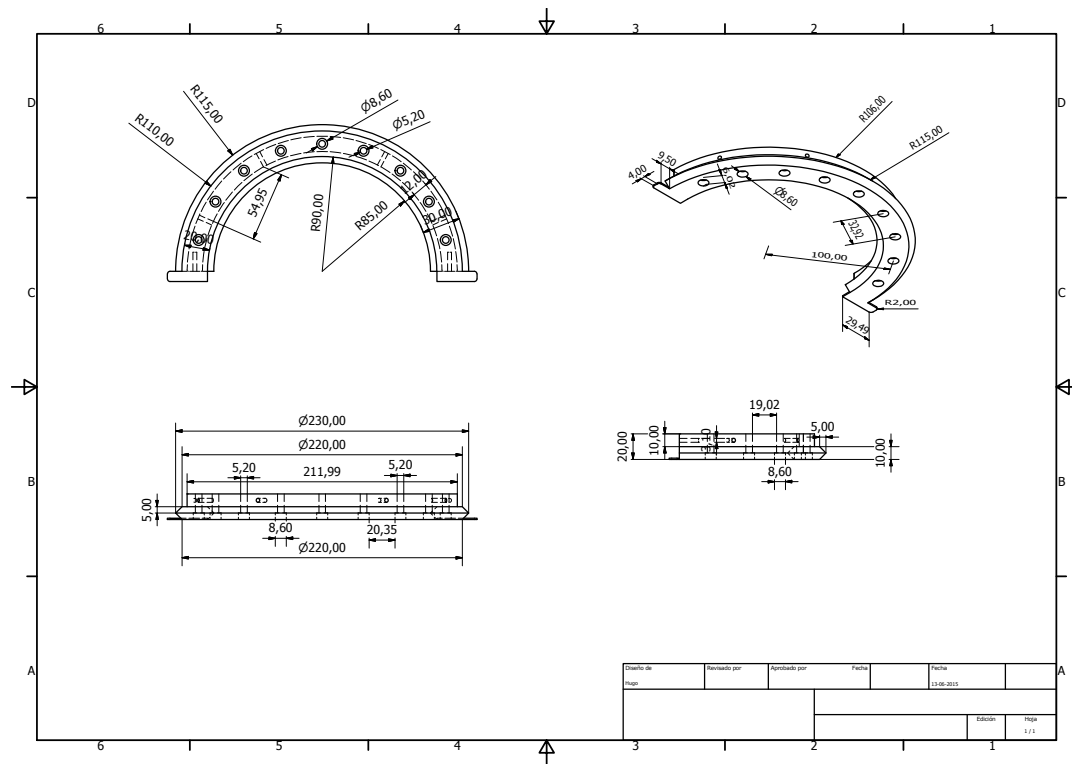
```
menu();
delay(300);
    break;
}
case btnLEFT:
{
menui--;
if (menui<1){menui=4;}
menu();
delay(300);
    break;
}
case btnRIGHT:
{
menui++;
if (menui>4){menui=1;}
menu();
delay(300);
    break;
}
case btnSELECT:
{
    terapia();
    break;
}
}
}
```

Sistemas de
rehabilitación de
extremidad superior en
un paciente pediátrico
específico

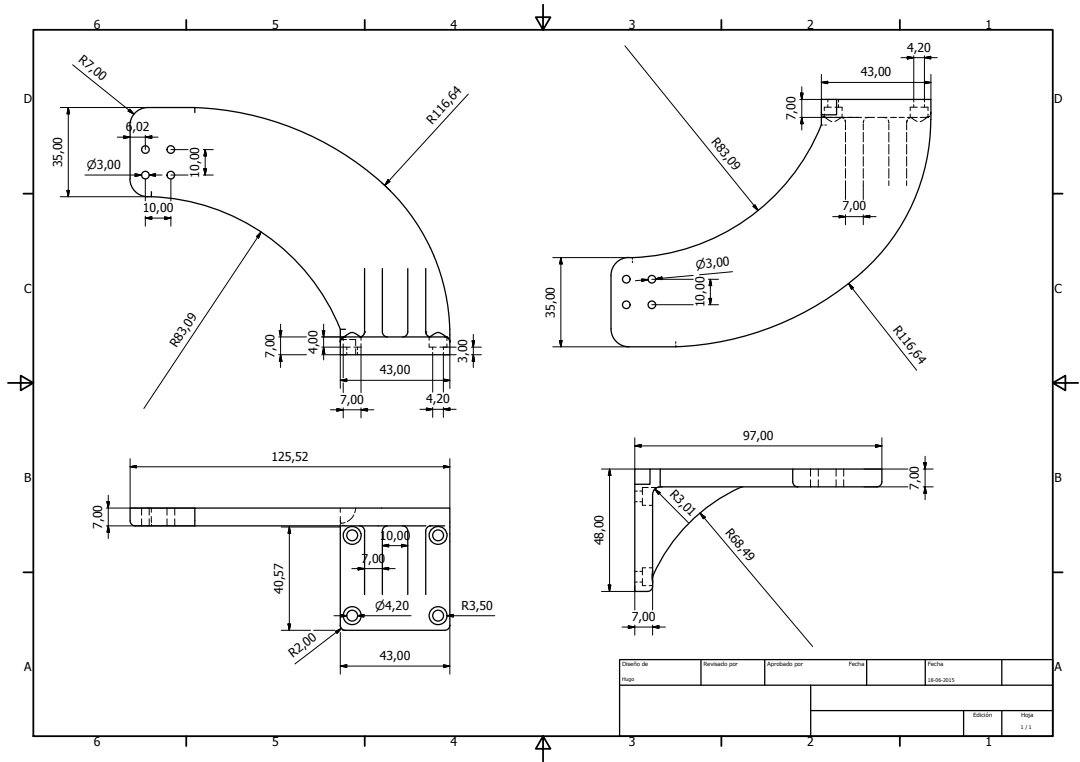
Pieza de Protección



Guía Lineal Curva

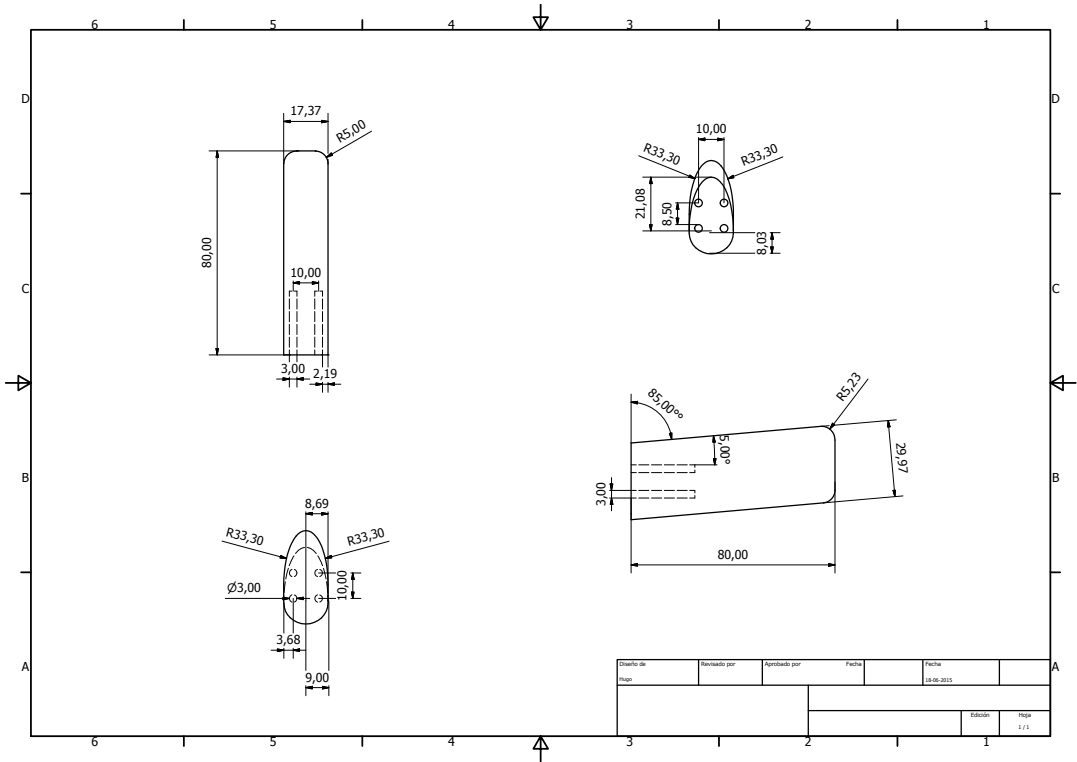


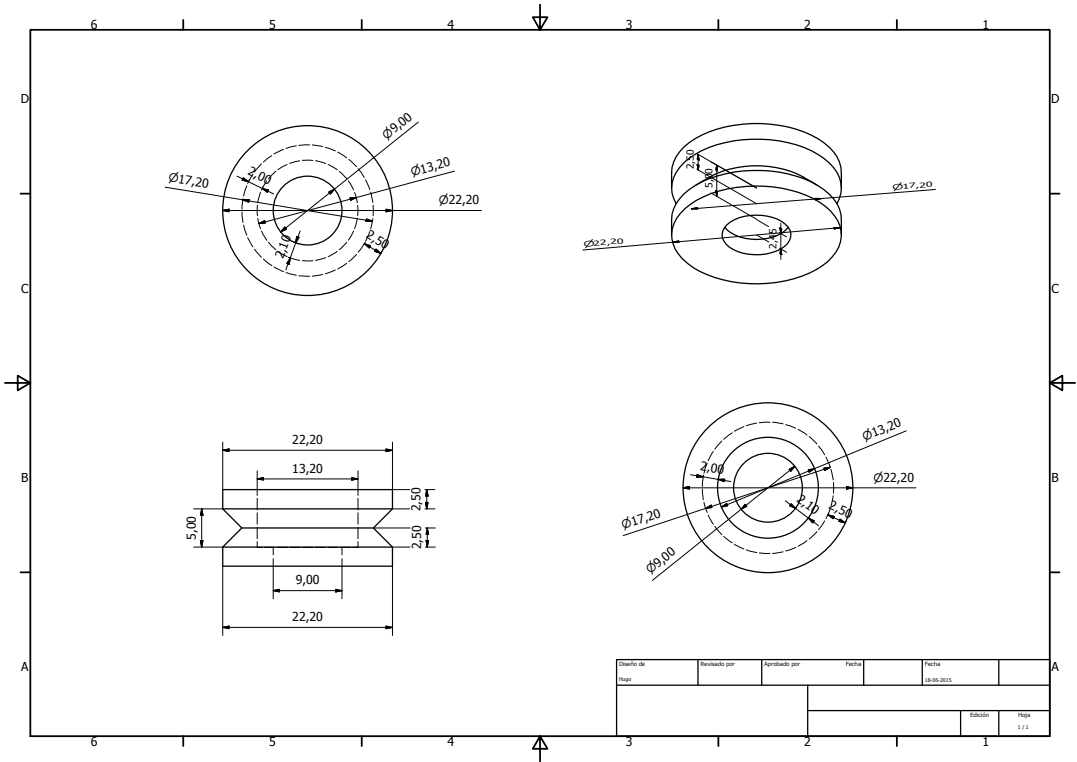
Sistemas de
rehabilitación de
extremidad superior en
un paciente pediátrico
específico



Asa de agarre del equipo (Parte 2)

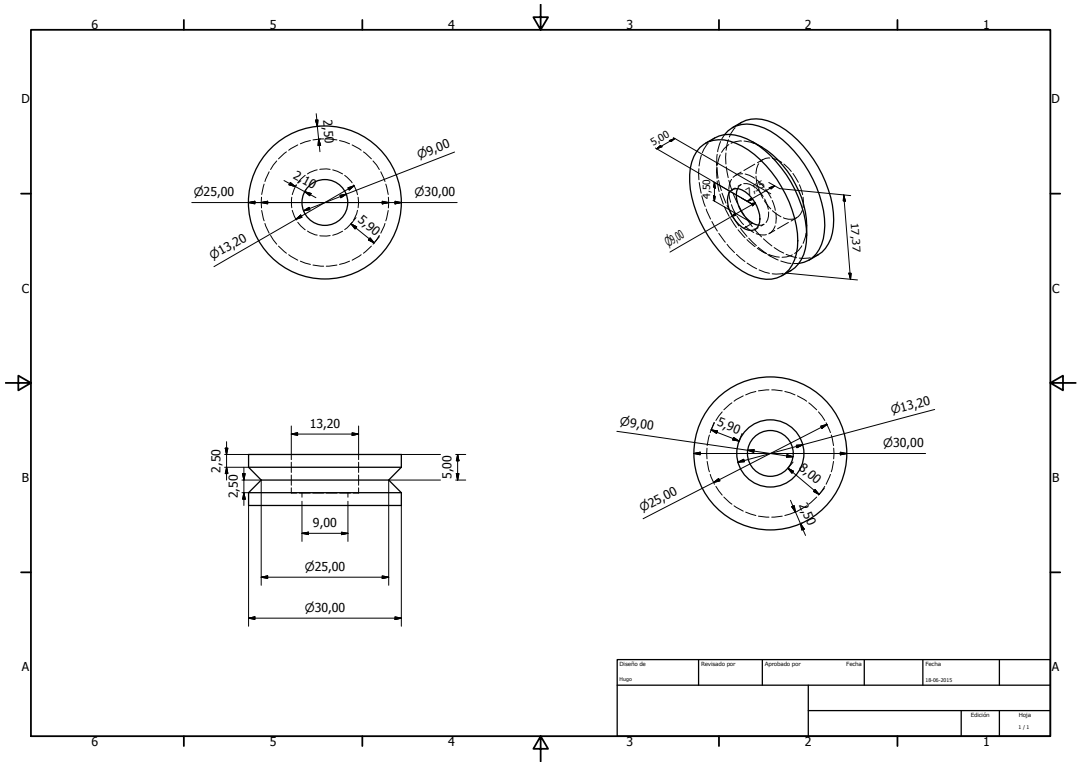
Sistemas de
rehabilitación de
extremidad superior en
un paciente pediátrico
específico

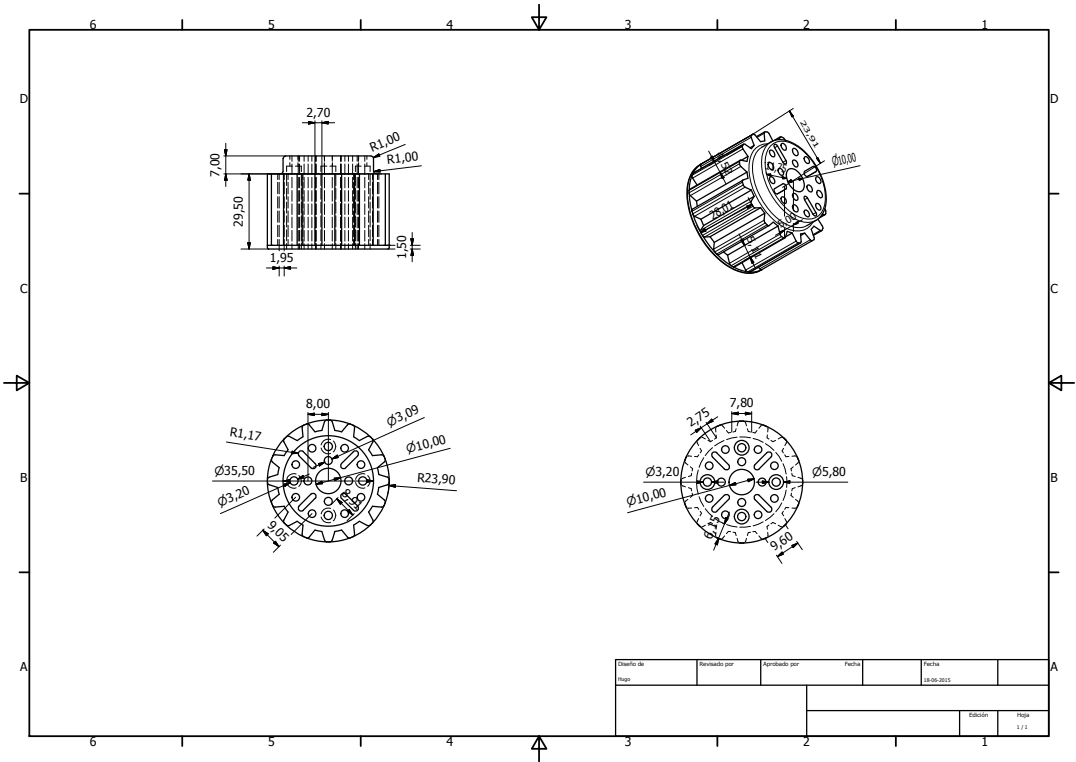




Ruedas guías (Pieza 2)

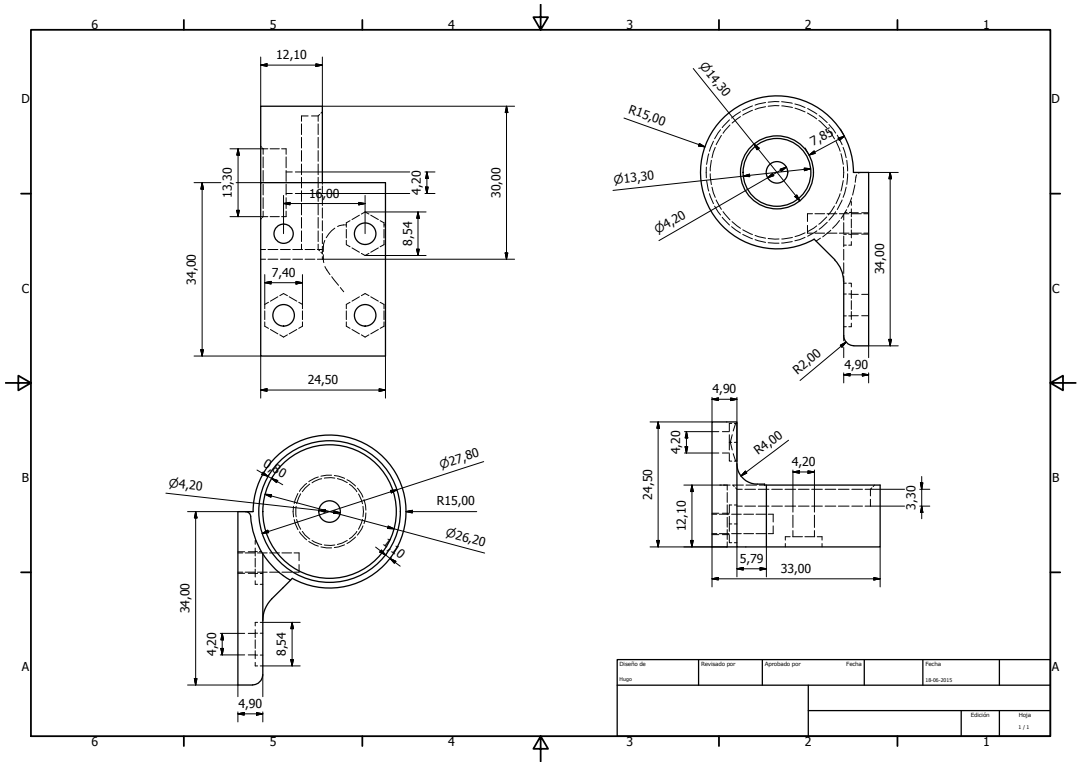
Sistemas de
rehabilitación de
extremidad superior en
un paciente pediátrico
específico





Bisagra para flexión de codo

Sistemas de
rehabilitación de
extremidad superior en
un paciente pediátrico
específico



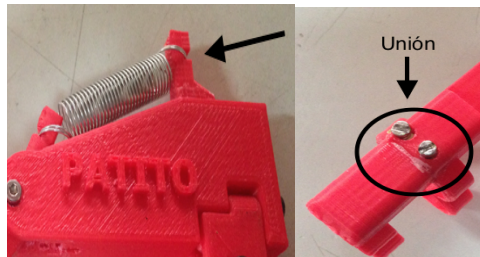
9.6 Anexo 6: Proceso de armado, del actuador de la órtesis

Una vez diseñada las piezas en el programa “Inventor”, se procedió a imprimir la pieza “Cuerpo del actuador”. De esta misma manera, también se realizó la impresión del “Apoyo para el dedo pulgar”, este apoyo no puede ir directamente unido al cuerpo del actuador de la órtesis, sino que necesita de una pieza, que sirva de unión entre estas dos estructuras. Es por ello, que se necesitó también imprimir la pieza “unión” para cumplir esta función.

Para realizar la impresión de la pieza “Apoyo para el dedo índice-medio”, se debió dividir ésta, en dos partes. Esto debido a la imposibilidad, de realizar la impresión en una sola pieza. Cabe mencionar, que también se imprimió una pieza más, aparte de las ya nombradas, esta pieza corresponde a la pieza “sujetador”, que es una estructura pequeña, que va pegada al cuerpo del actuador de la órtesis y que se encarga de sujetar el resorte axial de tracción, al cuerpo de la órtesis.

Recordar que este resorte axial de tracción, está situado en un extremo, en el cuerpo del actuador de la órtesis y en su otro extremo, al “apoyo para el dedo índice-medio”, este resorte se encarga de realizar la fuerza, que permite la apertura del actuador de la órtesis.

Una vez realizada la impresión de estas cuatro piezas, se procedió en primer lugar, a unir las dos partes que conforman el “apoyo para el dedo índice-medio”. Esta unión, se realizó utilizando acetona, ya que su compuesto reacciona con el material, con el cual fueron impresas las piezas (Plástico ABS), haciendo que estas se fundan y unan. Por otro lado, también se procedió a unir la estructura pequeña, encargada de sujetar el resorte axial de tracción, al cuerpo del actuador de la órtesis. Como último paso, antes de unir las 3 piezas que conforman el actuador de la órtesis, se procedió a introducir en la cavidad ubicada en el “apoyo para el dedo índice-medio”, un terminador mecánico, que es la estructura encargada de sujetar el cable de acero, proveniente de la unidad de control de la órtesis, al “apoyo para el dedo índice-medio”. Recordar que es este cable, el cual transmite la fuerza del actuador lineal, que se encarga de realizar el movimiento de cierre de la órtesis.



En la foto de la izquierda, se puede apreciar cómo va unida la pequeña estructura impresa, que sujeta el resorte, al cuerpo de la órtesis. Por otra parte, en la imagen de la derecha, se puede observar cómo fueron unidas las dos partes, que conforman el “apoyo para el dedo índice-medio”. Así mismo, también se puede apreciar dos pernos correspondientes al terminador mecánico, que se incorporó a este apoyo y que es el encargado de sujetar a éste, el cable de acero, proveniente del actuador lineal. A continuación, y una vez que se dispuso de todas las piezas terminadas, se procedió a integrarlas, conformando una sola estructura, correspondiente al actuador de la órtesis. La estructura correspondiente al “apoyo para el dedo pulgar”, fue incorporada a la pieza que sirve de unión, a través de un tornillo Phillips M2. Por otro lado, la estructura correspondiente al “apoyo para el dedo índice-medio” fue unida al cuerpo de la órtesis usando un tornillos Allen M2, para sujetarlos en su posición.

9.7 Anexo 7: Proceso de armado del equipo de ejercicios, para la mano derecha

Una vez impresas, las veinte partes mencionadas, se procedió a armar el equipo con cada una de ellas. En primer lugar, se unió la pieza “base del equipo”, con las piezas “porta brazo parte uno y parte dos”, para tener la estructura principal, como referencia para luego poder armar y unir, el resto de las demás partes. Cabe mencionar, que la unión de estas piezas, se realizó usando tornillos Phillips Witworth de $\frac{1}{4}$ ” x 1,5”.

Sistemas de
rehabilitación de
extremidad superior en
un paciente pediátrico
específico

105

Posterior a esto, se procedió a unir los dos motores, a cada uno de las dos piezas contenedoras, “pieza contenedora del motor uno y pieza contenedora del motor dos parte uno”. Para ello, se utilizaron tornillos Phillips M3x30, para evitar que la cabeza de éste, tenga roce con la estructura que soporta la mano del paciente y que está ubicada, entre los dos actuadores de los motores.

Una vez unido cada motor, a cada una de las estructuras que los contendrán, se procedió a ensamblar estas piezas, a la estructura anteriormente armada. Esto dio como resultado, una estructura final, a la cual las demás piezas van a ir ensambladas. Por último, y para terminar la primera parte del ensamblado, se procedió a unir a la estructura final, la pieza correspondiente a la “Pieza contenedora del motor dos parte dos”.

Posteriormente, se añadieron dos piezas más, a la estructura ya conformada. Una de estas piezas, corresponde a la garra, que es la estructura que soporta la mano del paciente, compuesta por el “soporte dedo pulgar y soporte dedo índice”, los cuales van unidos, a cada uno de los actuadores, ya instalados en la estructura. La pieza “horizontal superior”, que une por la parte superior de la estructura y en cada extremo, las dos piezas, donde se encuentran instalados los motores.

Las uniones de estas dos piezas, se realizaron, al igual que los casos anteriores, con tornillos Phillips M3x30, que unieron estas piezas a la estructura final. En el caso de la garra, que va unida en cada extremo, a los actuadores de los motores, se usaron tornillos cruz M3*6. Por otro lado, para el caso de la pieza “horizontal superior”, se usaron tornillos Phillips M3x20, para unir esta pieza en sus extremos, a las dos estructuras, donde se encuentran instalados los servo-motores.

La estructura principal ya esta armada y solo falta agregar:

- La estructura contenedora del circuito, que controlará este equipo.
- Las tapas que cubrirán las partes abiertas.
- La estructura contenedora de la batería.

La “estructura contenedora del circuito de control”, estará unida a la pieza “Pieza contenedora del motor dos parte dos”, esta unión se realizará, a través de cuatro tornillos m3x20.

Por último, se procedió a ensamblar las seis tapas, que cubrirán los espacios abiertos faltantes. Estas tapas, fueron unidas, utilizando tornillos Allen M2. Se realizó el ensamble de ellas, colocando la batería en el interior de la “pieza contenedora de la batería”. Por otro lado, se usaron tornillos M3x20, para sujetar la pieza “tapa de la estructura contenedora de la batería”, a la estructura contenedora de la batería.



Constancia Simple

Por medio de la presente y en relación al desarrollo de un dispositivo electromédico para la neuro rehabilitación del paciente [REDACTED] cuyos padres han autorizado mi participación y opinión en cuanto a las características y resultados del mencionado equipo, puedo señalar:

El sistema diseñado y construido por el Sr. Hugo Mladineo, Estudiante de Ingeniería Civil Biomédica de la Universidad de Valparaíso, Dirigido por el Profesor Togo Arredondo Gamboa, de la misma unidad académica. Cumple con los requisitos funcionales para ser utilizado como parte de la terapia de rehabilitación del paciente pediátrico ya señalado y otros con patologías similares. Satisface los requerimientos planteados inicialmente, incluso superando las expectativas esperadas por mí. Quisiera señalar además, mi tremenda satisfacción por el resultado obtenido y agradezco la oportunidad de haber participado en su desarrollo.

Dra. Susana T. Lillo Sarno
Fisiatría Infantil
Clínica Las Condes

Santiago 10 de Junio 2015