



EXOESQUELETO PARA REHABILITACIÓN DE MIEMBRO SUPERIOR EN PACIENTES HEMIPLÉJICOS Y SU SISTEMA DE DESARROLLO

Tesis Profesional que para obtener el
Título de Diseñador Industrial presenta:
JOSÉ MANUEL TORNER MORALES.

Con la dirección del D.I. Héctor López Aguado y la asesoría del Dr. Julio César Margain Compean, M.D.I. Luis Equihua Zamora, Dr. Carlos Daniel Soto Curiel y D.I. Mauricio Reyes Castillo.

Declaro que este proyecto de tesis es totalmente de mi autoría y que no ha sido presentado previamente en ninguna otra Institución Educativa. Y autorizo a la UNAM para que publique este documento por los medios que juzgue pertinentes.

Junio 2012, México, D.F.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Coordinador de Exámenes Profesionales
Facultad de Arquitectura, UNAM
PRESENTE

EP01 Certificado de aprobación de
impresión de Tesis.

El director de tesis y los cuatro asesores que suscriben, después de revisar la tesis del alumno

NOMBRE **TORNER MORALES JOSE MANUEL** No. DE CUENTA **303620233**

NOMBRE DE LA TESIS **EXOESQUELETO PARA REHABILITACION DE MIEMBRO SUPERIOR EN
PACIENTES HEMIPLEJICOS Y SU SISTEMA DE DESARROLLO**

OPCION DE TITULACION **TESIS Y EXAMEN PROFESIONAL**

Consideran que el nivel de complejidad y de calidad de , cumple con los requisitos de este Centro, por lo que autorizan su impresión y firman la presente como jurado del

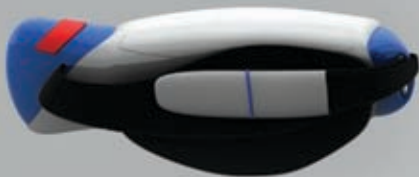
Examen Profesional que se celebrará el día de de a las hrs.

Para obtener el título de **DISEÑADOR INDUSTRIAL**

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria, D.F. a 30 de marzo de 2012

NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE D.I. HECTOR LOPEZ AGUADO AGUILAR	
VOCAL M.D.I. LUIS EQUIHUA ZAMORA	
SECRETARIO DR. JULIO CESAR MARGAIN COMPEAN	
PRIMER SUPLENTE DR. CARLOS DANIEL SOTO CURIEL	
SEGUNDO SUPLENTE D.I. MAURICIO REYES CASTILLO	

ARQ. JORGE TAMES Y BATA
Vo. Bo. del Director de la Facultad

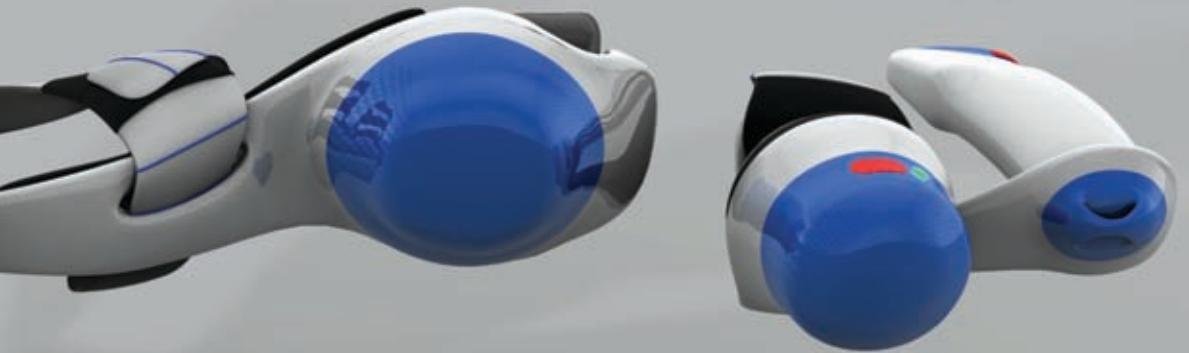


RESUMEN

Este trabajo documenta el proceso de diseño de un exoesqueleto de rehabilitación del miembro superior en pacientes hemipléjicos, es decir, que han perdido la función muscular en uno de los lados del cuerpo.

Es un proyecto de colaboración entre estudiantes del Centro de Investigaciones de Diseño Industrial (CIDI) y de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); contando con la asesoría del Laboratorio de Ergonomía del Instituto Mexicano del Seguro Social (MSS).

El diseño del exoesqueleto forma parte de una matriz de proyectos con objetivos a largo plazo (sistema de desarrollo), generada con la asesoría de profesores del CIDI UNAM.



Para el diseño del producto final se contó con la colaboración de expertos en medicina de rehabilitación y del Laboratorio de Ergonomía del IMSS. A partir de su asesoría fue posible definir el usuario y las funciones del producto final.

La propuesta final, el exoesqueleto, tiene como principal objetivo que los usuarios practiquen la rehabilitación del brazo en casa y con el tiempo recuperar su movilidad. El producto asiste en la realización de los movimientos básicos del brazo. Se dividió en tres módulos, de acuerdo al área del brazo que el usuario quiera ejercitar; módulo de codo, de muñeca y de dedos. Estos se encuentran programados electrónicamente para asistir cada movimiento y se controlan a través de un control remoto universal.

La configuración del exoesqueleto busca dar un sentido positivo al diseño de este tipo de productos, haciendo uso de la alta tecnología y la personalización.

Gracias...

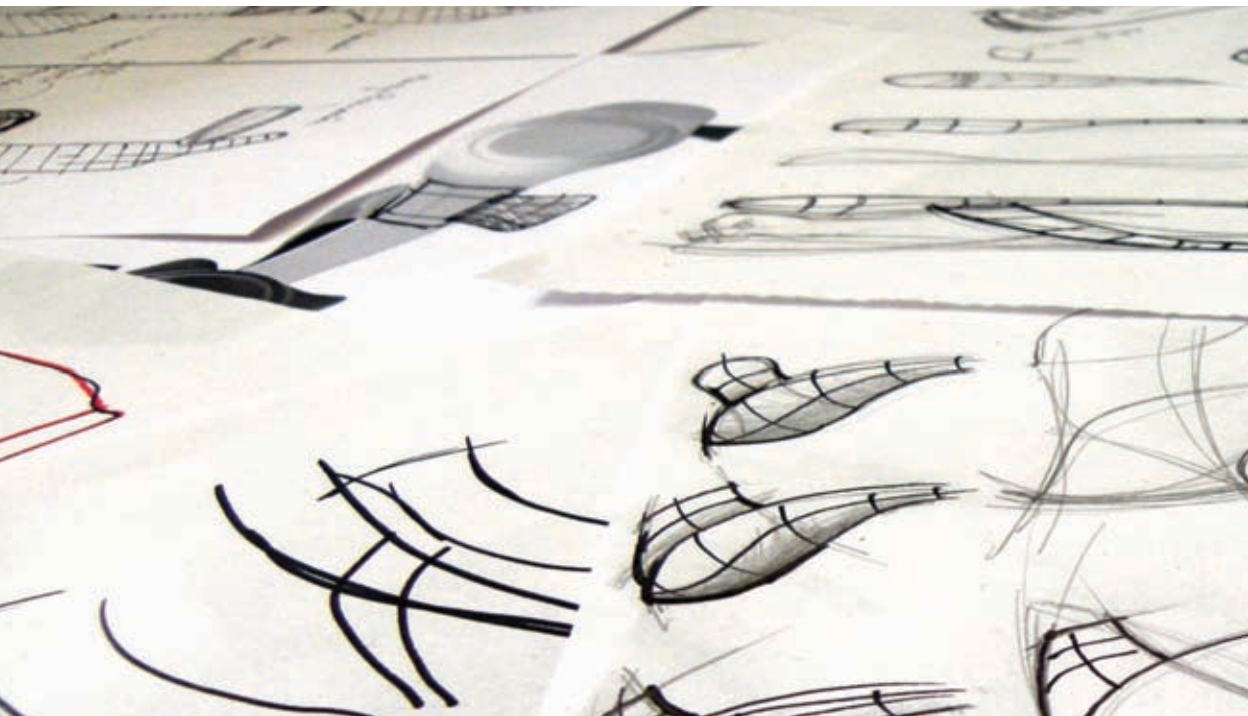
... a mis padres, Lucía Morales y Francisco Torner, por su esfuerzo, paciencia y apoyo incondicional. Este trabajo no es más que el vivo reflejo de la buena educación y los valores con los que me formaron. Gracias por enseñarme a luchar por lo que quiero y que no existen los límites.

... a Paula, por tu paciencia en esta etapa, por apoyarme siempre y ser mi motivación día con día.

... a mis hermanos Franciso, Lucía, Juan y María, por tantas experiencias y enseñanzas que me formaron desde pequeño, gracias por ayudarme siempre a alcanzar mis sueños. Majo, gracias por esa corrección de lujo.

... a mi tía Mónica Arroyo, por inspirar este trabajo desde un inicio.

... a Daniel e Israel Flores, por darme la oportunidad de trabajar con ustedes, sin ustedes este proyecto no hubiera sido posible.



... a Nestor, Jesús, Marysol, Eva, Diana, Felipe, Elias y Diego, por su colaboración en el proyecto y en el desarrollo del concepto, aún estando de vacaciones.

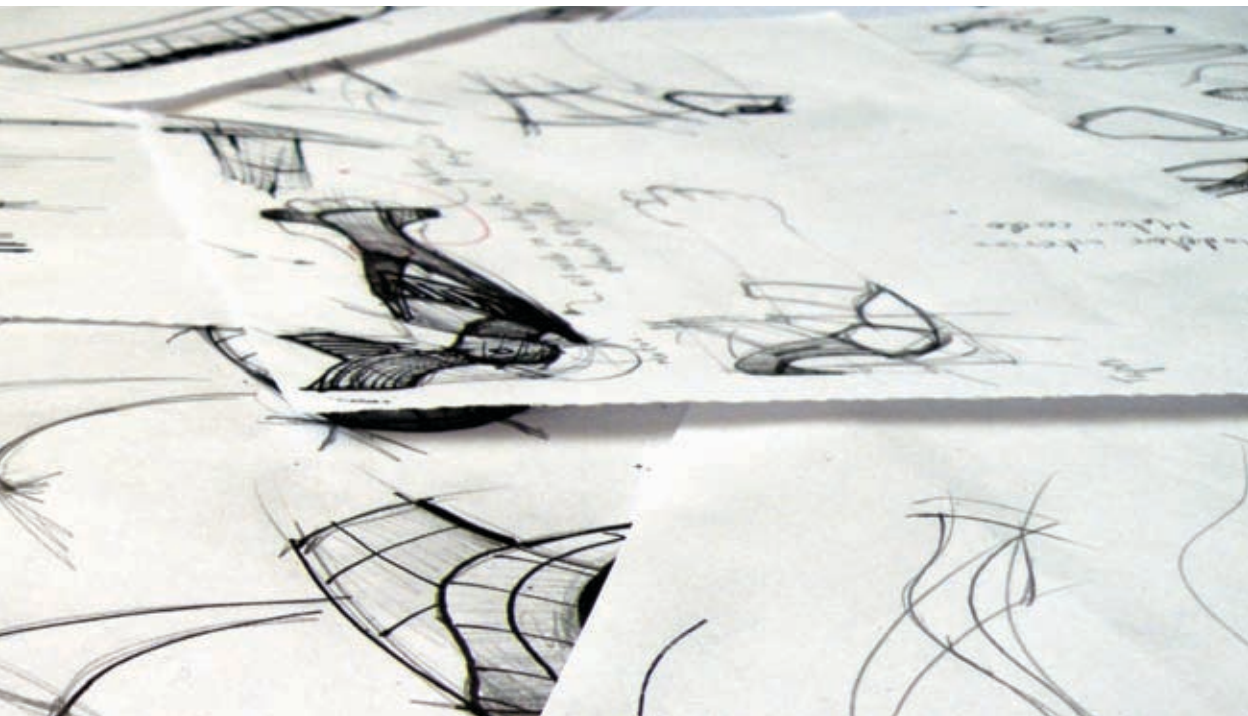
... a la Dra. Irene Mujica, el Dr. Ángel Hernández y la Dra. Michelle Sarmiento, por permitirme trabajar con ustedes, por sus asesorías y herramientas aportadas a este trabajo.

... a mis tutores Héctor López, Julio César Margain y Luis Equihua, por su confianza en este proyecto e impulsarme siempre a terminarlo;

... a Luis Bermudez, Carlos Soto y Mauricio Reyes por su asesoría y la intención de mejorar este trabajo. Por dar otro enfoque a este tipo de proyectos.

... a todos los que trabajan en el CIDI, por su labor diaria y por dotarnos de las herramientas necesarias para convertirnos en Diseñadores Industriales.

... a la generación de “Abortos”, por su amistad y apoyo a lo largo de toda la carrera.



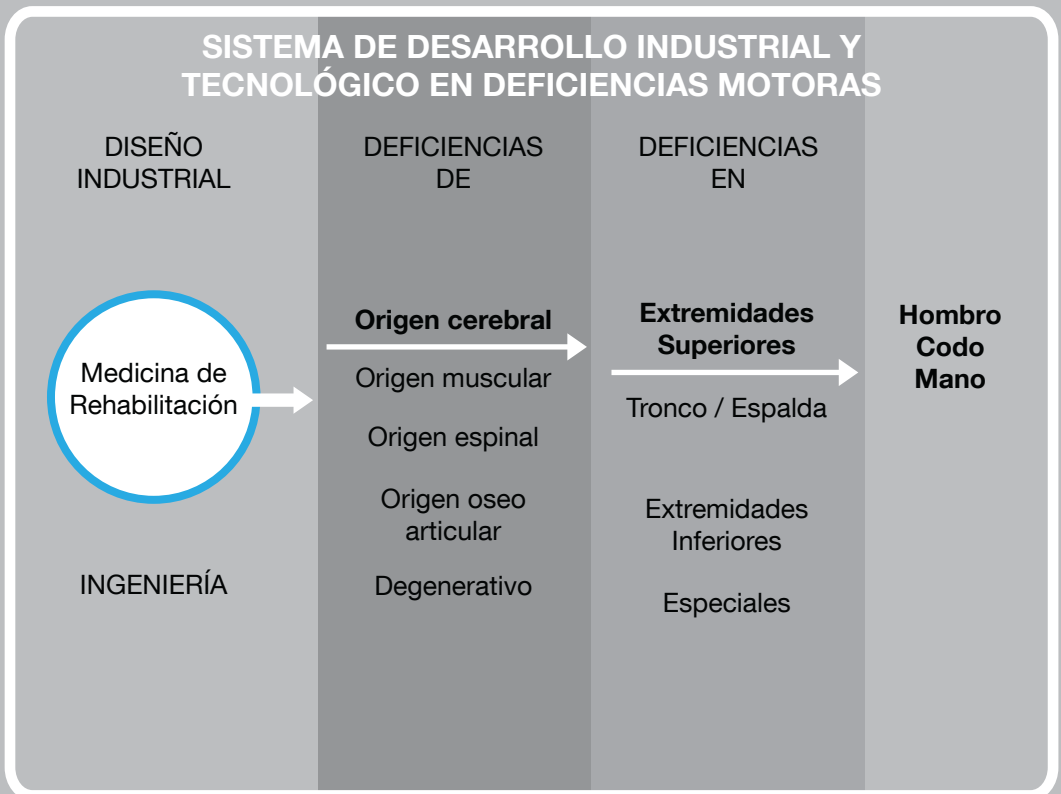
INTRODUCCIÓN

El desarrollo del exoesqueleto para rehabilitación del brazo llevó a cabo en varias etapas. Esta pequeña introducción permite entender de mejor manera la estructura de este proyecto y la lectura del documento.

El proyecto se presenta en dos grandes etapas, la primera; sobre la generación del Sistema de desarrollo en deficiencias motoras, y la segunda: se expone el proyecto de diseño como parte de este sistema.

El diseño de este exoesqueleto forma parte de un Sistema de Desarrollo Industrial y Tecnológico en Deficiencias Motoras, que constituye la primera gran parte de este documento (Capítulos 1 a 5). Para el planteamiento de este sistema se realizó un análisis profundo de la situación de los discapacitados y su contexto.

DISCAPACIDAD



El resultado es una estrategia a largo plazo en la que se hace uso de la medicina de rehabilitación, del diseño industrial y de la ingeniería para impulsar proyectos enfocados a la producción de objetos especializados.

La segunda fase (Capítulos 5 al 13) documenta el diseño de un Exoesqueleto para Rehabilitación de Miembro Superior en Pacientes Hemipléjicos como primer aporte al sistema previamente mencionado.

En esta segunda mitad se presenta el proceso que se siguió para llegar a la propuesta final de diseño, documentando la investigación, la definición y el desarrollo del proyecto; todo como parte de un trabajo multidisciplinario entre el Centro de Investigaciones de Diseño Industrial, la Facultad de Ingeniería y el Laboratorio de Ergonomía del Instituto Mexicano del Seguro Social.

Fig.0. 1 Etapas de Proyecto: Sistema de Desarrollo y Diseño del exoesqueleto.



METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto fue de extrema importancia el trabajo multidisciplinario y es por eso que la asesoría de especialistas marcó el rumbo. Este segmento está destinado a explicar brevemente los diferentes métodos que se siguieron para el desarrollo óptimo del proyecto de tesis.

Método de diseño estratégico - social

Surgió de un periodo de sensibilización y observación de la problemática, seguido de un análisis profundo para el planteamiento de un problema, es decir, para generar un proyecto de diseño estratégico (ver Anexo 8 “Cuadro de Análisis”). Esta metodología dio como resultado el Sistema de Desarrollo Industrial y Tecnológico en Deficiencias Motoras. (Bermudez Crisancho, 2011)

Desarrollo y alcances de proyecto de tesis

A medida que el proyecto fue avanzando se establecieron objetivos más realistas de acuerdo a la capacidad de los involucrados. Los alcances con los que exitosamente cumplió esta tesis fueron los siguientes:

- Llevar a cabo un trabajo de forma interdisciplinaria entre la Facultad de Ingeniería y el Centro de Investigaciones de Diseño Industrial de la UNAM.
- Desarrollar la investigación y enforarla principalmente en el usuario y en la interacción de éste con productos del mismo tipo.
- Llegar a una alternativa real que pueda satisfacer las necesidades de los usuarios, en este caso, los pacientes con hemiplejía y las personas que los asisten. Se espera que la solución sea accesible a los interesados.
- Generar la documentación del desarrollo del proyecto, englobando la estrategia de diseño, el desarrollo del producto y su proyección.

El diseño de la propuesta se complementa con dos tesis aún en desarrollo de la Facultad de Ingeniería, realizadas por estudiantes que formaron parte del proyecto.

- Ortiz, Jesús (2012). Diseño de ortesis activa de mano para pacientes con espasticidad muscular. Tesis de Ingeniería.UNAM.
- Pérez, Nestor (2012). Diseño de ortesis activa de codo para rehabilitación de pacientes espásticos. Tesis de Ingeniería.UNAM.

En lo que se refiere a Diseño Industrial, el proyecto tiene un gran peso desde el punto de vista ergonómico, es por eso que desde el inicio se busco la vinculación con instituciones médicas, como es el caso del IMSS.

Acercamiento a fuentes primarias y secundarias

A través del Laboratorio de Ergonomía del IMSS y del trabajo en conjunto con terapeutas se pudo obtener información documentada tanto de antropometría como de biomecánica, así como información muy puntual acerca de las causas de un evento vascular cerebral, las secuelas que este tiene, y los factores externos que se deben tener en cuenta para el desarrollo de dichos productos.

Gracias al trabajo con la Facultad de Ingeniería se contó con información acerca de la tecnología disponible en nuestro país y se trabajó en el desarrollo de mecanismos que pudieran funcionar para el producto en cuestión.

Por último se debe decir que gracias al trabajo multidisciplinario se logró el acercamiento con algunos pacientes y se pudo realizar una muestra ergonómica del torque en personas mexicanas, generando lineamientos funcionales para el desarrollo de productos como éste.(Ver Anexo 2)



ÍNDICE

4 RESUMEN

8 INTRODUCCIÓN

10 METODOLOGÍA

15 DISCAPACIDAD, UN PROBLEMA EN CRECIMIENTO

15 IDENTIFICANDO EL PROBLEMA

23 JUSTIFICACIÓN

30 PLANTEAMIENTO

31 SISTEMA DE DESARROLLO

31 OBJETIVO GENERAL

34 PROBLEMÁTICA

36 DEFICIENCIAS MOTORAS Y
LÍNEAS DE INNOVACIÓN

38 MISIÓN DEL SISTEMA

39 CAMPO DE ACCIÓN

39 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

41 EL DISEÑO INDUSTRIAL COMO ALTERNATIVA

41 ACCIONES PREVIAS ORIENTADAS
AL MIEMBRO SUPERIOR

46 INVESTIGACIÓN

46 EVC Y ESPASTICIDAD

50 REHABILITACIÓN FÍSICA

52 DEFINIENDO AL USUARIO

56 PERFIL DE DISEÑO DE PRODUCTO



59 GENERANDO EL CONCEPTO

- 62 PRESENTE
- 70 FUTURO
- 71 PRESENTE + FUTURO =
PRIMEROS CONCEPTOS

74 ERGONOMÍA

- 77 ANTROPOMETRÍA
- 78 BIOMECÁNICA

82 PROCESO DE DISEÑO

- 86 EXTENSIÓN DE DEDOS
- 90 EXTENSIÓN DE MUÑECA
- 92 PRONACIÓN / SUPINACIÓN
- 96 FLEXIÓN DEL CODO
- 99 CONSIDERACIONES DE DISEÑO
- 100 CONSIDERACIONES ESTÉTICAS

102 EL DISEÑO

- 102 LA PROPUESTA
- 106 EL EXTENSOR DE DEDOS
- 112 EL MÓDULO PARA LA MUÑECA
- 118 EL MÓDULO PARA EL CODO
- 128 LA INTEGRACIÓN
- 132 CONFIGURACIÓN ESTÉTICA
- 136 VENTAJAS

138 PROYECCIÓN

144 REFLEXIONES FINALES

148 PLANOS TÉCNICOS

ESTAD
REG
Privado

46.5%
8
Sistema Fijado
3 subsistemas
EU

Dependencia salud pública
21.3% → 15.3 millones
de chilenos
FONASA

Español
vida 78
HEV = 25

FONASA (Luzbidea)
Hospitales (Luzbidea)
FARMAS (Luzbidea)

Médicos No habilitados
10.9 x 10,000
192 hospitales
en Chile

Prevencción
ACCIÓN

ALTO
COMPROMISO
SERVICIO
COMUNITARIO

Problemas
Diagnóstico erróneo
Instituciones mal equipadas
Falta de personal
Falta de recursos

ingreso /capita
= 1000
(dólar)
HEV = 25

estructura
medicamentos
Sanitarios
Educación
en hogares

1. DISCAPACIDAD, UN PROBLEMA EN CRECIMIENTO

Este capítulo presenta el análisis realizado sobre el tema de la discapacidad, en primer lugar, como un asunto de interés global y a partir de la situación que se vive en México actualmente, enfocando este análisis en la discapacidad motriz.

Se llevó a cabo un estudio del contexto y sus diferentes escenarios, relacionándolos con la medicina de la rehabilitación y con el desarrollo de productos y servicios. Esto llevó al planteamiento de un sistema estratégico de proyectos orientados a esta materia.

IDENTIFICANDO EL PROBLEMA

El índice de discapacitados va en aumento anualmente y se ha convertido en un tema de discusión y preocupación a nivel mundial. Cerca de mil millones de personas, 15% de la población mundial, sufren algún tipo de discapacidad. (World Health Organization, factsheet 352, 2011).

Este índice se debe al crecimiento poblacional y va acompañado de una esperanza de vida cada vez más alta generando enfermedades degenerativas que se suman a estas discapacidades. Además, es un hecho que las personas con discapacidad tienen un acceso limitado a los servicios de salud. Esto es diferente en cada país, pero la realidad es que esta población sufre un rezago importante en cuanto a atención y oportunidades.

Algunos conceptos

El concepto de discapacidad se ha definido de diferentes maneras a lo largo de la historia. En el año de 1980 la Organización Mundial de la Salud (OMS) realizó un esfuerzo por unificar tanto criterios médicos como el sociales, lo cual permitiría un mismo lenguaje entre profesionales de distintas disciplinas.

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Deficiencias, Discapacidades y Minusvalías (CIDDM) existen tres niveles diferentes: deficiencia, discapacidad y minusvalía. (Vaz Leal et. al, 2009)

Deficiencia	Discapacidad	Minusvalía
Deficiencias intelectuales Deficiencias del lenguaje Deficiencias del órgano de la audición Deficiencias del órgano de la visión Deficiencias viscerales Deficiencias músculo-esqueléticas Deficiencias desfiguradoras Deficiencias generalizadas, sensitivas y otras Otras deficiencias psicológicas	Deficiencias intelectuales Deficiencias del lenguaje Deficiencias del órgano de la audición Deficiencias del órgano de la visión Deficiencias viscerales Deficiencias músculo-esqueléticas Deficiencias desfiguradoras Deficiencias generalizadas, sensitivas y otras Otras deficiencias psicológicas	Deficiencias intelectuales Deficiencias del lenguaje Deficiencias del órgano de la audición Deficiencias del órgano de la visión Deficiencias viscerales Deficiencias músculo-esqueléticas Deficiencias desfiguradoras Deficiencias generalizadas, sensitivas y otras Otras deficiencias Psicológicas

Tabla 1. 1. Deficiencias, Discapacidades Y minusvalías.

Fuente: Clasificación Internacional de Deficiencias, Discapacidades y Minusvalías, OMS.

Deficiencia. Hace referencia a las anomalías de la estructura corporal, de la función de un órgano o sistema. Esta definición puede ejemplificarse con la pérdida de miembros o sentidos, como son la ceguera, la sordera o la amputación de algún miembro.

Discapacidad. Es el reflejo de la deficiencia en las actividades diarias del individuo. El INEGI la define como toda restricción o ausencia de la capacidad para realizar una actividad en la forma o dentro del margen que se considera normal para un ser humano. También es considerada como la exteriorización de las deficiencias.

Minusvalía. La OMS la define como una situación en desventaja para las personas con alguna deficiencia o discapacidad que limita o les impide desempeñar algún rol en la sociedad. Este término hace referencia a la manera en que se relaciona el individuo en su entorno. A esto se añaden otros factores como son la edad, sexo, factores sociales, económicos, culturales, etc.

Es importante mencionar que la minusvalía es un término que puede ser despectivo, es por esto que se ha abandonado su uso.

El sistema de salud

Se llevó a cabo un análisis del sistema de salud a nivel global, permitiendo ubicar a la discapacidad dentro de esta gran estructura (Fig. 1.1).

El análisis partió de la salud definida como un servicio enfocado al bienestar y a la búsqueda de una mejor calidad de vida para el ser humano. Posteriormente se analizaron los diferentes estratos sobre los que el sistema de salud tiene impacto, los organismos o instituciones, el contexto y la población, relacionándose todos ellos entre sí.

El análisis contempló todos los factores que impactan tanto al marco global como local de la salud, vinculándolos con el problema de la discapacidad y generando líneas de acción y desarrollo.

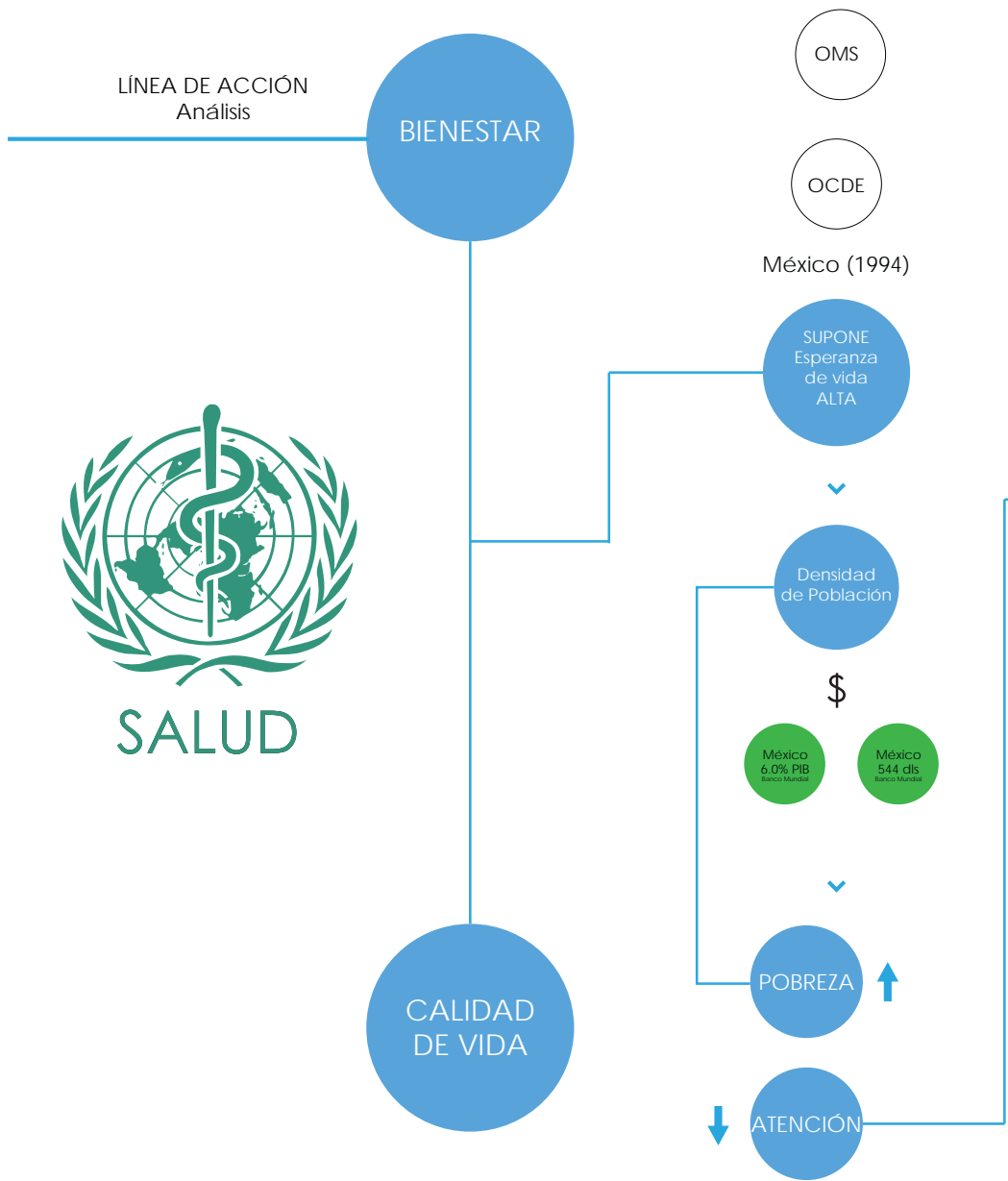
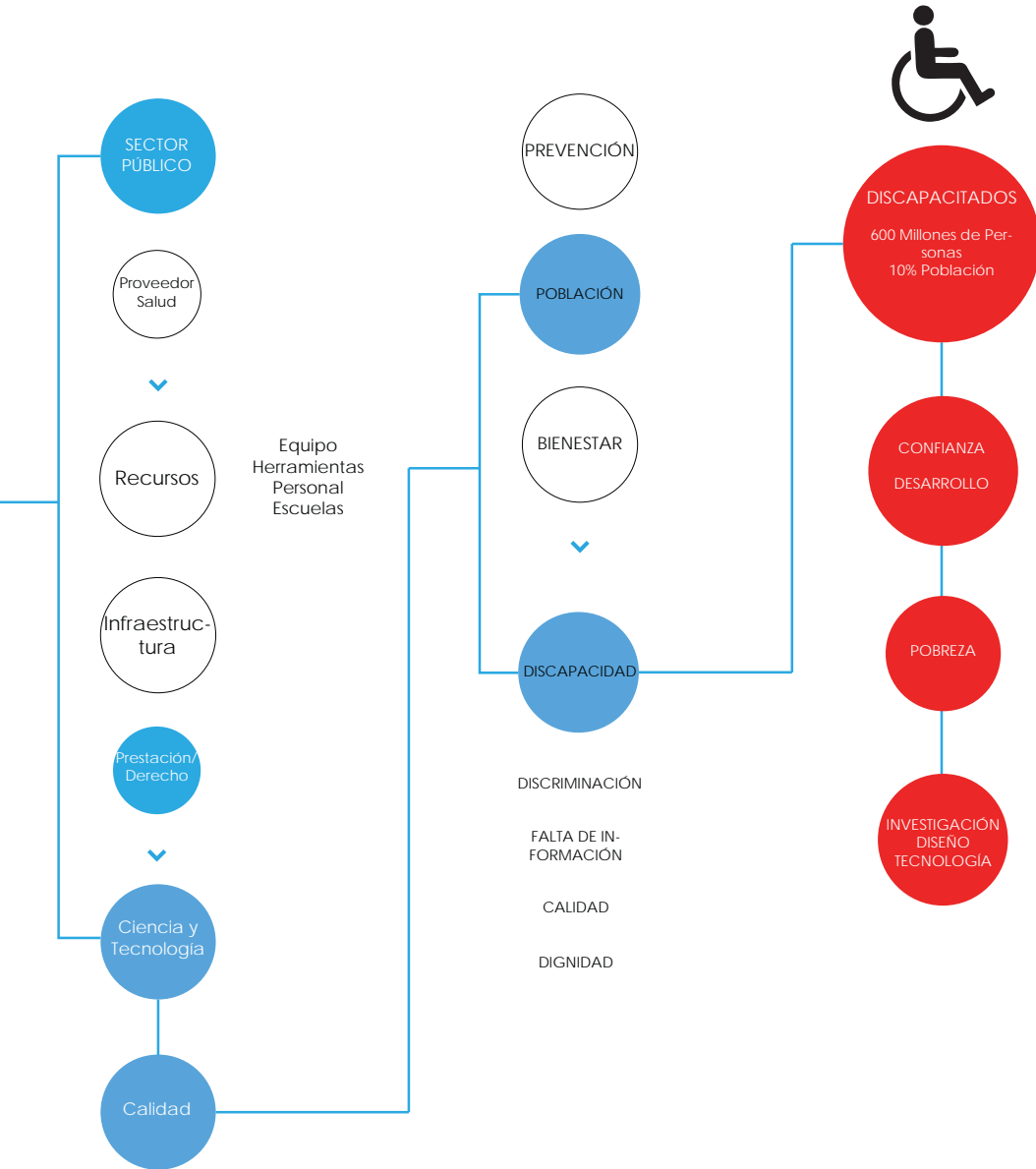


Fig.1. 1. Cuadro de análisis del Sistema de Salud y su relación con la discapacidad y su contexto. La línea en azul representa el camino que se siguió durante el proyecto.



CONTEXTO

POBLACIÓN

ACCIÓN

La Discapacidad en México

Según datos del DIF, en 2008, 45% de la población con discapacidad a nivel mundial se concentraba en Latinoamérica. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI) en el último censo de población y vivienda en 2010 se contabilizaron 5 millones 739 mil 270 personas discapacitadas en nuestro país, es decir, 5.1% de la población total; en el año 2000, este índice era de 1.8% del total de personas, lo que significa que la cantidad de discapacitados se multiplicó tres veces en sólo una década. (INEGI, 2004)

De acuerdo con la gráfica (Fig. 1.2), se pueden observar dos grandes picos en la pirámide de población. Estos dos picos corresponden a personas en edades de los 10 a los 14 años y de 70 a 74 años de edad.

Es importante mencionar que también de los 5 a los 9 años de edad hay un aumento considerable en el número de habitantes con discapacidad. Es en estas edades donde se desarrollan discapacidades motrices y del lenguaje. Este grupo corresponde a los pacientes con los que se tendrá contacto a lo largo del proyecto, ya que aunque muchos cuenten con extremidades superiores, han perdido función muscular.

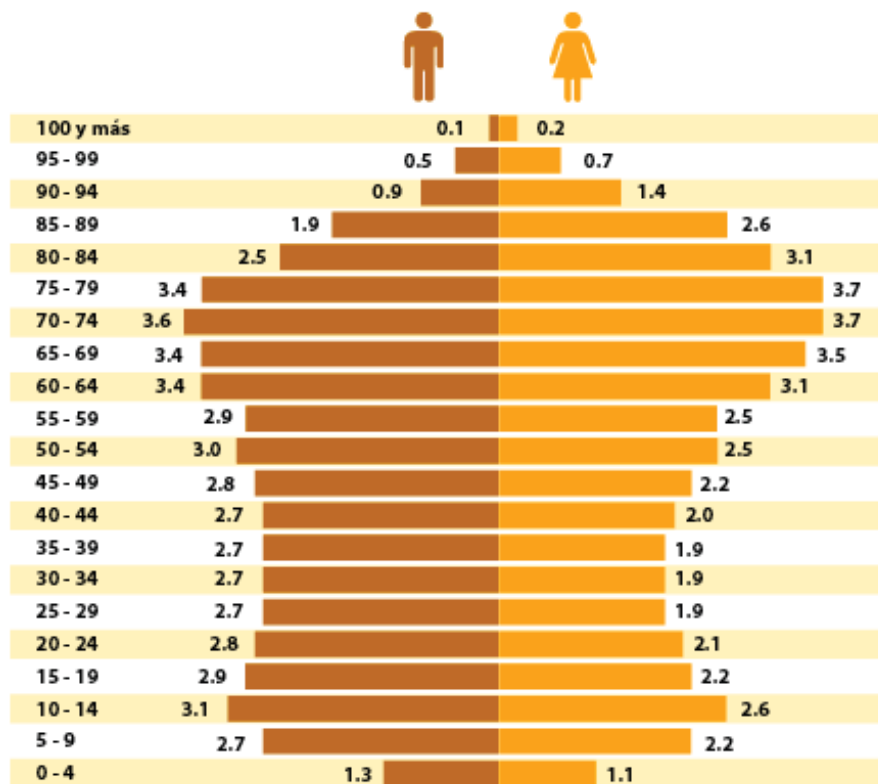


Fig.1. 2 Población con Discapacidad en México. Distribución por edad y sexo.
 Fuente: *Las personas con discapacidad en México, una visión censal*, INEGI, 2004.

Tipos de discapacidad.

De acuerdo con el INEGI, en el año 2000 se establecieron 5 tipos de discapacidad: motriz, visual, mental, auditiva y del lenguaje. La discapacidad motriz engloba el 58.3% de la población total con discapacidad en nuestro país (Fig. 1.3). México se coloca como uno de los países con mayor índice de discapacitados en el mundo y la atención que reciben no es la mejor.

La población con discapacidad motriz se desenvuelve en un entorno complicado en el que recibe poca atención y las oportunidades son escasas. A continuación se presentan algunos datos estadísticos que ayudan a ubicar la problemática en contexto.

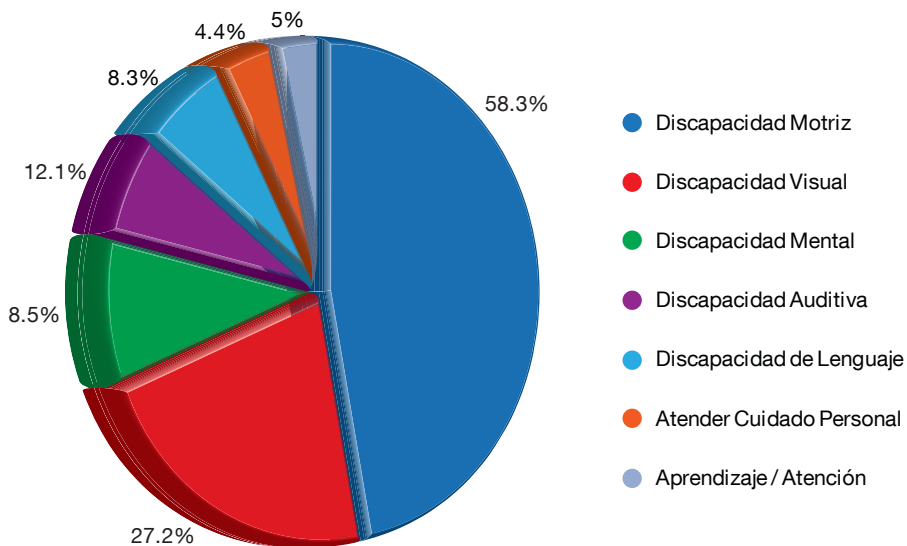


Fig.1. 3 Tipos de discapacidad en México. Distribución demográfica. La suma de porcentajes es mayor a 100% debido a que se consideran personas con más de una discapacidad.
Fuente: *Las personas con discapacidad en México, una visión censal*, INEGI, 2004.

JUSTIFICACIÓN

Discapacidad motriz en México - Contexto

El análisis hecho por el INEGI arroja datos que nos permiten observar de cerca lo que ocurre con la población con discapacidad motora. Para esto, se decidió tomar algunos de estos datos y clasificarlos en diferentes escenarios, con el fin de mostrar cabalmente las razones por las que es necesario el apoyo al desarrollo de nuevos productos.

Escenario social

Como se ha mencionado anteriormente, esta discapacidad es la más común en todo el mundo. Tan solo en México, en el año 2000, se registró que 45 de cada 100 personas con discapacidad tienen limitantes motrices. Esto es, 8 habitantes de cada 1000 tienen una deficiencia motriz, aproximadamente 814 mil personas en ese entonces.

Es importante mencionar que el 76.2% de esa población reside en zonas urbanas, el otro 23.8% vive en zonas rurales. Se deben de tomar en cuenta estos datos como referencia, ya que así como es necesario el desarrollo de productos para estas personas, igualmente se debe pensar en la accesibilidad de dichos productos, esto se analizará más adelante en el aspecto laboral.

Escenario educativo

“De acuerdo con la Ley General de Educación (1993), la educación es el medio fundamental para adquirir, transmitir y acrecentar la cultura; es el proceso permanente que contribuye al desarrollo del individuo y a la transformación de la sociedad, de igual forma, la educación especial para las personas con discapacidad debe ser impartida a la población de acuerdo a sus propias condiciones, de manera adecuada y con equidad social.”(INEGI, 2004)

La educación para personas con alguna discapacidad ha representado una limitante en el desarrollo de sus capacidades, ya que, aunque muchas de ellas no necesitan instrumentos especiales, las instalaciones (al menos en México) no están acondicionadas para realizar las diferentes actividades o no cuentan con ayuda técnica para aprender a escribir o manipular los libros.

Distribución porcentual de población de 6 a 29 años por grupos de edad según condición de asistencia escolar y sexo, 2000		
Grupos de Edad	Asiste	No Asiste
Total	34.20%	64.50%
6 a 9	64.30%	33.30%
10 a 14	62.40%	36.40%
15 a 19	31.60%	67.40%
20 a 24	11.70%	87.30%
25 a 29	4.90%	94.20%

NOTA: La distribución está calculada respecto al total de las personas con discapacidad motriz.

Tabla 1. 2. Asistencia escolar.

Fuente: *Las personas con discapacidad en México, una visión censal*, INEGI, 2004

De acuerdo a la tabla anterior (Tabla 1.2), se puede ver que de la población con discapacidad motriz en edad de 6 a 29 años, solo el 34.2% asiste a la escuela; además, a medida que van creciendo el porcentaje disminuye. De cada 100 personas entre 6 y 9 años, 64 van a algún centro educativo, pero en el caso de las personas entre 25 y 29 años, sólo 5 de cada 100 estudian.

El 64.5% de las personas con discapacidad motriz no iba a la escuela en el año 2000, 17.9% de estos últimos nunca asistió y el otro 73.5% abandonó su educación. Dentro de las diversas razones para el abandono están tener tareas en el hogar, la distancia a la escuela, matrimonio y la falta de dinero y recursos, siendo esta última la principal representando un 28.5%.

Lo anterior da a pensar en la poca oportunidad que se ofrece a esta población para continuar estudiando o en los recursos que no están a su alcance; al darles mayor apoyo para seguir estudiando aumentará su integración laboral y social.

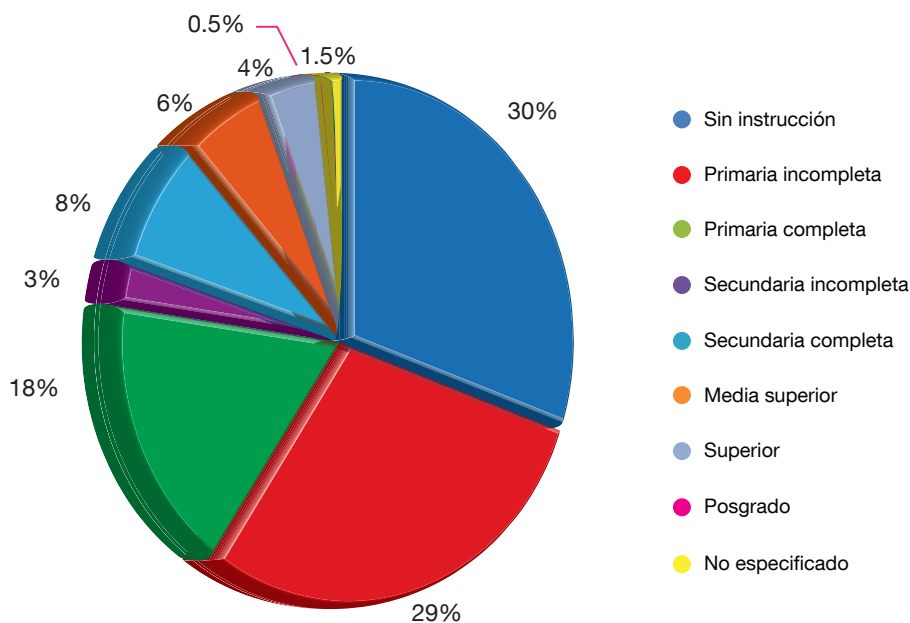


Fig.1. 4. Distribución porcentual de la población de 15 años y más por sexo según nivel de instrucción y promedio de escolaridad.

Fuente: *Las personas con discapacidad en México, una visión censal*, INEGI, 2004.

Sólo el 6.4% de la población con discapacidad motriz termina sus estudios. El promedio de escolaridad es del 4.2, es decir, 4° de primaria. Estas cifras nos hablan de analfabetismo en un porcentaje importante además de pocas posibilidades en el mundo laboral (Fig. 1.4).

El desarrollo educativo es un apoyo importante para ellos, y es través de nuevas políticas educativas y del desarrollo de sistemas que sean accesibles a ellos que se puede lograr una mejor integración escolar e independencia.

Escenario laboral

En el año 2000 el INEGI reportó que el 38% de las personas con deficiencias motoras se encontraban en la denominada “edad productiva”, personas entre 15 y 59 años. En México existen muchos casos en los que la negligencia por parte de las autoridades impide dar seguimiento a accidentes laborales. Éstos representan la causa principal de discapacidad motriz, representando un 24%.

En lo que se refiere al ingreso mensual de la gente con este tipo de discapacidad, casi el 60% de la población que trabaja recibe menos de 3 salarios mínimos mensuales por trabajo, un salario extremadamente bajo. (Fig. 1.5)

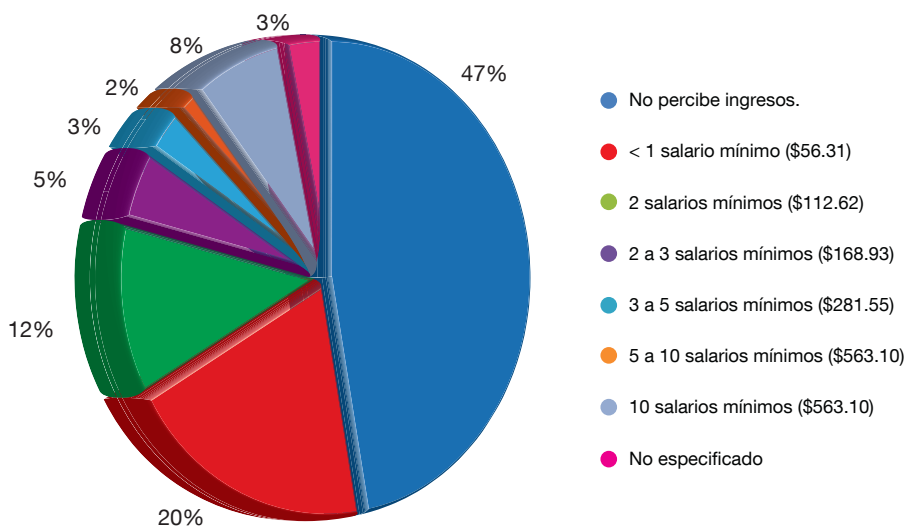


Fig.1. 5. Tipos de discapacidad en México. Distribución demográfica.

Fuente: *Las personas con discapacidad en México, una visión censal*, INEGI, 2004.

Como se mencionó anteriormente, a pesar de que gran parte de esta población es urbana, las actividades que realizan difieren totalmente del lugar donde residen. En el caso de México las personas con discapacidad motriz se dedican en su mayor parte a las artesanías, la agricultura o a ser vendedores independientes.

El escenario laboral es de suma importancia, ya que en nuestro país el sistema de salud está hecho de tal manera que las personas que trabajen tengan acceso al servicio de salud. En algunos casos, aun trabajando no se tiene esta prestación. Esto se traduce en pocas oportunidades para adquirir ciertos apoyos que sirvan a su discapacidad incluso cuando los pacientes llegan a tener atención médica, los equipos y el tratamiento suelen ser muy caros debido a su importación. Con estos datos se puede decir que es necesario el desarrollo de estrategias para que los pacientes tengan acceso a estos productos.

Escenario de seguridad

Este escenario se relaciona con el acceso que tienen las personas con discapacidad motriz a los servicios de salud en nuestro país, los cuales cuentan con programas de rehabilitación específicos para cada tipo de deficiencia.

De acuerdo al estudio del INEGI en el año 2000, 47.6% de las personas con discapacidad motriz no tenía derecho a servicios de salud. De este porcentaje, 54 de cada 100 acudían a instituciones privadas y 36 tenían que acudir de primera instancia a lugares destinados a población abierta por parte de la Secretaría de Salud, lo cual resulta, hasta nuestros días, bastante costoso.

Estos datos representan una gran problemática en el acceso a servicios de salud, y esta situación aumenta en las zonas rurales, donde la gran mayoría no recibe un ingreso considerable para poder pagar ciertos aparatos de rehabilitación así como algunos tratamientos. Si a esto le sumamos que en esas zonas no hay instituciones especializadas se convierte en un problema que requiere acción inmediata.

Rehabilitación y EVC en México

En 1981 la ONU definió la rehabilitación como “un proceso de duración limitada y con un objetivo definido, encaminado a permitir que una persona con deficiencia alcance un nivel físico, mental y/o social funcional óptimo, proporcionándole así los medios de modificar su propia vida”.

La medicina de rehabilitación en México es relativamente nueva. Desde 1951 comenzó la capacitación de terapeutas físicos y médicos.

En lo que se refiere a la rehabilitación dedicada a la discapacidad motriz, en México las primeras investigaciones en prótesis comenzaron en 1940, mientras que países como Alemania ya las producían en 1508.

El EVC (Enfermedad Vasculat Cerebral) consiste en una alteración parcial o global de la función cerebral y es una de las principales causas de discapacidad motriz. Las personas que presentan estos síntomas requieren rehabilitación. Estas definiciones se explican más adelante en el Capítulo 6. Investigación.

De acuerdo con el informe 2010 del Instituto Nacional de Rehabilitación (INR) se recibieron 788 mil personas a las que se les practicó rehabilitación física. En lo que se refiere al EVC y pacientes con secuelas como la espasticidad se encontró lo siguiente. (Tabla 1.3)

Servicio	No. de Pacientes 2009	No. de Pacientes 2010
Lesionados medulares	185	203
Traumatismo craneo	304	339
- encefálico	246	638
Secuelas EVC		

Tabla 1. 3. Informe Autoevaluación, 2010.

Tabla 1. 4. Fuente: Insituto Nacional de Rehabilitación, 2010.

Desarrollo de equipo médico en México y apoyo a la investigación

La falta de apoyo a la investigación y desarrollo de nuevos equipos en nuestro país se une al cúmulo de razones por las cuales la población de discapacitados ha aumentado de manera alarmante en los últimos años.

En México, el gasto en salud por habitante es de 846 dólares anuales y el gasto total ocupa un 6.5% del Producto Interno Bruto (PIB). En Estados Unidos el gasto por habitante asciende hasta los 7,410 dólares y el sector salud ocupa un 16.2% del PIB. Es decir, el gasto por habitante en México es nueve veces menor al de Estados Unidos. Esto indica un bajo presupuesto al servicio de los habitantes, además de que el que se destina a la investigación presenta el mismo problema.

Según información de la Asociación Mexicana de Industrias Innovadoras de Dispositivos Médicos (AMIID), México es el sexto exportador de instrumentos de medicina, cirugía y odontología a nivel mundial, el octavo de aparatos de terapia, el 10° de aparatos respiratorios, el 12° en artículos de ortopedia y el 17° de aparatos de rayos X y radiación. Parecería que México es un gran productor de tecnología, pero al contrario, más de la mitad de estas exportaciones las llevan a cabo empresas transnacionales. (Rodríguez, 2011)

Es por esto que el desarrollo de nuevos productos funcionales es tan importante en nuestro país. La industria y la investigación en esta materia deben crecer y buscar que la calidad de vida de los pacientes mejore día a día.

PLANTEAMIENTO

Lo anterior muestra el difícil medio que diariamente enfrentan las personas con discapacidad en México. Al momento de tener una enfermedad o accidente y quedar discapacitado, uno se encuentra en total desventaja.

Según la Dra. Margaret Chan, Directora General de la Organización Mundial de la Salud *“la mayoría de nosotros tendrá alguna discapacidad ya sea temporal o permanente en algún punto de nuestras vidas. Debemos hacer más para romper con las barreras que segregan a los discapacitados, llevándolos en muchos casos a la marginación social”*. (WHO, 2011).

Existe una problemática importante en materia de discapacidad a nivel mundial, y en nuestro país es aún mayor teniendo una población considerable que va en aumento año con año. La rehabilitación es una herramienta importante para que los pacientes logren una autosuficiencia plena y tengan una vida placentera.

El apoyo a los discapacitados en nuestro país no es óptimo y la rehabilitación no tiene seguimiento lo que genera una desventaja social importante. Siendo la población con discapacidad motriz el grupo más grande y haciendo uso de la rehabilitación como una herramienta de integración social nos podemos hacer la siguiente pregunta.

A falta de una política de salud adecuada y de productos accesibles, ¿cómo hacer posible el desarrollo de nuevos objetos para la discapacidad motriz que, aplicando la rehabilitación puedan brindar una mayor autosuficiencia a los pacientes, tener un mayor conocimiento de su progreso y con ello mejorar su calidad de vida?

2. SISTEMA DE DESARROLLO

Se planteó la estrategia de la propuesta relacionando la rehabilitación con el desarrollo de objetos favorezcan la autosuficiencia de los discapacitados.

OBJETIVO GENERAL

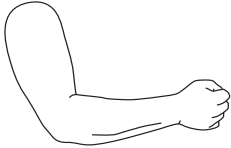
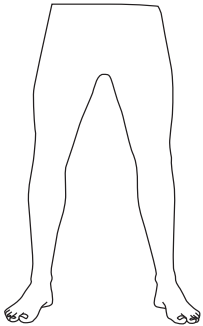
Ofrecer una alternativa a personas con discapacidad a través del diseño de productos accesibles, que permitan mejorar mejorar su autosuficiencia.

Para lograr el objetivo planteado a través del diseño industrial y del diseño de productos, se tomaron en cuenta dos grandes parámetros: la clasificación de extremidades y las etapas de crecimiento del cuerpo humano, además, cuatro variables cruzadas ayudarán a generar una matriz de desarrollo en deficiencias motoras y conducirán al la creación de productos con diferentes características.

Extremidades	Etapas de Crecimiento	Variables
Miembros superiores	Embarazo	Aparatos móviles o trasladables
Miembros inferiores	Nacimiento	Aparatos fijos
Tronco / Espalda	Infancia	Con asistencia Electrónica
	Jóvenes / Adultos	Sin asistencia Electrónica.
	3a Edad	

Tabla.2. 1 Parámetros tomados en cuenta para el sistema de desarrollo.

La oportunidad que se presenta a través de la matriz de desarrollo en deficiencias motoras es una estructura de investigación integral en lo que se refiere a miembros superiores, inferiores y la parte media del cuerpo humano. Cada variable abre las puertas a proyectos que se complementan entre sí. En rojo se muestra el campo de acción de este proyecto de tesis. (Fig. 2.1)

EXTREMIDADES		EMBARAZO		NACIMIENTO	
 Superiores	Mano	M	F	M	F
		A	-A	A	-A
	Antebrazo	M	F	M	F
		A	-A	A	-A
	Brazo	M	F	M	F
		A	-A	A	-A
Tronco	M	F	M	F	
	A	-A	A	-A	
 Inferiores	Muslo	M	F	M	F
		A	-A	A	-A
	Pierna	M	F	M	F
		A	-A	A	-A
	Pie	M	F	M	F
		A	-A	A	-A

VARIABLES

M	Móvil / Trasladable	F	Fijo
A	Asistido electrónicamente	-A	No asistido electrónicamente

Fig.2. 1 Sistema de desarrollo industrial y tecnológico en deficiencias motoras.

	INFANCIA		JÓVENES / ADULTOS		3a EDAD	
	M	F	M	F	M	F
	A	-A	A	-A	A	-A
	M	F	M	F	M	F
	A	-A	A	-A	A	-A
	M	F	M	F	M	F
	A	-A	A	-A	A	-A
	M	F	M	F	M	F
	A	-A	A	-A	A	-A
	M	F	M	F	M	F
	A	-A	A	-A	A	-A
	M	F	M	F	M	F
	A	-A	A	-A	A	-A



Campo de Acción / Tesis
PROPUESTA DE DISEÑO

PROBLEMÁTICA

Se relacionó la problemática de las personas con discapacidad y el contexto en el que se desenvuelven con la rehabilitación y la asistencia electrónica.

A partir de esta relación se establecieron tres ámbitos en los que dicha problemática tiene un claro impacto:

Impacto político - social

- Poca experiencia en desarrollo de equipo médico como prótesis y órtesis. Generación de importación.
- Poco presupuesto destinado a investigación en el ramo médico.
- No existe cooperación entre instituciones privadas y aquellas del Estado. Trabajo multidisciplinario.
- Desconfianza en sistema de salud mexicano.

Impacto socio - económico

- Pacientes no asegurados, no hay acceso a tratamiento.
- Tratamientos y terapias en el sector privado.
- Cirugías innecesarias e inaccesibles.
- Ignorancia de los pacientes. Relación médico - paciente.

Impacto socio - cultural

- Problema cultural y psicológico. Sociedad - pacientes.
- Infraestructura inadecuada. Servicios deficientes.
- No hay seguimiento de los pacientes, la mayoría de la veces ellos mismos adoptan esa responsabilidad. Historia Clínica.



DEFICIENCIAS MOTORAS Y LÍNEAS DE INNOVACIÓN

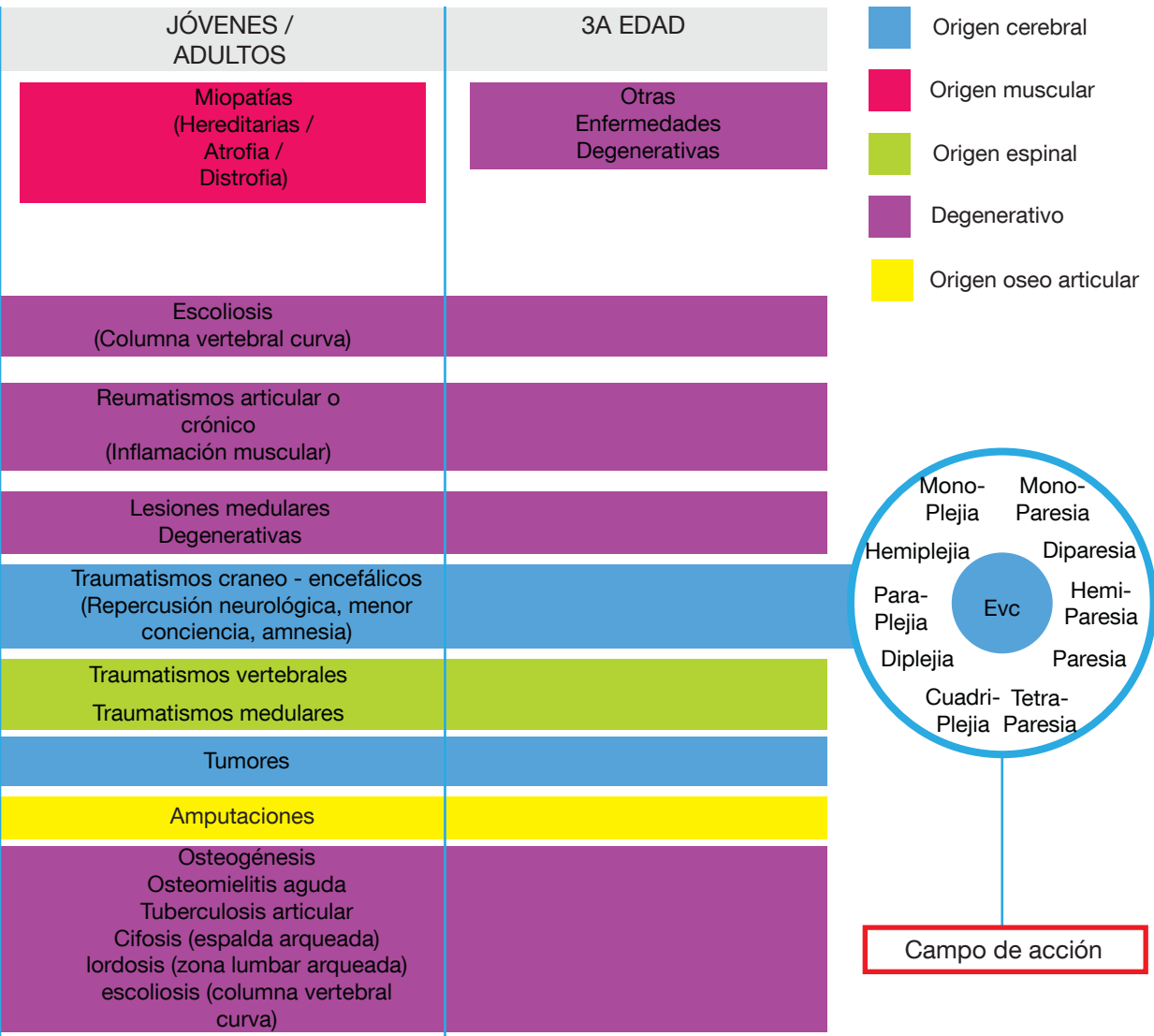
Las variables mencionadas en el objetivo general nos permitieron generar un esquema de diseño estratégico de un proyecto a largo plazo. Bajo este esquema se estableció de manera clara el aporte de esta tesis en términos de diseño de producto.

Es a través de estas variables que se abren líneas de innovación.

EMBARAZO	NACIMIENTO	INFANCIA
Madre o padre portador	Espina bífida (Espina partida, columna vertebral sin cerrar)	Parálisis cerebral (Problemas en desarrollo cerebral)
Miopatía de duchenne	Luxación congénita en caderas (articulación malformada)	Miopatía de duchenne (Distrofia muscular)
Miopatía de landouzy-dejerine	Artrogriposis (Contracturas en articulaciones)	
	Poliomielitis	

Estas áreas de innovación se generaron a partir de un análisis sobre las posibles deficiencias motoras, su causa u origen y la edad en la que tienden a desarrollarse. En este esquema también se definió el campo que se atacará con el producto a diseñar y en el que profundizaremos más adelante como parte de la investigación. (Fig. 2.2)

Fig.2. 2 Deficiencias Motoras por origen y su relación en el crecimiento.
Fuentes: *La Discapacidad Motora*, 2006.



3. MISIÓN DEL SISTEMA

El objetivo general del sistema de desarrollo deriva en una serie de puntos que constituyen la misión del proyecto:

- **Es posible el desarrollo de productos funcionales que sean accesibles a personas con deficiencias motoras.**
- **Es posible cambiar el impacto social que las personas con discapacidad tienen en su entorno a través de la estética y apariencia del equipo que utilizan.**
- **Al hacer más accesible la rehabilitación para los pacientes a través del desarrollo de nuevos productos, ellos lograrán una autosuficiencia más rápida y eficaz.**
- **El cambio en técnicas de producción permite establecer lineamientos industriales para el diseño y desarrollo de estos productos.**

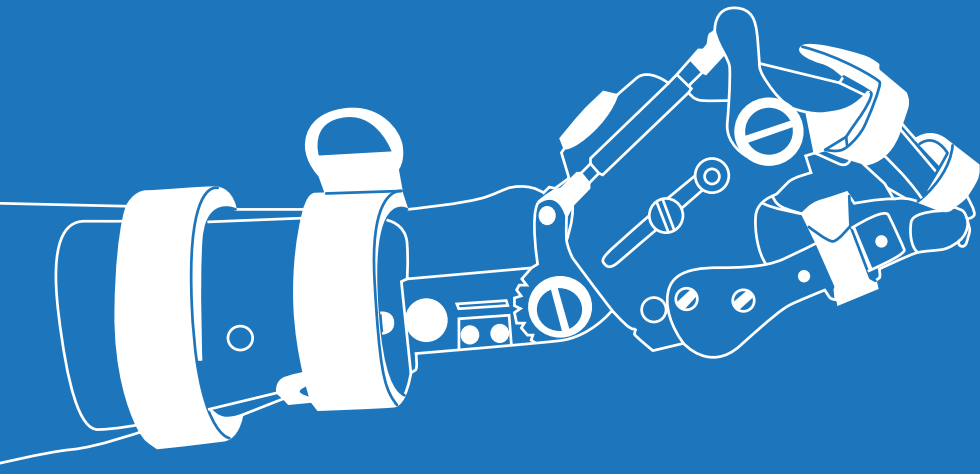
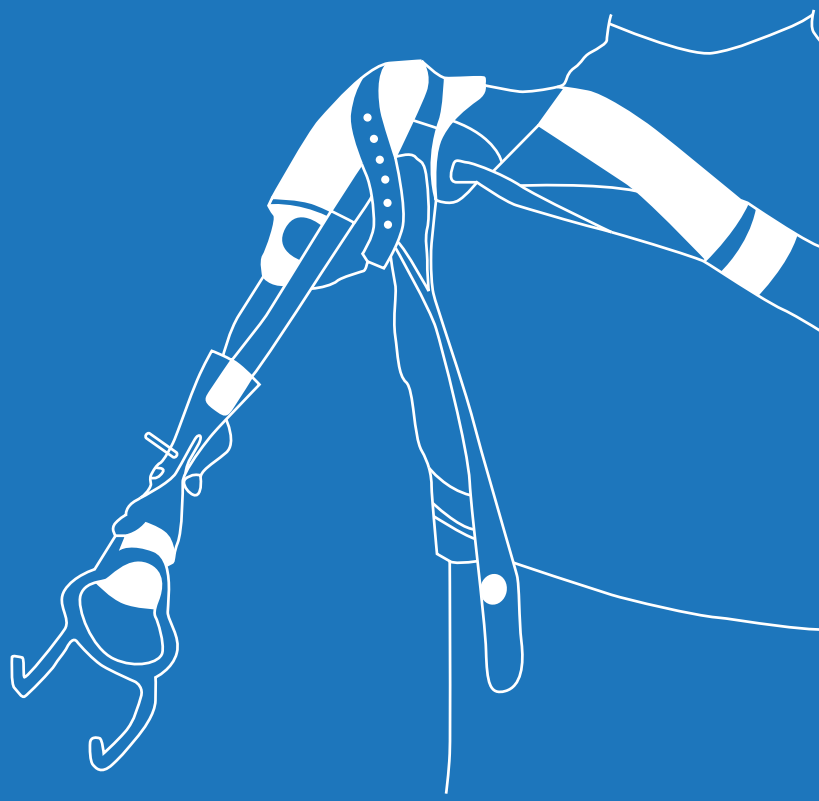
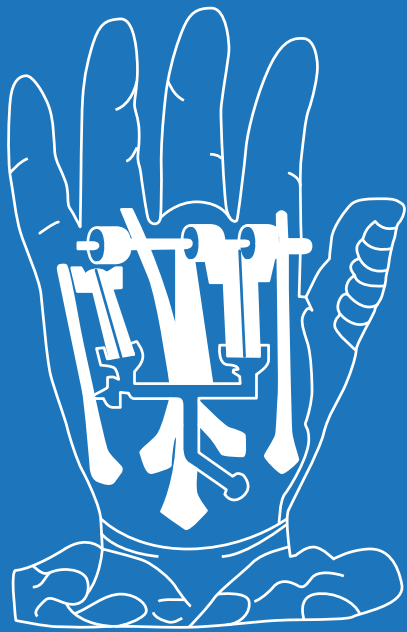
4. CAMPO DE ACCIÓN

A partir de un análisis de las deficiencias motoras surge un campo en el que se puede iniciar con este plan a largo plazo, enfocándose en las extremidades superiores afectadas por un evento vascular cerebral. El proyecto lleva por nombre:

Exoesqueleto para rehabilitación de miembro superior en pacientes hemipléjicos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- **Hacer uso de la rehabilitación física como herramienta para generación de objetos accesibles al usuario, aplicando el Diseño Industrial y la Ingeniería.**
- **Diseñar un objeto funcional que ayude a una rehabilitación más eficiente de los pacientes.**
- **Generar conocimiento a partir del cual se generen lineamientos que ayuden a que se produzcan más de estos objetos en nuestro país, productos que estén al alcance de los pacientes.**
- **Mejorar a través del diseño la integración de los pacientes a la sociedad y el impacto que ellos tienen en la misma.**
- **Impulsar el apoyo a la discapacidad motriz en nuestro país, así como a la investigación y desarrollo en esta materia a través de un enfoque multidisciplinario.**



5. EL DISEÑO INDUSTRIAL COMO ALTERNATIVA

ACCIONES PREVIAS ORIENTADAS AL MIEMBRO SUPERIOR

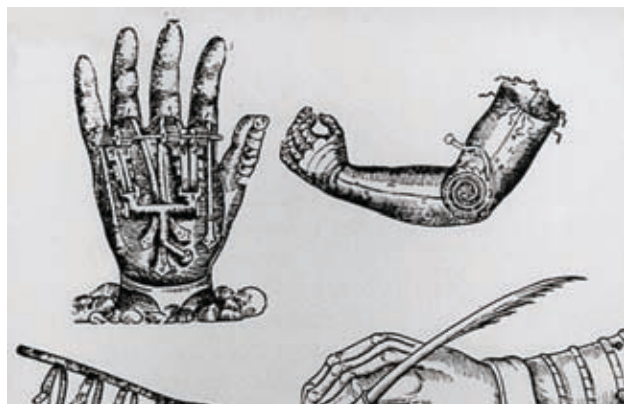
Prótesis

En sus inicios las prótesis consistían simplemente en elementos que sustituían el miembro amputado.

Las primeras prótesis registradas fueron fabricadas en hierro. En 218 AC el general romano Marco Sergio perdió el brazo durante la guerra y se le colocó una mano de hierro. Siglos después, en 1508, el General del Imperio Alemán Gottfried von Berlichingen usó otra igual, pero los dedos y muñeca podían ser flexionados de manera pasiva (aplicando presión manualmente).

El primer brazo artificial móvil fue fabricado por Ambroise Paré. Los dedos podían abrirse o cerrarse de forma pasiva. En 1818 Peter Beil fabricó la primera prótesis de antebrazo con dedos que podían abrirse moviendo el tronco y el hombro; este sistema se usó posteriormente para la flexo-extensión del codo. Esta prótesis fue la punta de lanza de las prótesis mioeléctricas.

Fig.5. 1. A la izquierda, prótesis de hierro y a la derecha, primer brazo artificial móvil



En 1912 se desarrolló “Hook”, un dispositivo que se abría por medio del movimiento de la cintura escapular de la muñeca. Éste se cerraba por medio de un tirante de goma. En Alemania se fabricó el gancho “Fischer”, el cual ofrecía mayor potencia y sujeción de los objetos.

También en 1912 F.F. Simpson fundó la “American Limb Maker Association” en la que se unieron todos los fabricantes de prótesis de Estados Unidos. Gracias a esta alianza los materiales y la investigación sobre miembros artificiales aumentaron, apareciendo entonces aparatos fabricados con aleaciones de aluminio y plásticos. Esta alianza tuvo expansión mundial después de la Primera Guerra Mundial.

Actualmente las prótesis son de alta tecnología, funcionan con circuitos eléctricos y materiales que se asemejan a la piel natural. También ya se fabrican los primeros brazos biónicos, los cuales se mueven como si fueran reales por impulsos eléctricos conectados al sistema nervioso de los pacientes.

Estos aparatos de alta tecnología brindan una ayuda considerable a los usuarios.

Fig.5. 2. A la izquierda, gancho prostético y a la derecha, Limb, prótesis de nueva generación



Biomecánica y exoesqueletos

Los exoesqueletos tienen una historia bastante breve y la mayoría están enfocados a multiplicar la fuerza de los operadores.

El primer exoesqueleto llamado “Hardiman” fue fabricado por General Electric en 1966. Se esperaba que su uso fuera para el cargamento de aeronaves, pero nunca llegó a terminarse ya que aunque podía levantar 340 kg, el artefacto pesaba 750 kg. El proyecto nunca se terminó.

La ciencia ficción ha impulsado el desarrollo de estos artefactos, labor que han llevado a cabo sobre todo instituciones militares. Japón ha tenido un papel importante, en 1990 desarrolló el Power Assist Suit y reveló en la siguiente década el proyecto HAL, el cual ya se encuentra a la venta y se usa principalmente para levantar pacientes.

El desarrollo de estos aparatos también ha aumentado en Estados Unidos, como el Berkeley's Lower Extremity Exoskeleton (BLEEX) y el XOS, el exoesqueleto más avanzado hasta nuestros días desarrollado por Sarcos para el ejército de los Estados Unidos.

Fig.5. 3. A la izquierda, exoesqueleto Hardiman y a la derecha exoesqueleto XOS Sarcos



Asistencia robótica y rehabilitación

Algunas instituciones han puesto a prueba el uso de robots para la rehabilitación de pacientes.

Caso 1. Academia Americana de Medicina Física y Rehabilitación

En el año 2002 se puso a prueba el funcionamiento de terapia asistida con un robot contra la terapia convencional. El estudio contempló a 27 personas, todos recibieron terapia durante una hora diaria por 2 meses. Un grupo recibiría la terapia asistida por el robot y el otro la terapia convencional.

El robot con el que se realizó el estudio contaba con 6 grados de libertad y tres funciones diferentes, la de realizar los movimientos, asistir al paciente y como resistencia a los movimientos del individuo (Fig 1.9).

Los resultados al final de la prueba mostraron que durante los primeros 2 meses de recibir la rehabilitación, el robot lograba un mayor avance en la recuperación del paciente. A los 6 meses de rehabilitación tanto el robot como la rehabilitación convencional mostraban los mismos resultados.

La Academia Americana de Neurología realizó un estudio similar y concluyó: *“Cuando se añade robótica a un sistema de rehabilitación estándar, ésta brinda estrategias novedosas de rehabilitación enfocadas a reducir el deterioro y aumentar el desempeño de la función motora”* (Lum et. al., 2002).

Fig.5. 4. Terapia asistida con robots.



Caso 2 - Universidad de Leeds (UK)

Robot desarrollado en 2009, asistente de terapia del miembro superior (Jackson et. al. 2006). El robot aplica el sistema iPAM (Inteligente Movimiento Neumático de Brazo), el cual se ajusta de forma análoga a la manera en que un terapeuta toma el brazo del paciente para realizar ciertos ejercicios y memoriza los movimientos, ejecutándolos con la fuerza y la longitud necesarias.

Por último, el prototipo del producto fue presentado a 26 personas con una discapacidad motora en el miembro superior. Los resultados fueron muy satisfactorios ya que los pacientes no tuvieron ningún problema durante su uso. Además, se comprobó la eficiencia del prototipo, ya que éste realizó alrededor de 13,000 movimientos durante más de 300 horas.

Caso 3 - Interfaces Virtuales - Universidad de Ulster (UK)

Creación de entornos virtuales personalizables en los que los usuarios interactúan a través de un monitor y realizan ejercicios de rehabilitación. Cuenta con sensores de movimiento, generando una retroalimentación con el paciente, guardando sus avances y ayudando a que sea más consciente de los movimientos que realiza.

Al final del proyecto se realizaron pruebas con 10 personas. Los resultados fueron agradables, ya que 8 de 10 personas opinaron que los juegos eran fáciles de usar, que lo volverían a jugar y los controles son intuitivos. (Burke, et. al., 2009)

Fig.5. 5. A la izquierda, sistema iPAM y a la derecha, aplicación de interfaces virtuales



6. INVESTIGACIÓN

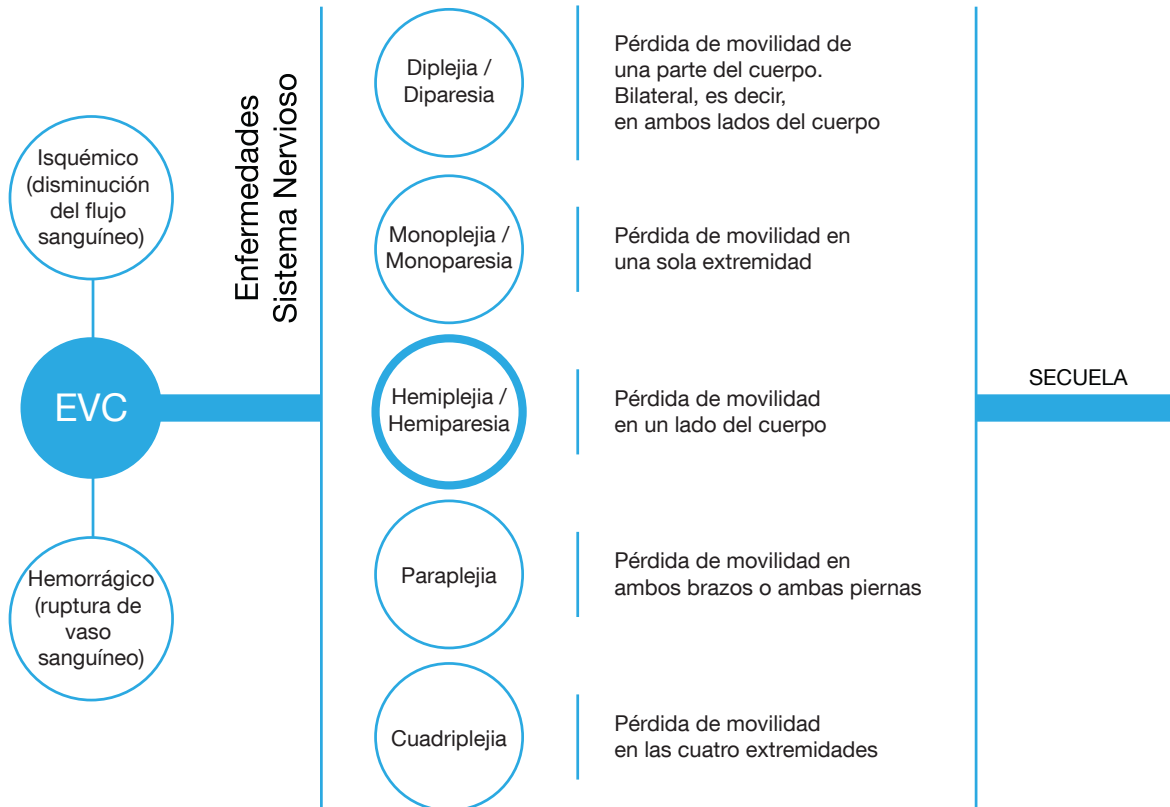
El desarrollo de un exoesqueleto de rehabilitación de brazo para pacientes hemipléjicos es el resultado de un trabajo multidisciplinario en el que la investigación médica era indispensable.

Este capítulo documenta la hemiplejía y sus principales causas, así como la espasticidad, secuela de este tipo de enfermedades. Además, se exponen los tipos de rehabilitación y el proceso para generar el perfil del usuario.

EVC Y ESPASTICIDAD

La enfermedad o evento vascular cerebral (EVC) consiste en una serie de síntomas que llevan a una alteración parcial o global de la función cerebral.

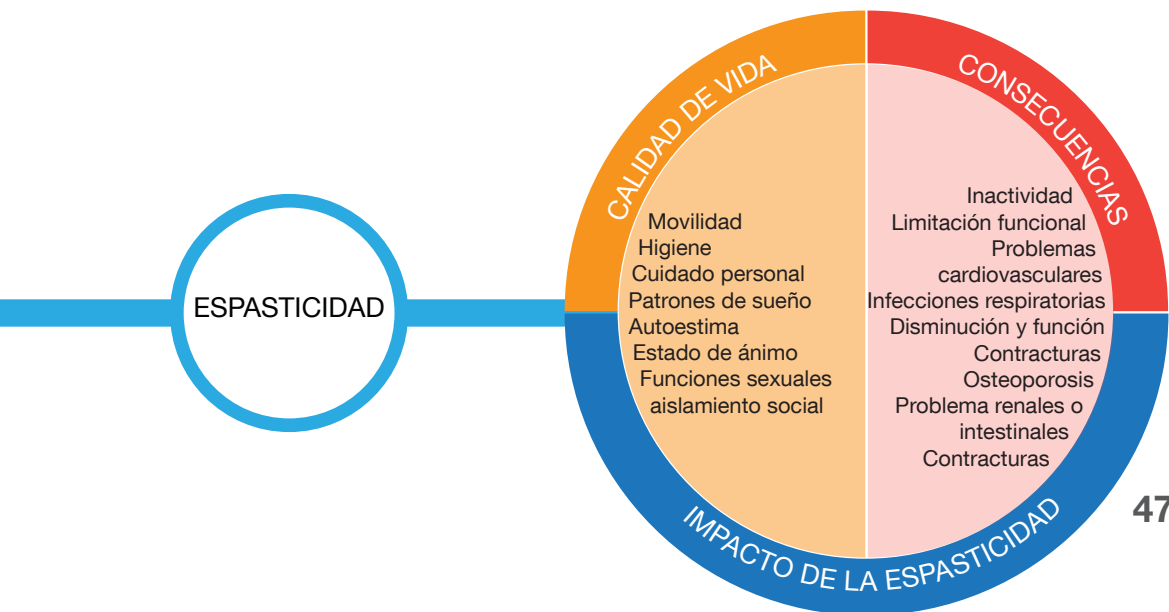
Fig.6. 1 EVC y Espasticidad. Sus causas e impacto en los usuarios.



El EVC puede ser isquémico o hemorrágico. El EVC isquémico consiste en la disminución de flujo sanguíneo al cerebro y se da en un 85% de los casos. Por otro lado el hemorrágico se debe a la fractura de un vaso sanguíneo (traumatismo cerebral) y representa aproximadamente un 15% de los casos totales.

El EVC tiene como consecuencia diferentes enfermedades del sistema nervioso (Fig. 6.1). La hemiplejía consiste en la pérdida de movilidad en un lado del cuerpo, tanto en la pierna como en el brazo.

Una de las secuelas más presentes de este tipo de enfermedades es la espasticidad. Ésta se define como un trastorno motor en el que algunos músculos se mantienen contraídos, provocando la rigidez y el acortamiento de los músculos e interfiriendo con los movimientos de las personas. (Cirio, 2004). Es importante mencionar que la calidad de vida de los usuario se ve directamente afectada por esta trastorno.



La espasticidad se presenta en tres diferentes niveles: leve, moderado y severo.

- LEVE. Limitación de la movilidad mínima. La función muscular no se ve comprometida.
- MODERADO: Disminuye el rango de movimiento y hay contracturas así como la necesidad de asistencia al caminar. La prensión y la higiene de la mano se vuelven complejas, siendo necesario el uso de adaptaciones.
- SEVERO. Hay un incremento en el tono muscular, la movilidad disminuye y las contracturas se presentan con mayor frecuencia, dificultando aun mas las diferentes posturas.

Existen varias escalas para medir la espasticidad y evaluar la movilidad en las extremidades.

- Escala de Brunnstrom. Evalúa la recuperación tomando como base el estado muscular. (Tabla 6.8)
- Escala de Tardieu. El examinador mueve los músculos a velocidades rápidas y lentas para evaluar la resistencia del movimiento.
- Escala de Ashworth. Consiste en la evaluación de la espasticidad en base al rango de movimiento.

Se realizó un análisis para definir la escala que serviría para definir el estado del usuario en terminos de espasticidad. Se tomó la escala de Brunnstrom como referencia gracias su división clara de las seis etapas de la espasticidad. Las otras dos, aunque brindan mayor exactitud a los terapeutas, tienen un nivel menor de objetividad. (Quiñones, et. al., 2009)

ETAPA / ESTADO DE ESPASTICIDAD	HOMBRO	CODO	MANO
1. Hipotonía o flacidez	Ausencia total de movimiento Flacidez		
2. Comienzo espasticidad	Aparecen sinergias Espasticidad		Nula flexión activa de los dedos
3. Espasticidad	Movimientos voluntarios - sinergias Estancamiento de hemiplejía - no hay evolución Primeros movimientos articulados		Presión en conjunto - Cierre de puño Presión de gancho Estabilización de muñeca
4. Movimientos complejos	Flexión a 90°	Pronosupinación a 90°	Flexión y Extensión de la muñeca Supinación 90° Presión Lateral Extensión asistida de los dedos
	Se lleva la mano a la región sacra inhibiendo el músculo pectoral mayor, uno de los más hipertónicos		
5. Combinaciones de Movimientos	Flexión a 90° con el codo en extensión Pronosupinación con codos extendidos y brazos separados 90° (recuperación casi completa) Independencia relativa de las sinergias		Presión Palmar (pluma) Presión esférica (pelota) Presión cilíndrica (vaso) Extensión voluntaria de los dedos
6 - Espasticidad casi desaparecida	Movimientos articulares aislados Coordinación "normal"		Todo tipo de presión sin problema Extensión completa y voluntaria de los dedos Movimientos independientes de los dedos Ejecución de actividades complejas

REHABILITACIÓN FÍSICA

La rehabilitación de los pacientes consta de varias herramientas cuyo objetivo primordial es que puedan recuperar su independencia (García Diez, 2003).

La terapia física es una herramienta de suma importancia para atacar la espasticidad (Flores Olmedo, 2008), e incluye el uso de agentes físicos externos como:

- Hidroterapia. Aplicación de agua con fines terapéuticos
- Termoterapia. Calentamiento superficial
- Crioterapia. Disminución de lesiones a través del frío
- Electroterapia. Contracciones musculares a través de electrodos
- Presoterapia. Por medio de presión neumática

Además de la terapia física existen otras medidas dirigidas a la rehabilitación como:

- Órtesis estáticas y dinámicas
- Prótesis convencionales
- Prótesis mioeléctricas
- **Asistencia electrónica o robótica.**

Existen varios métodos para atacar la movilidad muscular. Uno de ellos es a través de asistencia electrónica y repetición de movimientos. Ésta permite que los usuarios aprendan de nuevo los movimientos del brazo a base de repetición, ayudando al cerebro a memorizarlos. Esto fue posible gracias a la aplicación de conocimientos en robótica y electrónica por parte de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, con quien se trabajó de manera conjunta desde el inicio del proyecto.

REHABILITACIÓN
FÍSICA

Agentes
físicos

Termoterapia
Vobroterapia
Crioterapia
Electroterapia
Hidroterapia
Medicamentos
Cirugía

Órtesis

Inmovilización
Dinámicas

Prótesis
convencio-
nales

Evaluación
física

Prótesis
mioeléctri-
cas

Reemplazo de extremidades

Asistencia
electrónica /
robótica

Pérdida de función muscular
Imitación de movimientos
Fijos
Móviles (no para rehabilitación)
Incremento de fuerza

DEFINIENDO AL USUARIO

El trabajo en conjunto con especialistas en terapia física nos permitió definir el usuario al que el objeto va dirigido. Se tomó en cuenta toda la información proporcionada acerca de la espasticidad y los pacientes para generar un perfil.

Se tomaron en cuenta tres grupos de edad para elegir el más adecuado.

EDAD		
0 - 17 / 18	18 - 50 / 60	50 / 60 - ?
Pleno crecimiento Crecimiento a base de rehabilitación Necesidad de crecer con el producto	Madurez ósea - Cierre de la epífisis Estado de salud adecuado Mayor capacidad y constancia	Enfermedades degenerativas presentes Menor constancia de rehabilitación Necesidad de asistencia

Tabla.6. 2 Características de los diferentes grupos de edad frente al EVC

El exoesqueleto no es una clase de producto que se pueda restringir a un rango de edad, por lo que se clasificó a las diferentes edades por condición en las articulaciones. El principal parámetro que se tomó en cuenta fue la madurez ósea, la cual se alcanza en algún punto de la adolescencia y cuando se llega a la tercera edad las articulaciones se vuelven frágiles. El rango de edad considerado principalmente fue de 18 a 50 años. Otro factor importante es el estado de ánimo y la disposición de los pacientes hacia su recuperación, en el caso de las personas más jóvenes existe una actitud más positiva, además de que hay mayor probabilidad de que el paciente mismo lleve a cabo la rehabilitación. Se consideró una persona joven también debido a la posibilidad de relacionarnos con un usuario voluntario.

Es importante mencionar que no se incluyeron enfermedades congénitas debido a la dificultad y complejidad que presentan en los pacientes.

Características del paciente Espástico

La espasticidad en los adultos es resultado de enfermedades como la esclerosis múltiple, EVC, trauma craneal y medular, parálisis cerebral y otras enfermedades neuro - degenerativas.

Los patrones más frecuentes que presentan estos pacientes en el miembro superior son los siguientes (Fig. 6.3):

1. Hombro en aducción y rotación interna con arco en flexión. El brazo esta apretado contra el tórax y el codo se mantiene en flexión. Esto limita actividades como lavarse o ponerse la ropa.

2. Codo en flexión. Extender el brazo se vuelve algo muy difícil para los usuarios.

3. Antebrazo en pronación. Esta postura inhibe la supinación, por lo que muchas actividades de la vida diaria son restringidas.

4. Muñeca en flexión.

5. Puño cerrado. Los dedos se mantienen flexionados contra la palma, enterrando en algunos casos las uñas en la palma de la mano. La posibilidad de agarrar y manipular objetos se ve afectada.

6. Deformidad del pulgar.

Existen otros patrones que se dan en extremidades inferiores y afectan la forma de caminar y a la larga la postura de los pacientes.

1



2



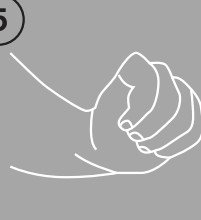
3



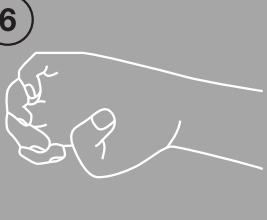
4



5



6



Tomando en cuenta la información presentada se llegó a un usuario con las siguientes características:

- Mujer / hombre joven con una madurez ósea adecuada.
- Estado de salud bueno que se refleja en una capacidad de recuperación alta y en que el usuario puede comunicarse de manera eficaz en caso de alguna emergencia.
- Un nivel de espasticidad de nivel 3 según la escala de Brunnstrom. Es decir, con un nivel de espasticidad moderado.
- Rehabilitación durante 6 meses previos al uso del producto.
- Por medio de la vinculación con los terapeutas, se espera que el producto esté diseñado de acuerdo a la antropometría mexicana.
- Un nivel socio - económico medio.
- Contar con recomendación médica previa para el uso del producto.

Israel - Nuestro usuario de prueba

Israel es un paciente hemipléjico con el que se tuvo el privilegio de trabajar a lo largo del proyecto. Las pruebas con simuladores y modelos funcionales se realizaron con su apoyo. De acuerdo a su estado de espasticidad se canalizaron otros pacientes con los que se espera que el producto sea evaluado en el futuro.



7. PERFIL DE DISEÑO DE PRODUCTO

Se trata de un artefacto portable asistido electrónicamente para la rehabilitación del miembro superior en pacientes con hemiplejía o hemiparesia que presenten espasticidad.

El producto está contemplado para pacientes mexicanos que ya hayan alcanzado la madurez ósea (18 años) y para aquellos que aún no presentan un deterioro óseo considerable. También se debe tomar en cuenta que los pacientes deben contar con un nivel de espasticidad 3 en la escala de Brunnstrom, lo equivalente a aproximadamente 6 meses de rehabilitación previos.

La configuración formal es uno de los ejes principales del producto. Éste debe transmitir sobre todo seguridad y confianza. En México no contamos con una cultura de la discapacidad, en la mayoría de los casos la gente se muestra incómoda alrededor de una persona de esa condición, aún más cuando observan que carga con un artefacto usualmente muy grande y agresivo. El exoesqueleto debe generar un impacto positivo en el contexto de los pacientes, ya que esto es primordial para lograr el sentimiento de independencia y autosuficiencia.

La función principal del exoesqueleto será atender la necesidad de los usuarios de rehabilitarse. Los movimientos que realizará serán los siguientes:

- Apertura de dedos
- Flexión / extensión de muñeca
- Pronación y supinación de codo
- Flexión de codo

El aparato debe permitir al usuario realizar la terapia en su casa sin la necesidad de acudir al médico. El exoesqueleto estará dividido en módulos que podrán usarse por separado dependiendo el tipo de terapia que se quiera realizar.

Conforme se vaya avanzando con los movimientos el exoesqueleto bajará su nivel de asistencia, de tal manera que la acción del paciente en su propia terapia irá en aumento. Esto se logrará con terapias reguladas tanto en tiempo como en los movimientos mismos.

La ergonomía del exoesqueleto es primordial para su diseño. Como se mencionó, el producto estará dirigido a pacientes mexicanos, por lo que las medidas antropométricas se tomaron de personas mexicanas. Las consideraciones ergonómicas más importantes son:

- Seguridad del paciente (paro de emergencia)
- Rangos de movimiento exactos y con regulación exacta
- Confort, es decir, puntos como el sudor o el sobrecalentamiento, así como los elementos que sujetaran el aparato al brazo
- Fuerzas controladas o la suavidad de movimiento
- Retroalimentación con el paciente, como su ritmo cardíaco o la fatiga.
- Códigos de uso (visuales, audio, táctiles, etc.)
- Ligereza
- Portabilidad
- Interface amigable con el usuario

En términos de producción y distribución el artefacto es comparable con órtesis de alta tecnología provenientes de Estados Unidos con un valor de 700 dólares, y con aparatos de rehabilitación cuyo valor asciende a los 7,000 dólares. Se espera que el producto se coloque entre estos dos valores, ofreciendo una relación costo - beneficio mayor a la de los productos mencionados.

La estrategia es que la distribución se haga a nivel gubernamental o institucional de tal manera que el artefacto sea más accesible. Se tiene contemplado producir mensualmente entre 50 y 100 piezas, es decir, se inicia con una baja producción. Esto dependerá también del número de pacientes que tengan las instituciones.

En términos de producción, el producto debe ser accesible a los usuarios. Para su producción se pueden considerar los siguientes materiales:

- Motorreductores
- Servomotores
- Actuadores
- Aluminio
- Poliuretano (resinas flexibles)
- Fibra de carbono
- Polietileno
- Nylon
- Neopreno
- Hule espuma

8. GENERANDO EL CONCEPTO

El proyecto tiene una relación estrecha con biomecánica y el término exoesqueleto. Para su desarrollo fue necesario definir los límites de estos términos.

Exoesqueleto. Compuesta del griego *exo*, “fuera”, y *esqueleto*, “conjunto de piezas duras y resistentes, por lo regular trabadas o articuladas entre sí, que da consistencia al cuerpo de los animales, sosteniendo o protegiendo sus partes blandas”.

Biomecánica. Ciencia que estudia la aplicación de las leyes de la mecánica a las estructuras y los órganos de los seres vivos. (DRAE, 2001)

Tomando en cuenta estas dos definiciones y con el objetivo de entender mejor el proyecto, se estableció una definición propia. **El exoesqueleto consiste en un elemento articulado externo al cuerpo humano el cual se relacionará mecánicamente con sus propias estructuras u órganos, orientado a la rehabilitación.**

Para el diseño del producto y su conceptualización se analizaron los objetos que ya existen en el mercado, utilizando un modelo de ramificación que parte desde el exoesqueleto como concepto y culmina con un análisis de los productos presentes y futuros y sus características individuales. (Fig 8.1)

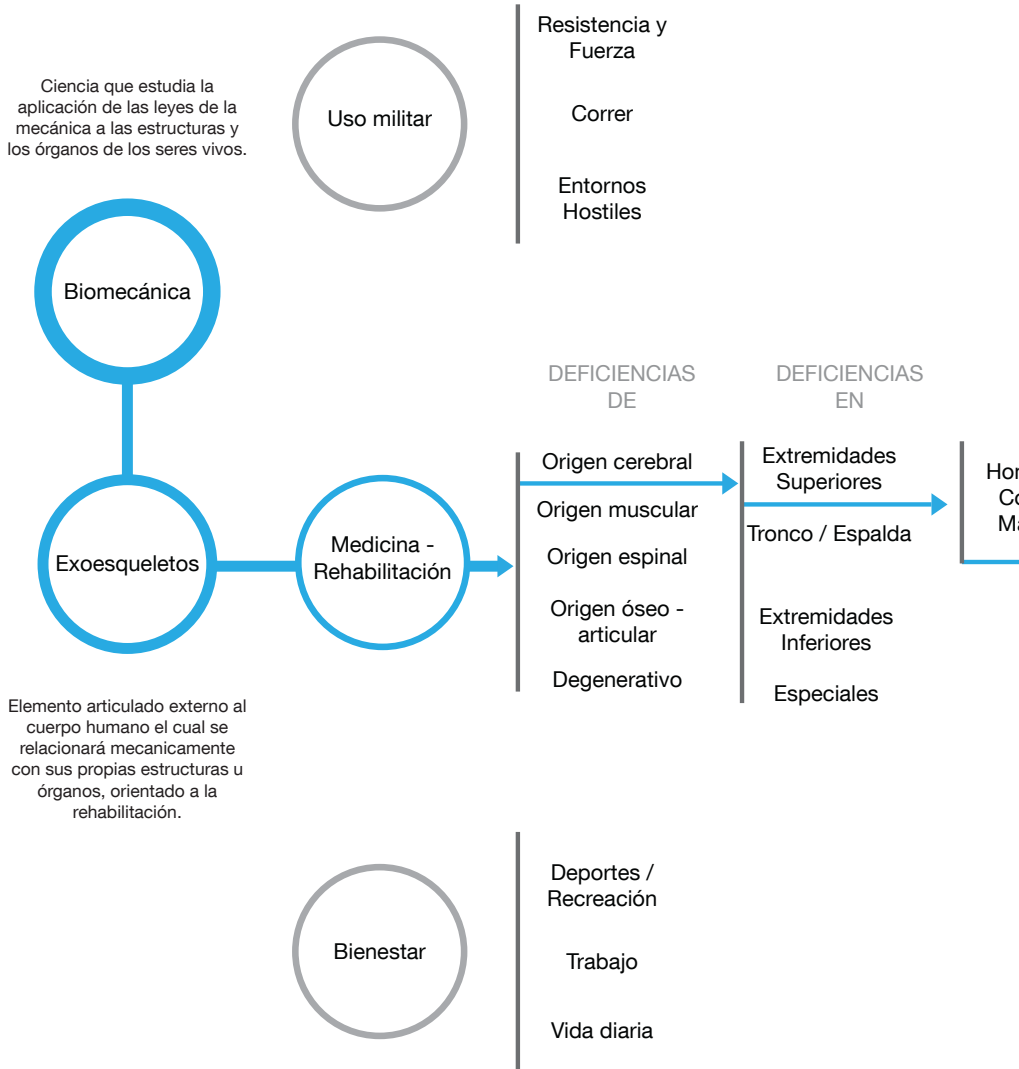
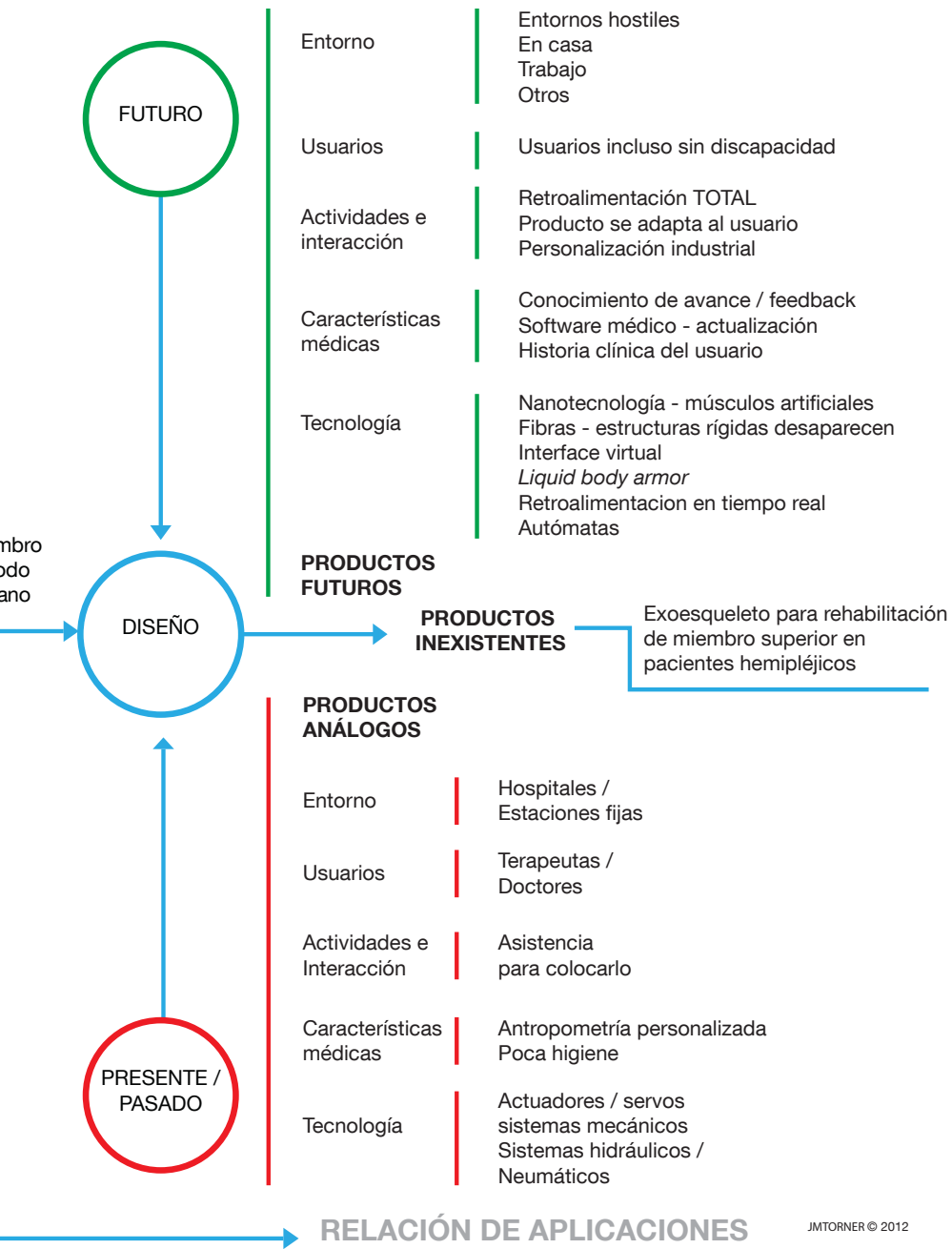


Fig.8. 1. Ramificación y conceptualización



PRESENTE

Se elaboró un mapa de brechas en el que se presentaron los productos que se han desarrollado hasta ahora y que tienen cierta relación con el producto que se buscó diseñar. Se llevó a cabo un análisis de sus características más importantes, su configuración formal o estética, ergonomía, función práctica e interacción del usuario, además de su producción (Fig. 8.2).

Aplicación robótica

La mayoría de los objetos desarrollados aplicando la robótica tienen un objetivo militar y aunque la mayoría de éstos podrían aplicarse en el campo médico, generalmente esto queda en segundo plano.

SAM Exoskeleton. Diseñado originalmente para la tele-operación en ambientes severos, así como para entrenamiento militar. Entre sus principales características se encuentran los diferentes grados de libertad, los cuales permiten que se mueva como un brazo real.

HAL 5. Una de sus principales características es que se ha vuelto un asistente de marcha para personas discapacitadas y de tercera edad. A largo plazo se espera que sea un asistente de tareas al potenciar la fuerza tanto en extremidades superiores como inferiores.

LOKOMAT. Es un robot totalmente enfocado a la rehabilitación de todo el cuerpo, por lo que cuenta con una estación fija de grandes dimensiones. En este caso el terapeuta es indispensable para la rehabilitación del paciente.

Feedback

En esta categoría se engloban los productos que tienen una retroalimentación directa con el paciente; son objetos orientados a la rehabilitación de pacientes con alguna discapacidad y tienen un enfoque neurológico.

Amadeo, Pablo. Son objetos que ayudan a la rehabilitación del brazo con ayuda de elementos virtuales como videojuegos. Los métodos de rehabilitación usando diseño interactivo e industrial ayudan a que el paciente se identifique mejor con el objeto.

Armeo. Se trata de un robot de estación fija que aunque tiene un diseño enfocado al terapeuta, el paciente cuenta con retroalimentación a través de una PC. Éste, como otros robots, repite los movimientos que el terapeuta realiza previamente.

Valedo. Está dirigido a la rehabilitación de tronco y espalda y aunque requiere cierta asistencia, su uso está dirigido al paciente. Su característica más importante es la interacción en tiempo real que, a través de sensores colocados en la espalda y con ayuda de un monitor, capta la realización de los ejercicios.

Mecánicos

Están diseñados para inmovilizar alguna parte del cuerpo. En este caso se presentan las que cuentan con características más importantes.

Saebo. Su principal característica es que es totalmente mecánico, lo que lo hace más ligero. Enfocado a la rehabilitación de la mano principalmente es un producto que funciona a base de sensores que el terapeuta ajusta previamente. Aunque su diseño está más dirigido al paciente, se necesita asistencia para ponérselo.

Donjoy. Son en su mayoría inmovilizadores postoperatorios, los hay dinámicos y estáticos. Están enfocados a personas altamente activas como deportistas y una de sus principales ventajas es el confort.

- Uso Militar
- Trabajo
- Deportes
- Vida Diaria
- Estudios - Rehabilitación

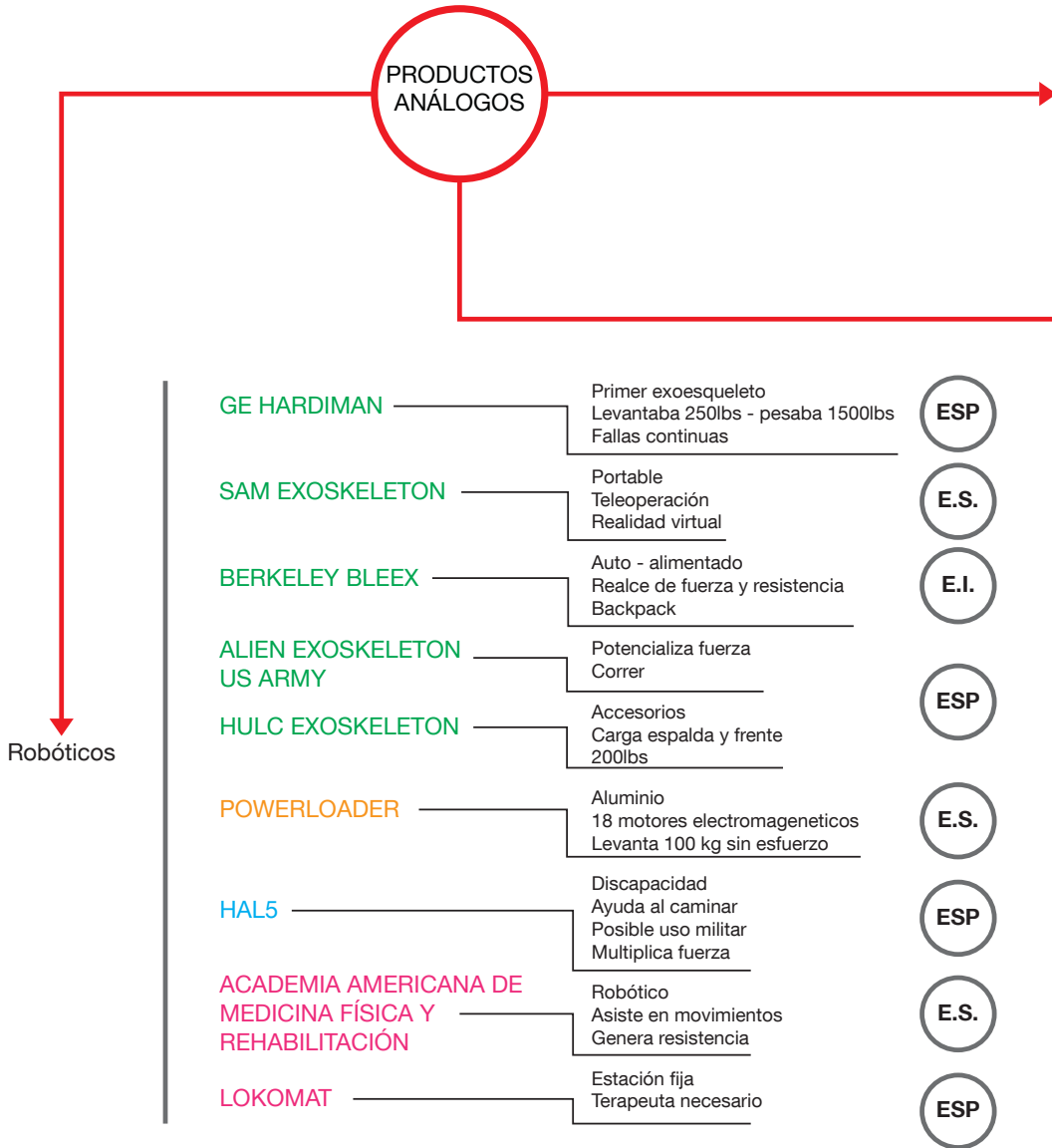


Fig.8. 2. Presente. Cuadro de análisis

Feedback

AMADEO	Rehabilitación de mano	
PABLO	Rehabilitación mano codo	
SISTEMA IPAM LEEDS	Movimientos orientados por terapeuta	E.S.
UNIVERSIDAD ULSTER UK	Desarrollo de videojuegos Retroalimentación en tiempo real	
ARMEO	Enfoque al terapeuta	
VALEDO	Ejercicios Compatibilidad tablets (ipad)	T.E.

Mecánicos

SAEBO	Saebo reach Saebo flex	Mecánico Tensores Tipo guante STROKE	E.S.
DONJOY WRIST	Fibra de carbono Elementos articulados Textiles		E.S.
DONJOY KNEE BRACES	Apoyo en puntos únicos Soporte en articulaciones		E.I.
FORCE TEK	Videojuegos Producto real		
NEWPORT SHOULDER	Inmovilizador Articulado Ajustable Aluminio		
BLEDSEXTENDER BRACES	Aluminio Postoperación		E.I.

- ESP Espalda y tronco
- E.S. Extremidades superiores
- E.I. Extremidades inferiores

	Objeto	Configuración formal	Ergonomía
SAM		Es un objeto completamente de investigación e ingeniería. No existe un acercamiento estético. Aunque es muy pesado visualmente debido a elementos expuestos, se percibe como un objeto de alta tecnología.	Es totalmente portable gracias a la mochila en la parte de atrás, aunque el objeto pesa 7Kg. Lo soportes rígidos no cuentan con soportes suaves, lo cual puede generar incomodidad y lesiones.
HAL5		El producto se ve ligero y fácil de usar, existe una relación estrecha con el usuario. Se percibe alta tecnología y seguridad al no hacer visibles los mecanismos. Resaltan las unidades de poder en azul usando LEDS.	Su peso de 23Kg y el tamaño no permite un movimiento totalmente real y preciso. Las piezas se adaptan y ajustan al cuerpo, aunque los materiales no permiten la respiración.
LOKOMAT		Se enfoca principalmente al terapeuta. La estación de terapia es totalmente funcional, no hay acercamiento estético. Los diferentes elementos indican comodidad y seguridad a los pacientes. Similar a una estación de gimnasio.	Los movimientos son precisos y el paciente se mantiene estable por medio de arneses. Todo se ajusta de acuerdo a las necesidades de los pacientes. Se percibe seguro y confiable.
AMADEO / PABLO		Uso de colores naranja y blanco, mejor identificación con los pacientes e indicación de uso. Seguro y versátil. La estética va dirigida al usuario primario, permitiendo una interacción adecuada y divertida.	Aplicación de formas ergonómicas y materiales óptimos para su uso. Las bandas ajustables se ajustan de mejor manera a la mano, haciéndolo más seguro para los usuarios. Su interfaz es amigable con los usuarios.

Tabla.8. 1 Análisis de Análogos. Parte 1.

Función Práctica

7 Grados de libertad. Movimientos en hombro, codo y muñeca. Flexión / extensión, aducción / abducción, pronación / supinación. Aplicaciones espaciales.

Potenciar los movimientos. Aplicación de un "sistema híbrido". Las señales enviadas por el cerebro a los músculos son captadas en la piel y las articulaciones se mueven de acuerdo al movimiento humano.

Ejercicios de marcha para mejorar los movimientos al caminar. Robots a los lados y en la parte posterior. Retroalimentación con un monitor al frente.

AMADEO: Movimiento de dedos. Flexión y extensión en cada dedo por medio de pistones. PABLO. Sistema de terapia virtual a través de sensores.

Interacción

No es posible ponerselo solo. debido a su tamaño, peso, pues la mochila contiene las baterías. Su aplicación es el control remoto por medio de una interfaz virtual. Enfocado a un grupo de trabajo, no a un usuario específico.

Asistencia para ponérselo, pero cuenta con un mejor ajuste al cuerpo. El aparato se mueve con el cuerpo, no hay interferencia.

Estación fija, necesidad de espacio. Asistencia total del terapeuta. Todo es completamente ajustable, desde adultos a niños. El robot hace los movimientos y la información se envía a la computadora del terapeuta.

Asistencia del terapeuta al inicio. Interacción virtual, retroalimentación en tiempo real con el paciente. El paciente realiza los movimientos que son captados por sensores. Posible viculación con aplicaciones móviles.

Producción / Materiales

Piezas fabricadas por CNC en aluminio. Peso total de 7Kg. Actuadores eléctricos y tarjetas de control en articulaciones.

Cuenta con carcasas de plástico que cubren los actuadores. Cuenta con sensores de ángulos en las articulaciones y sensores de reacción en el piso.

Es una estación fija fabricada en acero. Cuenta con diferentes juegos de correas, resortes y arneses que, asistidos robóticamente, sujetan a los pacientes, además de algunas piezas fabricadas en plástico.

Las carcasas son inyectadas en ABS y cuentan con correas para su uso. En el caso de Amadeo el juego de pistones móviles en el interior es completamente visible.

	Objeto	Configuración Formal	Ergonomía
Armeo		Su diseño es un poco más amable que los otros ya desarrollados. Seguro y confiable. Es un artefacto con un impacto visual importante, pero disminuye un poco al estar rodeado de un entorno médico.	La interface está diseñada a través de una computadora para que el terapeuta lo maneje. Los movimientos son dictados por el terapeuta y éstos se adaptan a cada usuario, permitiendo que este se relaje.
Valeo		Totalmente amigable, indica alta tecnología inalámbrica. Uso de colores vivos para resaltar áreas de contacto. Impacto visual positivo; al ser pequeño los usuarios se identifican más con el producto.	Los sensores se colocan a una distancia determinada en la parte baja de la espalda. Su diseño permite que el paciente se sienta cómodo y olvide que trae el artefacto, realizando los ejercicios de forma más natural.
Saebo		Colores vivos y alto contraste permiten una identificación con los usuarios, alejan la atención del mecanismo, que impacta visualmente. Se indica el funcionamiento, pero no representa del todo seguridad.	El terapeuta necesita asistir para colocarlo. La transpiración puede ser un problema debido a los materiales. A pesar del mecanismo, el objeto y sus componentes se adaptan a la mano del usuario.
Donjoy		Estética deportiva y dinámica. Indica ergonomía y no representa complicación para colocarse. No representa un impacto negativo. Indica alta tecnología y versatilidad. Grado de personalización alto (colores / texturas).	Los soportes rígidos son ajustables y se encuentran en los puntos donde más se necesita, sin hacerlo más pesado. Los materiales respirables dan un alto grado de confort a los usuarios.

Tabla.8. 2 Análisis de análogos. Parte 2

Función Práctica

Movimientos en todo el miembro superior. El aparato puede realizar o asistir los movimientos. La interface por computadora arroja información actualizada de cada usuario.

Terapia en espalda, los sensores captan el movimiento de la espalda y lo transmiten a la pantalla en tiempo real.

Terapia en mano y codo. Por medio de tensores ajustados por el terapeuta. La terapia se lleva a cabo en cada dedo, por lo que el colocarlo representa un problema para algunos pacientes con hiperflexión.

Inmovilizadores postoperatorios, cuentan con un sistema dinámico, permiten movimiento y tienen un tope ajustable. Elementos suaves y gruesos en puntos de apoyo principales.

Interacción

El terapeuta coloca el aparato al paciente y coloca juegos que lo obligan a realizar los movimientos. La estación es fija y el diseño está orientado a ambos paciente y terapeuta.

Interacción totalmente virtual e inalámbrica, el terapeuta sólo necesita colocar los sensores en la espalda. El paciente se divierte al mismo tiempo que realiza la terapia, además cuenta con un alto grado de comodidad.

Al tratarse de una terapia para cada dedo se necesita asistencia. Los resortes imponen resistencia al flexionar y ayudan a extender los dedos al relajarlos. El usuario puede ajustarlos y hacer la terapia en casa.

El paciente mismo puede colocárselas y ajustar el rango de movimiento. El paciente puede moverse libremente con ellos ya que la fibra de carbono los hace extremadamente logeros.

Producción / Materiales

Estación fija fabricada en acero. En el interior cuenta con motores que permiten el movimiento. Correas ajustables con velcro.

Sensores de movimiento. Escenarios virtuales. Posibles aplicaciones.

Resortes y barras de aluminio y acero. Uso de plásticos flexibles como hule. Cintas ajustables.

Piezas rígidas en fibra de carbono. Uso de soportes suaves como espuma y textiles. Cintas ajustables. Piezas ajustables inyectadas en ABS.

FUTURO

La aplicación de la robótica como asistente tanto en rehabilitación como en la vida diaria es cada vez más común. En lo que se refiere a las futuras tecnologías y al diseño de productos médicos se detectaron algunas tendencias.

Interacción. La relación de los objetos con los usuarios se vuelve más estrecha, permitiendo que los pacientes puedan realizar algunas actividades en casa. La realidad virtual y aumentada como agente principal en la rehabilitación es de suma importancia.

Retroalimentación. A través de Internet existe una red de información clínica en la cual los productos se sincronizan para que tanto el doctor como el paciente tengan conocimiento de su avance.

Versatilidad. Los productos se adaptan totalmente al usuario al momento de ponérselo e incluso podrán actualizarse o cambiarse sin la necesidad de adquirir otro. Será posible el ajuste tanto funcional como estético dando como resultado una personalización completa sin que el usuario necesite ayuda del terapeuta.

Tecnología. Las nuevas técnicas de producción avanzan a pasos agigantados, con una alta capacidad de personalización de los productos. Procesos como la impresión 3D para la fabricación de piezas “imposibles” o la nanotecnología brindan herramientas a los diseñadores para mejorar día con día el desarrollo de productos médicos. El uso de fibras en el uso de productos exoesqueléticos se presenta con mayor frecuencia, existen materiales textiles hoy en desarrollo que son capaces de adaptarse a cualquier superficie que a través de estímulos eléctricos pueden actuar como músculos. Esto permitirá que la rehabilitación se lleve a cabo durante el transcurso del día, obteniendo una recuperación mucho más rápida y eficaz.

PRESENTE + FUTURO = PRIMEROS CONCEPTOS

Al analizar tanto el presente como el futuro en el tema de los exoesqueletos y objetos análogos se pudieron establecer conclusiones respecto a estos objetos, lo que ayudó a generar un concepto inicial y a determinar el diseño final. Cada objeto analizado tuvo un impacto diferente en las categorías de diseño. (Ver Fig. 8.3)

Configuración formal. La aplicación de texturas de alta tecnología (Donjoy) y el uso del color (Amadeo / Pablo) vinculan al usuario con el objeto que está usando. La aplicación de formas orgánicas y los códigos visuales son vitales para una configuración adecuada.

Ergonomía. Junto con la estética, uno de los ejes del proyecto es la ergonomía y todos los objetos analizados presentaron alto nivel ergonómico. Destaca la reducción de elementos rígidos (Donjoy) así como los sistemas de seguridad como bandas flexibles (Armeo, Saebot) y la adaptación ergonómica de los productos a las manos y brazos (Amadeo/Pablo).

Función Práctica. En su mayoría los objetos hasta ahora diseñados no presentan mayor funcionalidad que la asistencia en los movimientos (SAM), pero existe ya una retroalimentación con los terapeutas que permite saber el avance de los pacientes (Armeo, Lokomat).

Interacción. En este sentido dominó la posibilidad de tener retroalimentación con los pacientes en tiempo real a través de una interfaz virtual (Amadeo, Lokomat) y las aplicaciones móviles (Valedo), poniendo especial atención en la relación objeto / usuario / rehabilitación.

Materiales. El uso de nuevos materiales permite una mejor adaptabilidad (Donjoy), además de su limpieza y alta calidad. Esta categoría será de suma importancia en el futuro a través de la nanotecnología.

PRESENTE

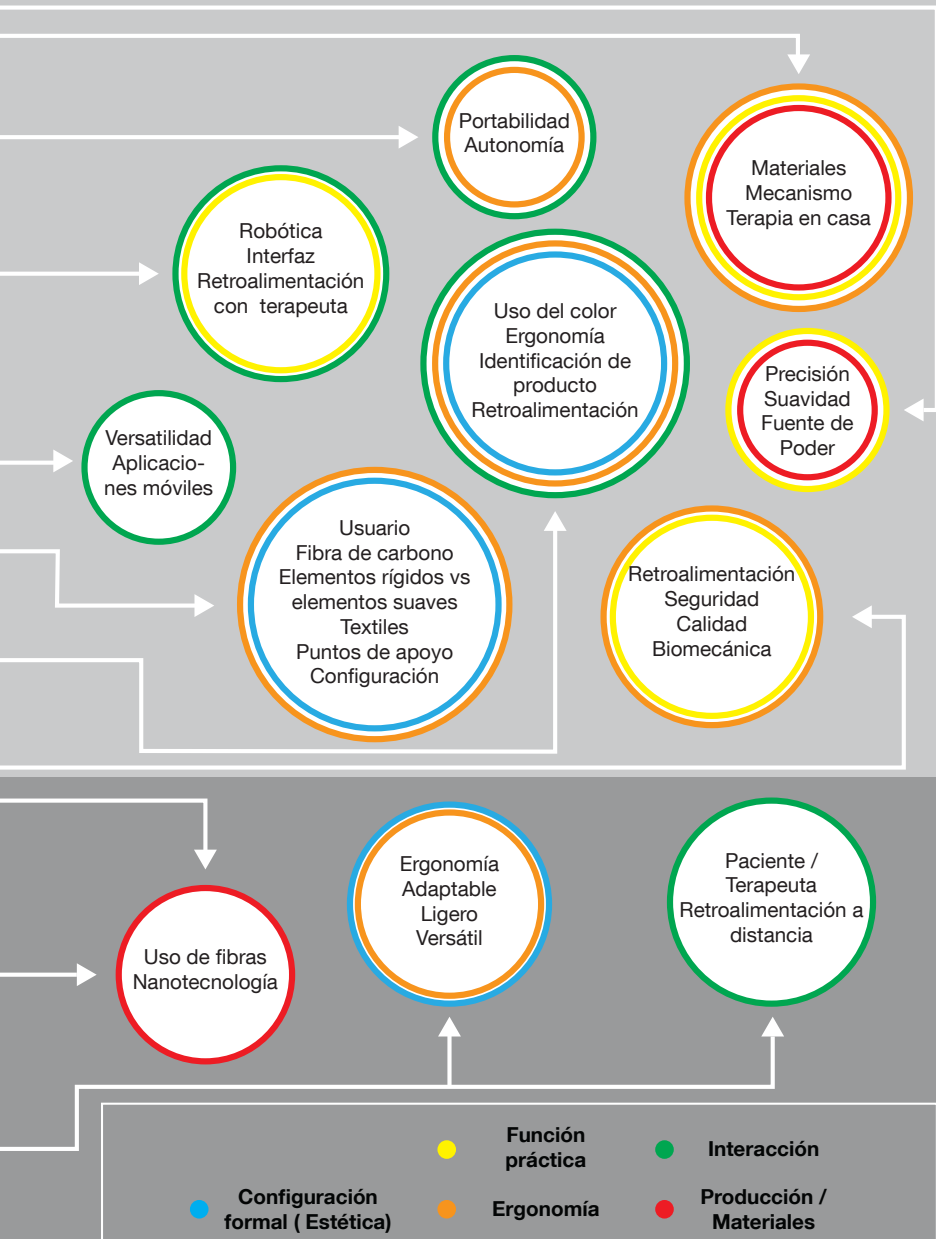


FUTURO



Fig.8. 3. Impacto del análisis presente / futuro en la generación del concepto inicial

CONSIDERACIONES DE CADA OBJETO Y SU IMPACTO POR CATEGORÍA PARA LA GENERACIÓN DEL CONCEPTO INICIAL



9. ERGONOMÍA

Por el tipo de proyecto existía una exigencia ergonómica importante por lo que hubo la necesidad de involucrar una tercera disciplina en el desarrollo.

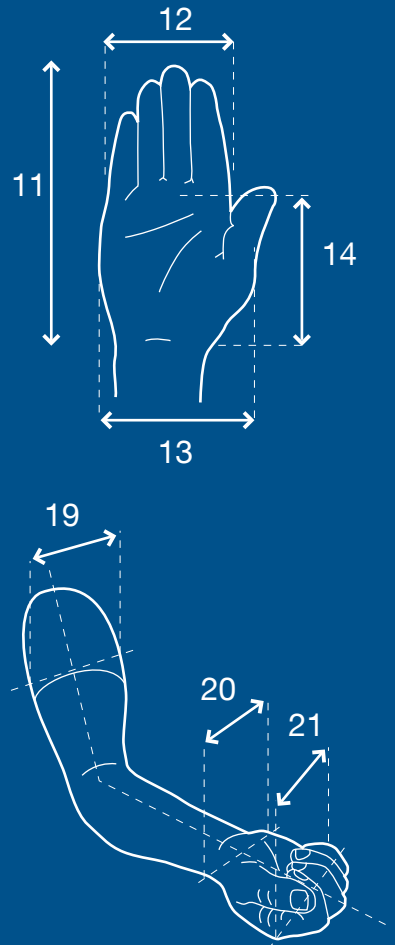
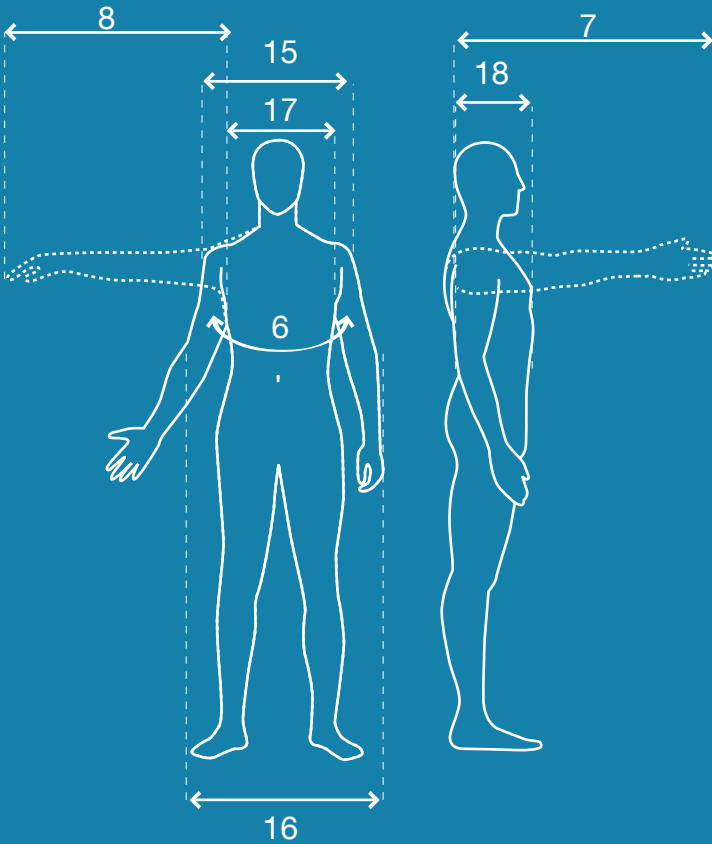
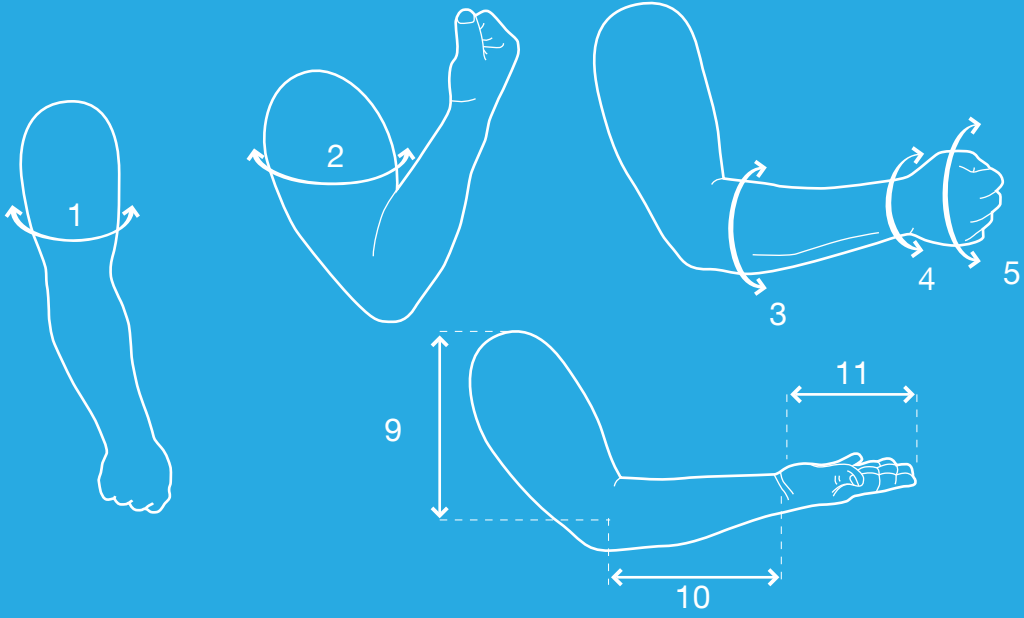
La información ergonómica requerida se llevó a cabo gracias a la vinculación con el Laboratorio de Ergonomía del Centro Médico Nacional Siglo XXI, trabajando con profesionales médicos (Mc. Dra. Irene Mújica Morales, Dr. José Ángel Hernández).

Por una parte se recabó información antropométrica para establecer las medidas del artefacto en sus diferentes módulos. Posteriormente se hizo un análisis de los movimientos que iba a cumplir el diseño propuesto en este documento. Esto se realizó por medio de un análisis biomecánico.

Fig.9. 1. Abajo. Sesión de trabajo con terapeutas
A la derecha. Sesión en el Laboratorio de Ergonomía del IMSS







ANTROPOMETRÍA

Las medidas antropométricas son fundamentales para que el diseño de un producto llegue a buen término, más aún en el caso de productos de tipo médico como lo es el caso del exoesqueleto.

#	Concepto	5 Percentil (mm)	95 Percentil (mm)
Perímetros			
1	Brazo relajado	262	369
2	Brazo flexionado	268	379
3	Antebrazo máximo	225	304
4	Muñeca	144	186
5	Puño	235	310
6	Tórax	927	1197
Segmentos			
7	Alcance máx. Frontal	572	681
8	Alcance máx. Lateral	558	670
9	Acromion - radial	299	360
10	Radial - estilion	205	260
11	Longitud mano*	158	185
12	Ancho palma mano	71	82
13	Ancho mano	83	103
14	Longitud palma mano	90	105
Diámetros			
15	Biacromial	354	423
16	Biradial	448	619
17	Tórax A-P	181	267
18	Tórax transverso	294	388
19	Húmero	55	73
20	Muñeca	50	64
21	Puño	86	111

Tabla.9. 1. Percentiles tomados en cuenta para diferentes medidas antropométricas.

Fuentes: Proyecto CONACYT - IMSS 2004-C1109. "Perfil Antropométrico del Trabajador Mexicano".

* Ávila Charaund et. al., *Dimensiones antropométricas de población latinoamericana: México, Cuba, Colombia, Chile*. Universidad de Guadalajara. Centro de Investigaciones en Ergonomía.

Fig.9. 2. A la izquierda. Diagramas de medidas antropométricas tomadas en consideración

La bibliografía existente da muestras antropométricas de diferentes poblaciones alrededor del mundo. Fue con el Laboratorio de Ergonomía del IMSS que se logró recabar una muestra antropométrica real de personas mexicanas, tomando una muestra de alrededor de 4 mil individuos.

También se complementó esta información con medidas obtenidas del libro *Dimensiones antropométricas de población latinoamericana*. A continuación se muestran las medidas contempladas para el diseño del exoesqueleto, todas ellas forman parte de las extremidades superiores.

BIOMECÁNICA

Para el diseño del exoesqueleto no sólo era necesario saber las medidas antropométricas, sino también el comportamiento del brazo y sus elementos. Gracias a las asesorías de los terapeutas y al Laboratorio de Ergonomía se lograron establecer los movimientos contemplados para el diseño del producto.

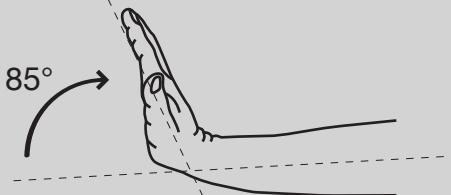
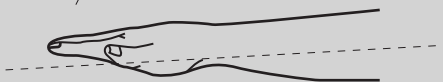
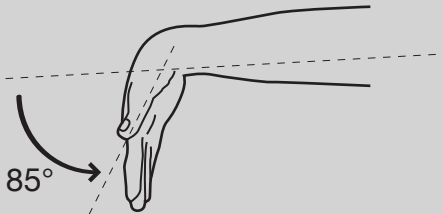
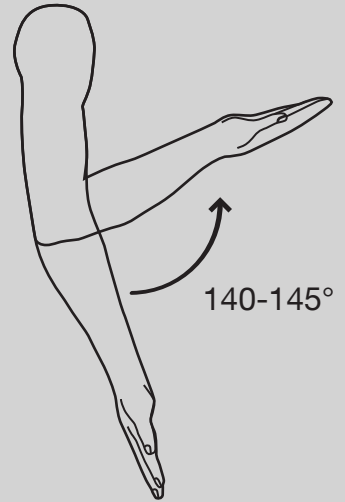
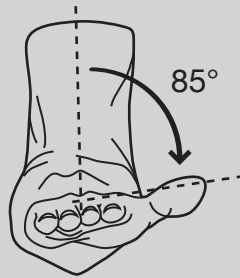
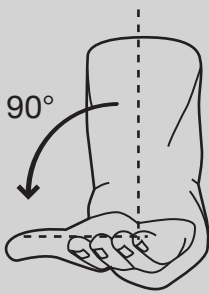
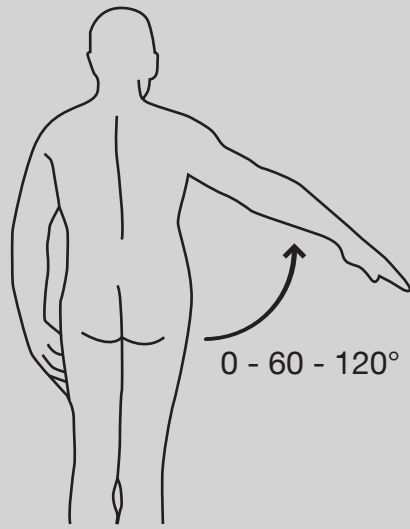
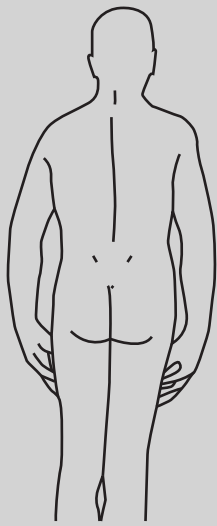
Codo. Pronación, supinación y flexión.

Muñeca. Extensión.

Mano. Extensión de los dedos.

Hombro. Abducción.* (El caso del hombro queda pendiente para proyectos futuros.)

Integrando la Ingeniería Mecatrónica y la Robótica, el diseño del exoesqueleto contempló el uso de servomotores y motorreductores que permiten que los movimientos se realicen de manera adecuada. En el Laboratorio de Ergonomía del IMSS se realizó una muestra de torque en el brazo para determinar el tipo de motores requeridos, registrando la fuerza que las personas aplican al realizar cada movimiento. La muestra se explica más adelante como parte de las consideraciones biomecánicas.



Apertura de dedos

En el caso del movimiento de los dedos, se tomó una medida de la fuerza que se requiere para lograr abrir los dedos de un paciente en las mismas condiciones que Israel. Esto se llevó a cabo con dinamómetros que traducen la fuerza en Newtons (N) y así poder decidir cuál motor escoger en el caso del módulo de apertura de dedos.

Los resultados de la prueba hecha con Israel arrojaron que la resistencia que los dedos tienen puede ser contrarrestada con 500 N.

Hombro, codo y muñeca

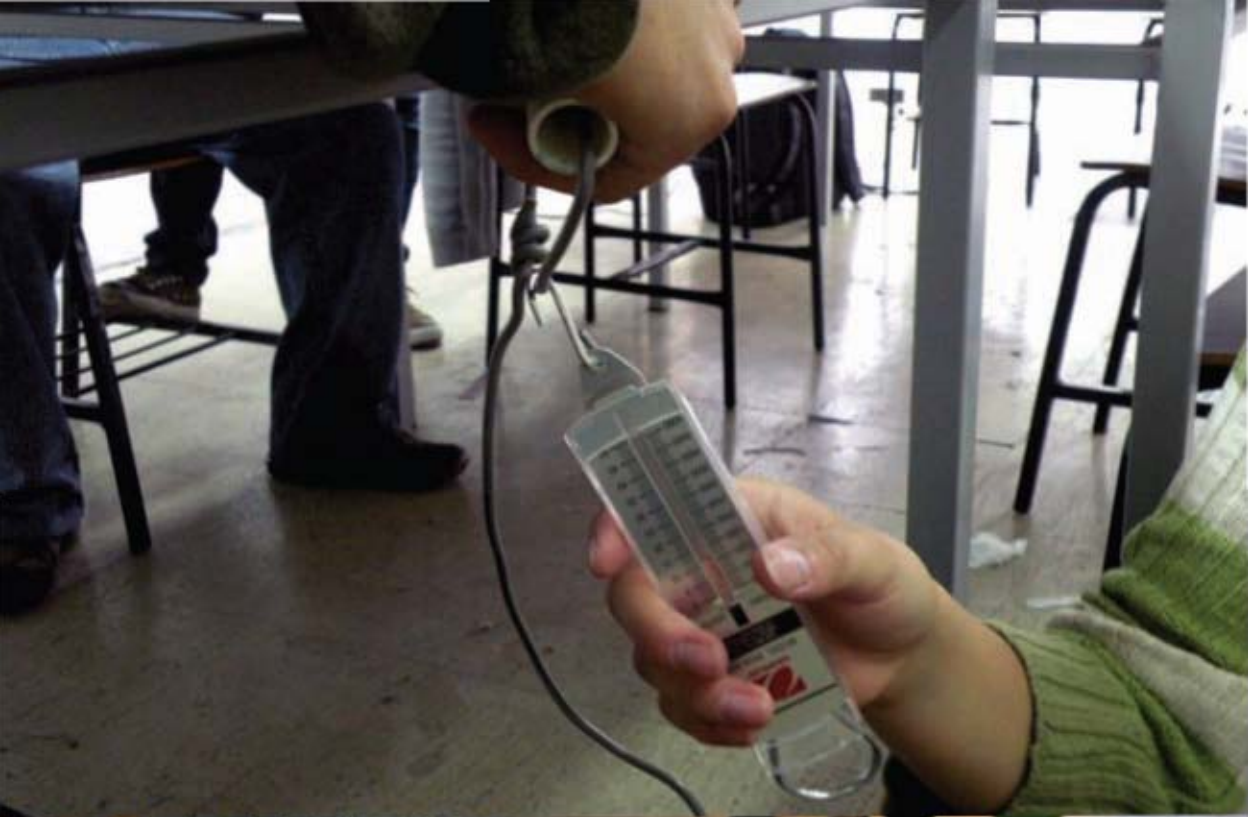
Se realizó una muestra de las fuerzas en una población mexicana. Se realizaron las pruebas a 45 individuos posibles, haciendo uso del equipo del laboratorio de Ergonomía del IMSS. (Tabla 9.2)

El principal objetivo de la muestra fue definir rangos de fuerza para los motores que integrarán el producto y que asistirán en la realización de los movimientos, además de establecer un parámetro de seguridad y no dañar a los pacientes. El segundo objetivo fue generar una muestra en caso de que se sigan desarrollando productos como éste, que sean desarrollados 100% para gente mexicana.

Articulación	Movimiento	Mínimo	Máximo	Promedio
Hombro	Abducción 60°	13.62	17.71	15.59
	Abducción 80°	11.30	15.62	13.44
Codo	Flexión	25.29	32.42	29.19
	Pronación	3.55	4.89	4.15
	Supinación	4.53	5.59	5.06
Muñeca	Extensión	4.52	6.45	5.43

Tabla.9. 2. Rangos de Fuerzas expresados en Nm (Newton*metro)

Fig.9. 4. A la derecha. Midiendo de la fuerza en los dedos del usuario y uso del dinamómetro en el IMSS para medir el torque en extension de muñeca

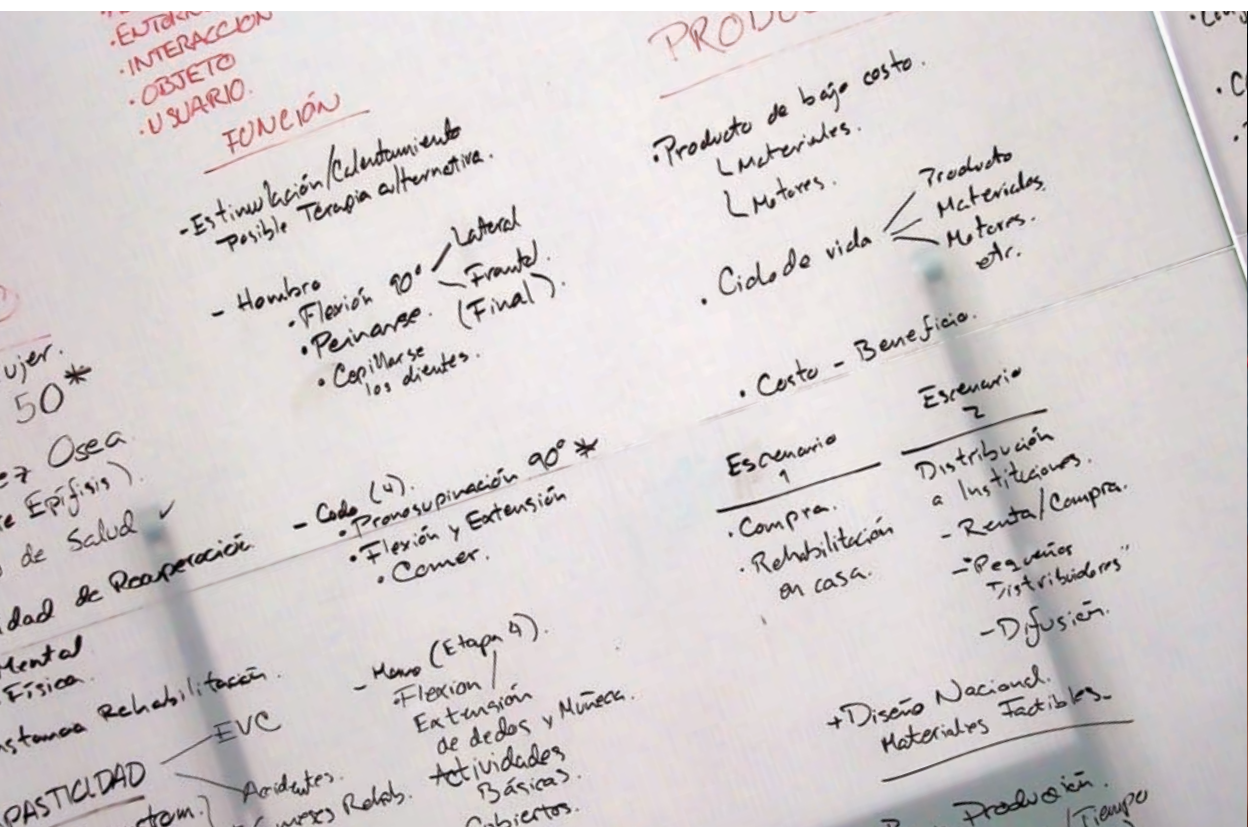


10. PROCESO DE DISEÑO

En el Capítulo 6 se explica la etapa inicial del desarrollo del exoesqueleto partiendo de la investigación, la cual engloba desde la información recabada acerca de la espasticidad, hasta la definición y observación enfocada en el usuario primario y su interacción con diferentes objetos.

Los Capítulos 7, 8 y 9 delimitan el proyecto en sí, explicando el perfil de producto y estableciendo sus límites, así como la generación de los conceptos iniciales a partir de un análisis presente / futuro; y por último la investigación ergonómica para los requerimientos funcionales.

Es en este apartado que se explica el resultado de toda la información mencionada.

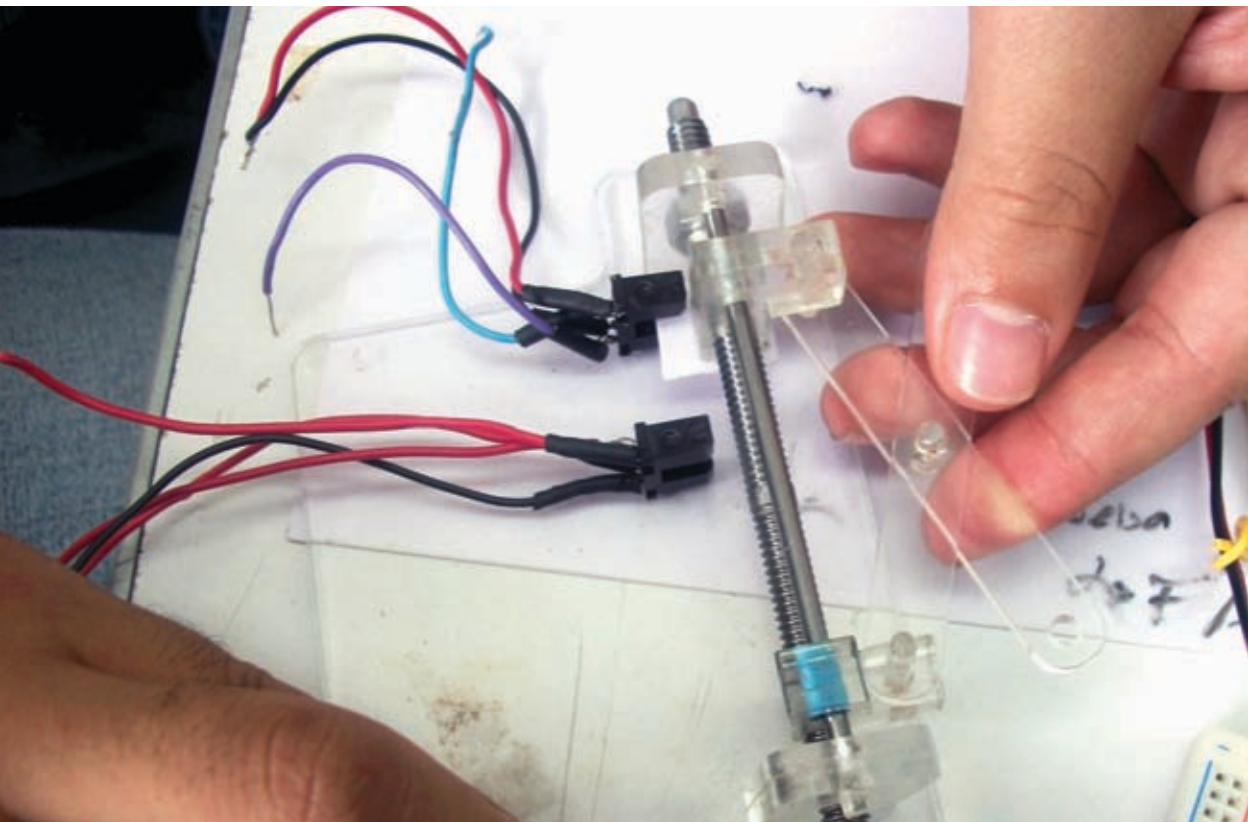


Después de la etapa de investigación y definición se continuó con el proceso previo al diseño final. Aquí se explican los métodos empleados para el desarrollo de simuladores y los resultados que se obtuvieron de las distintas pruebas.

La importancia de la etapa de exploración es fundamental para el desarrollo de productos. Es a través de la prueba y error que se pueden encontrar errores o aciertos en el uso de los objetos.

En esta etapa el trabajo multidisciplinario tiene un mayor impacto. Es por esto que desde el inicio se buscó la vinculación con la disciplina especializada en el tema.

Fig.10. 1. A la izquierda, PDP y a la derecha, diseño de mecanismos



La colaboración de estudiantes de Diseño Industrial, de la Facultad de Ingeniería y la vinculación con especialistas en Medicina de Rehabilitación fue de extrema importancia desde la primera etapa.

En el caso del exoesqueleto de rehabilitación era fundamental hacer pruebas para comprobar el funcionamiento de los mecanismos y verificar tanto el uso como la ergonomía detrás de los aparatos.

Una vez definidos los movimientos a realizar su rangos de apertura, se pudo realizar una lluvia de ideas y la etapa de exploración. Ambas fueron de gran utilidad para el enriquecimiento de los conceptos y en cada una de ellas se pusieron en práctica diferentes técnicas.

- **Modelos de función crítica.** Después de haber realizado una lluvia de ideas se desarrollaron modelos muy sencillos con los que se buscó identificar necesidades ergonómicas y de interacción. Estos modelos se pusieron a prueba en el equipo de trabajo.
- **Simuladores y prototipos funcionales.** Una vez definido el concepto se desarrollaron simuladores y modelos funcionales que ayudan a ver la interacción de los usuarios con un objeto exploratorio previo al diseño final. Estas pruebas fueron documentadas con fotografías y videos.

Los objetivos principales de los simuladores fueron los siguientes:

- Analizar si era posible romper la contracción muscular (espasticidad) y realizar el movimiento
- Evaluar la manera en que se realiza el movimiento
- Hacer una evaluación ergonómica preliminar de los artefactos

PROCESO DE DISEÑO

INGENIERÍA



DISEÑO



MEDICINA DE REHABILITACIÓN

Observación

Actividades
Entorno
Interacción
Objetos
Usuario

EVC
Espasticidad (Contracción muscular)
Rehabilitación
Biomecánica
Antropometría

INVESTIGACIÓN



PERFIL DE DISEÑO DE PRODUCTO

Definición de Movimientos

Extensión de dedos
Flexión / extensión de muñeca
Pronación / supinación
Flexión de codo

Configuración formal
Ergonomía
Función
Interacción
Producción

DEFINICIÓN Y CONCEPTO

Análogos Presente + Futuro = Conceptos Iniciales



LLUVIA DE IDEAS

Modelos de función crítica

Simuladores

Diseño de mecanismos
Requerimientos mecánicos
Ergonomía
Interacción (observación)

Objetivos

Romper la barrera de espasticidad
Verificar rangos de movimiento
Evaluar ergonomía



Extensión de dedos



Flexión / extensión de muñeca



Pronación / Supinación



Flexión de codo

EXPLORACIÓN

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

CONSIDERACIONES ESTÉTICAS



PROPUESTA FINAL

EXTENSIÓN DE DEDOS

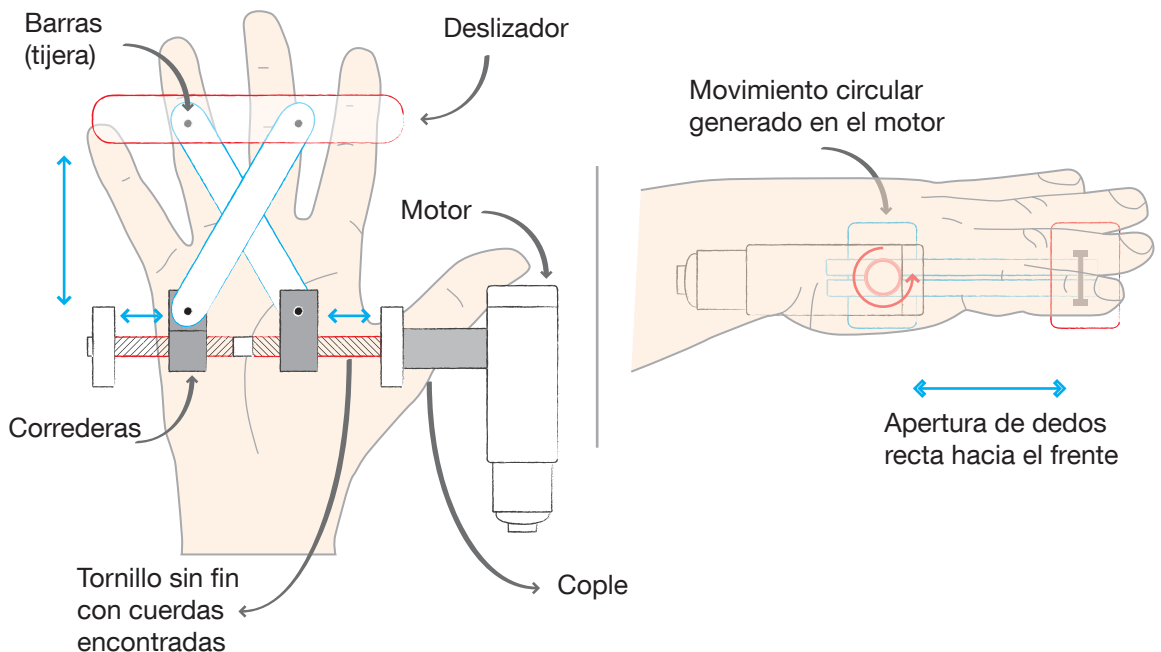
El reto de abrir los dedos corresponde a la contracción de los músculos que presentan los pacientes con hemiplejía. Se analizaron las características de los productos que realizan esta función y se llegó a las siguientes conclusiones:

- Apertura dedo por dedo. Es imposible para el paciente colocárselo él solo.
- Puntos de apoyo externos. El usuario se lo coloca como un guante en algunos casos. El impacto visual es importante.

Concepto Huevo

A partir de estas conclusiones se generaron lineamientos para la generación de mecanismos que pudieran cumplir el objetivo:

1. Movimiento natural de la mano, abriendo todos los dedos simultáneamente
2. Concepto huevo. Apertura de los dedos desde adentro
3. Posible uso sin asistencia



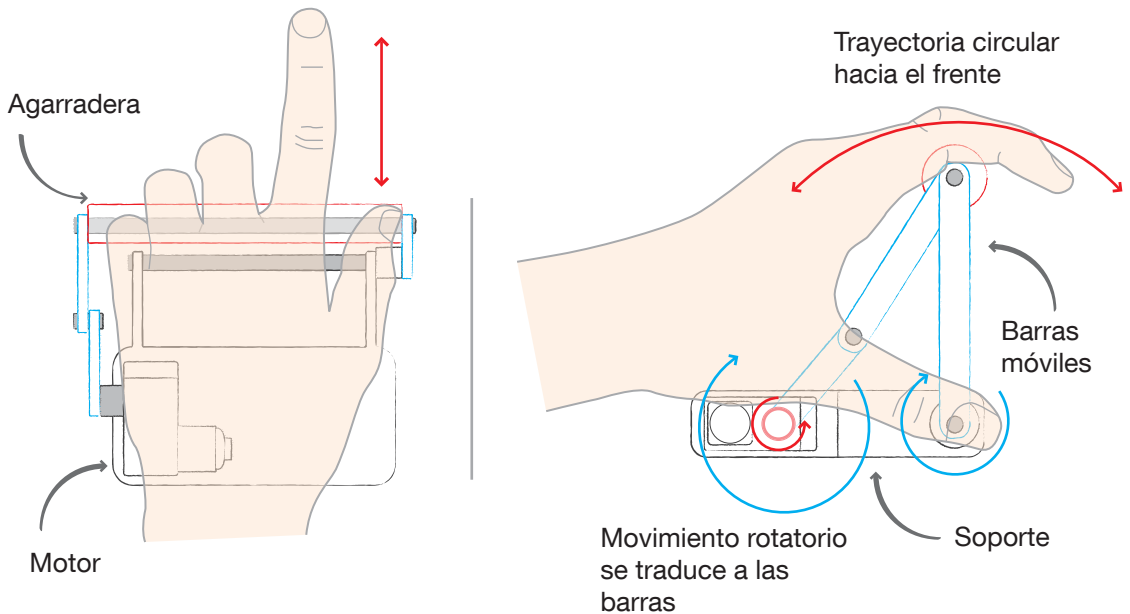
Mecanismo de tijera

El mecanismo contempla el uso de un tornillo sin fin con cuerdas encontradas, el cual desplaza hacia los lados un par de correderas que a su vez permiten que un par de barras encontradas desplacen un elemento frontal hacia adelante y hacia atrás.

Mecanismo de barras.

Este mecanismo consiste en tres barras articuladas y una cuarta fija que al girar transmiten el movimiento en una trayectoria circular. El mecanismo se diseñó para que se colocara en la parte de afuera de la mano, de tal manera que los dedos logran extenderse.

Fig.10. 3. A la izquierda, mecanismo de tijera y a la derecha, mecanismo de barras



Simulación y Prueba

Se realizaron simuladores de ambos mecanismos y se pusieron a prueba tanto con los integrantes del equipo como con Israel. Cabe mencionar que el simulador era totalmente funcional, incluyendo el control realizado por la parte de Ingeniería.

	Mecanismo de Tijera	Mecanismo de Barras
+	Lograr abrir los dedos a pesar de la contracción muscular Movimiento en línea recta Movimiento desde adentro, posible adaptación	Producción sencilla Peso
-	Peso y dimensiones Velocidad lenta Asistencia para ponerse Producción complicada	No puedo contrarrestar la fuerza del usuario Trayectoria circular, no logra abrir los dedos Movimiento transmitido desde afuera

Tabla.10. 1. Ventajas y desventajas del mecanismo de tijera

La prueba mas importante se realizó con Israel, colocando ambos artefactos y a través de una pequeña entrevista se pudieron ver las ventajas y desventajas.

El mecanismo de tijera aunque sencillo, demostró que logra abrir los dedos de los usuarios que presenten contracción muscular en los dedos. Este mecanismo fue elegido para el diseño de la propuesta.

Una vez realizada la simulación, el paso a seguir fue la fabricación de simuladores ergonómicos. Se tallaron unos cuantos modelos de cómo podría ser el diseño exterior. El reto era la reducción de tamaño, ya que el prototipo funcional presenta dimensiones bastante considerables. Para la fabricación de los modelos se tomaron en cuenta las medidas antropométricas previamente mencionadas.

Fig.10. 4. Fig.10. 4 A la derecha., simulación con Israel (usuario voluntario) y modelos del extensor de dedos fabricados en espuma



EXTENSIÓN DE MUÑECA

En lo que corresponde a la parte de Ingeniería, se consideró el peso de la mano y se calculó el motor que se podría usar para extender la muñeca. Para esto fue necesario saber el peso de la mano humana y la fuerza que el motor debe ejercer.

El peso de la mano humana es aproximadamente de 0.65 kg, en el caso de los hombres, y 0.5 kg en el caso de la mujeres. Con el peso y la fuerza de gravedad (9.81 m/s^2) se obtuvo que la fuerza a superar es de 6.37 Newtons (N). (Rojas Vásquez, 2009)

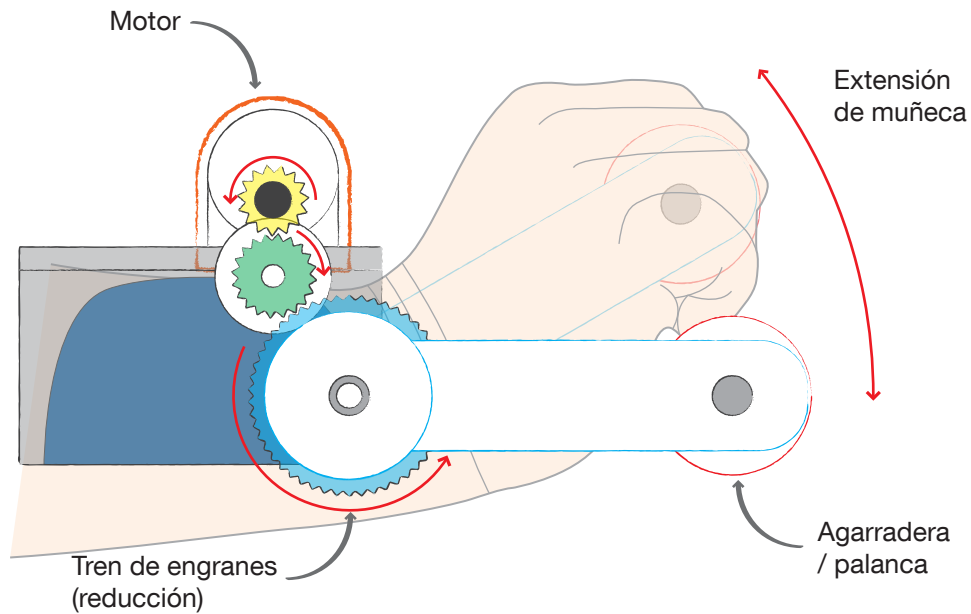
Simulación y prueba

Para el simulador se eligió un motor con un torque de 0.88 Nm el cual supera ampliamente el peso ejercido por la mano (0.67Nm).

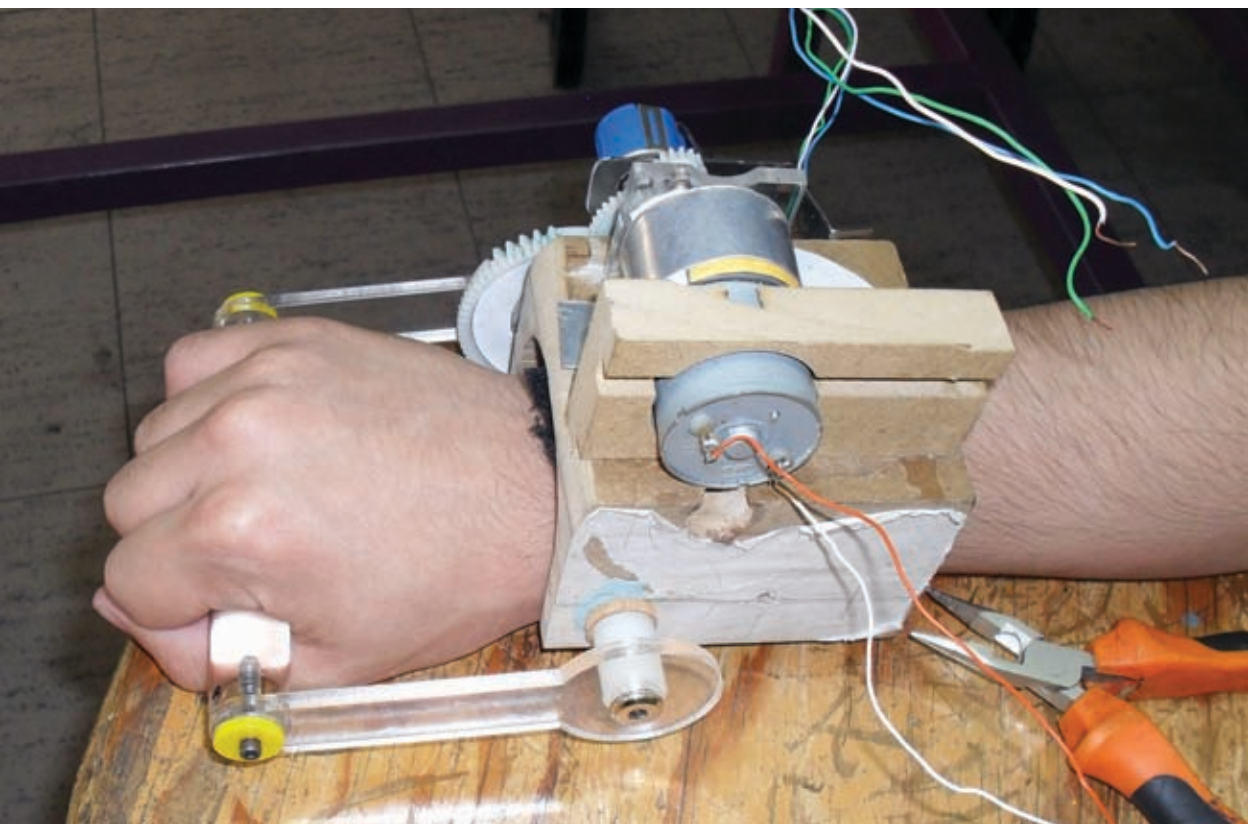
El simulador fue puesto a prueba dentro del equipo de trabajo y con Israel, el usuario muestra. Los resultados fueron los siguientes:

Extensión de Muñeca	
+	El movimiento se logra de manera adecuada Flexión y Extensión se logran sin problema
-	Peso y Dimensiones son considerables La fuerza del motor no es suficiente, los engranes se barren Necesidad de paro de emergencia Soporte muy incómodo en la parte superior del antebrazo

Tabla.10. 2. Ventajas y desventajas del mecanismo de muñeca.



JMTORNER © 2012



PRONACIÓN / SUPINACIÓN

La pronación y supinación es un movimiento que permite rotar la mano sobre su propio eje, es un movimiento complejo ya que se produce desde el codo y circula a través del antebrazo. Es posible gracias al juego que existe entre los huesos cúbito y radio, así como los músculos que los unen.

Al igual que se hizo con la apertura de los dedos, se hizo un análisis de los productos ya existentes que producen este movimiento usando asistencia programada electrónicamente.

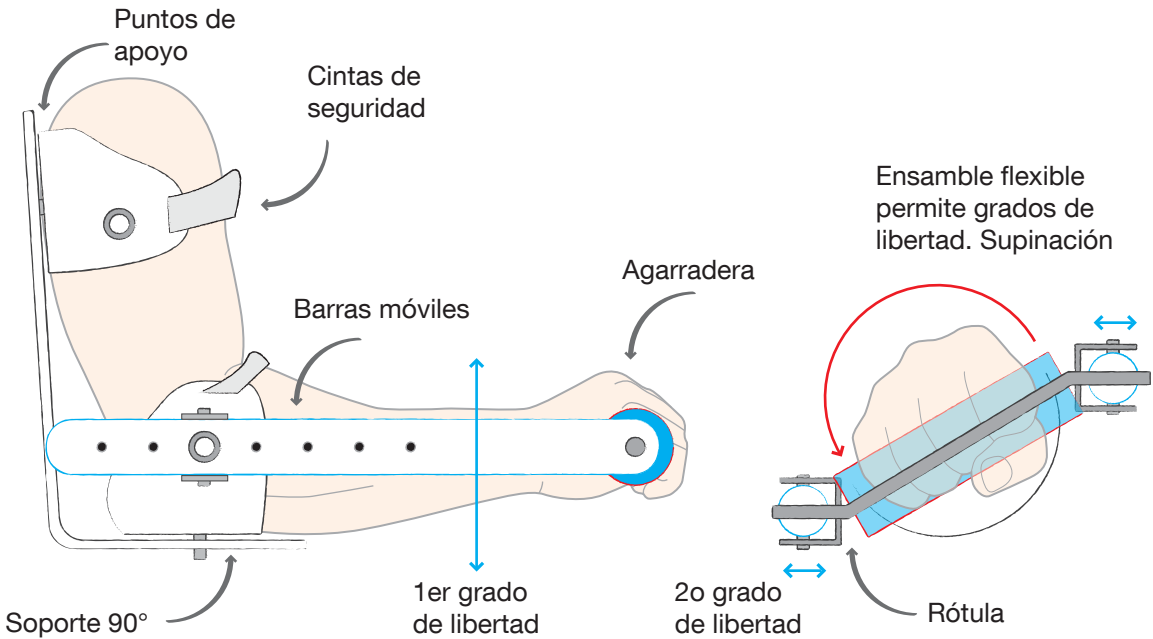
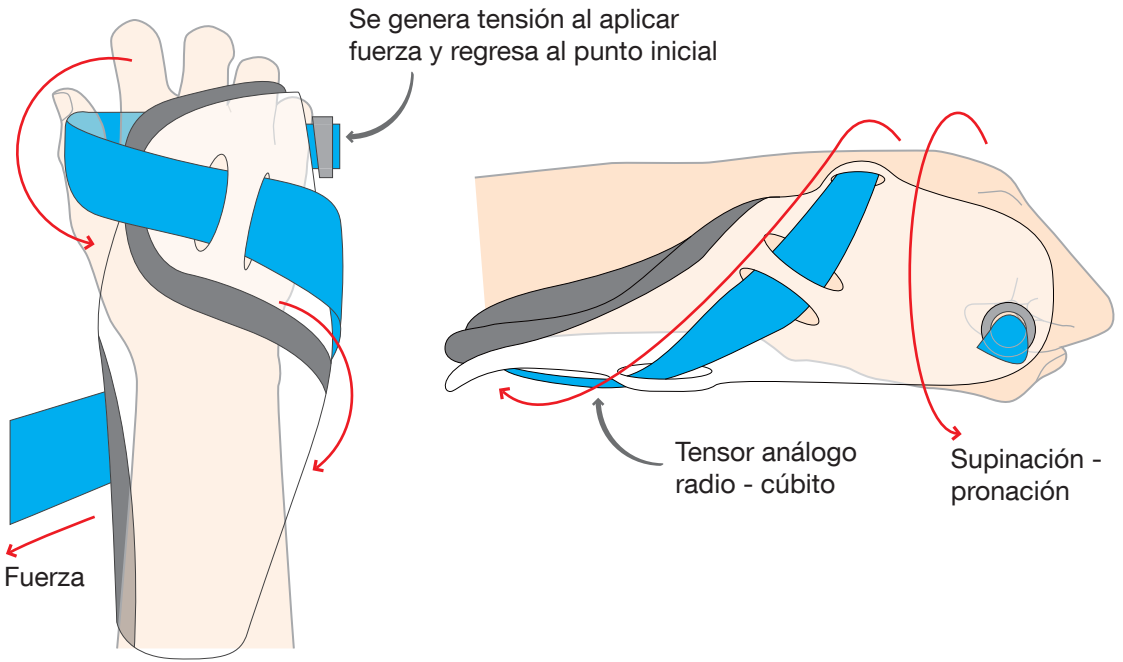
- La producción del movimiento generalmente consiste en una especie de pulsera de dimensiones muy grandes alrededor del antebrazo
- Las estaciones fijas usan un especie de palanca generando el movimiento de manera externa

Estos puntos ayudaron a generar una serie de premisas para el diseño de los simuladores:

1. Eliminar el uso de una pulsera maquinada de grandes dimensiones, por la complicación de fabricación y la interacción que tiene el usuario con ella. De nuevo buscar que el usuario pueda colocárselo él mismo.
2. Desarrollar un mecanismo que permita adaptarse a otro con el que se pueda flexionar el codo.

Como resultado se desarrollaron dos dispositivos diferentes cuyo fin era generar la pronación y la supinación.

Tensor radiocubital. A partir de un análisis del movimiento natural del cuerpo se adaptan una serie de tensores que se espera funjan como los huesos que generan el movimiento.



Barras y grados de libertad. Un mecanismo sencillo conformado por una barra de cada lado, teniendo cada una dos grados de libertad, generando un especie de rótula. Éstas se encuentran conectadas a una agarradera con un grado de libertad. Al moverse las barras de arriba hacia abajo de manera opuesta la agarradera en el centro gira, moviendo a la muñeca de manera circular.

Simulación y prueba

Se desarrollaron modelos funcionales que permitieron evaluar la ergonomía de las ideas, así como su funcionamiento de manera manual.

	Tensor radiocubital	Barras y grados de libertad
+	<p>La mano del paciente de prueba entra sin ningún problema. Es posible que pueda colocárselo él mismo</p> <p>Peso y dimensiones mínimas</p> <p>Comodidad</p> <p>Impacto visual</p>	<p>Cumple el movimiento sin problema</p> <p>El movimiento es uniforme y su trayectoria es correcta</p> <p>Seguridad</p>
-	<p>Movimiento sin fuerza. La tensión se genera de un punto de apoyo demasiado lejos de la extremidad</p> <p>Seguridad del paciente. Trayectoria del movimiento incorrect</p>	<p>Requiere mucha fuerza para realizar el movimiento</p> <p>Dimensiones y elementos estorbosos</p> <p>Orientación de barras incorrecta</p> <p>Asistencia para ponérselo</p> <p>Impacto visual</p>

Tabla.10. 3. Ventajas y desventajas de los simuladores de pronación / supinación.

Ambos mecanismos se pusieron a prueba con un grupo de 12 personas de diferente estatura, peso y edad. Los resultados fueron los siguientes.

Aunque el mecanismo presentó problemas, se lograron resultados positivos en cuanto a la ergonomía. Dada la complejidad del movimiento el paso a seguir fue proponer un mecanismo conceptual y solucionar el diseño en términos ergonómicos.

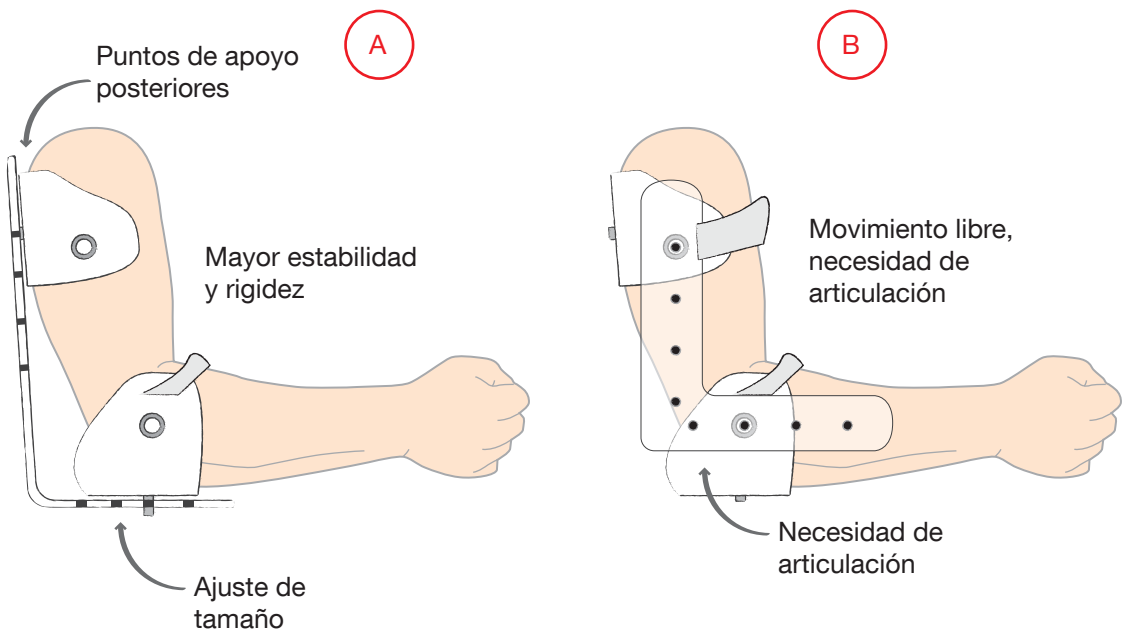


FLEXIÓN DEL CODO

Similar a como se hizo en la pronación y supinación se tomó en consideración el peso del antebrazo y de la mano para poder resolver la parte de Ingeniería del objeto.

En este caso, al igual que con la extensión de muñeca, se optó por el diseño de una articulación externa que permitiera realizar el movimiento. Por la parte de Diseño se busco evaluar la ergonomía del objeto, así como la posición y orientación de los puntos de apoyo, por lo que se realizaron varios simuladores.

Soportes lateral y posterior. Fabricados en PVC, hule espuma y acrílico, cada uno simuló el tipo de soporte que se colocará en el diseño final. Este soporte sostendrá todo el mecanismo.



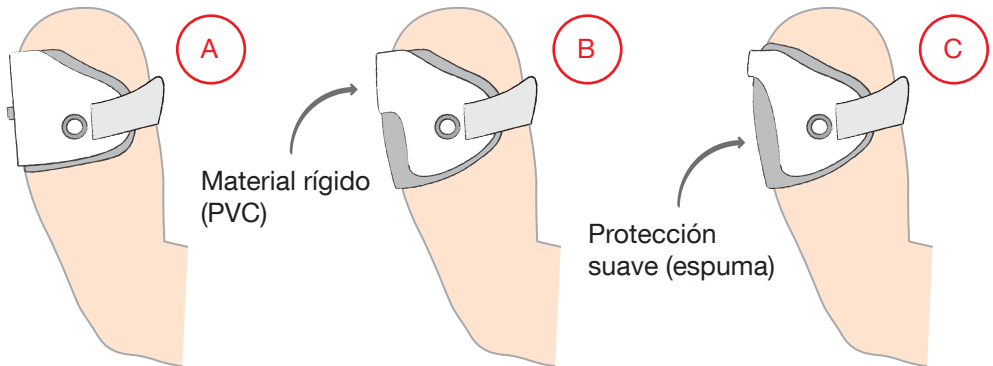
Soportes de brazo. Se construyeron diferentes configuraciones de los puntos de apoyo del antebrazo, obteniendo diferente flexibilidad y confort. Éstos fueron fabricados con PVC y hule espuma. Con ellos se buscó evaluar la ergonomía de los puntos de apoyo de manera individual.

Simulación y prueba

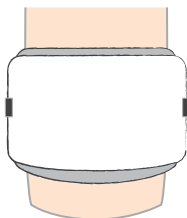
Este proceso de evaluación se llevó a cabo con un grupo de 12 personas. El proceso de evaluación consistió en lo siguiente:

- Evaluación de soporte lateral y soporte frontal. Se evaluó la forma de ponérselo, la posición de los puntos de apoyo y la comodidad
- Evaluación de soportes. Se colocaron tres diferentes soportes individuales. Se evaluó la comodidad de cada uno

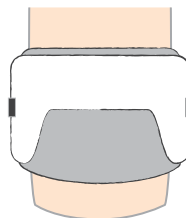
Fig.10. 8. A la izquierda, simuladores para flexión del codo y a la derecha, simuladores de soporte ergonómico.



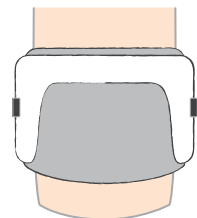
En los tres casos la cara orientada hacia el interior del cuerpo genera incomodidad y dificultad para ponérselo el objeto



Seguridad /
apoyo



Ligero /
flexible



Cómodo /
frágil

- La evaluación fue documentada con video y un registro fotográfico
- Se realizó una encuesta individual para detectar singularidades y oportunidades de diseño

En el caso del soporte lateral vs el soporte frontal se llegó a los siguientes resultados.

	Soporte posterior	Soporte lateral
+	Brindó más seguridad a los usuarios	Libertad de movimiento Portabilidad. Capacidad de usarlo aproximadamente 20 minutos (tiempo de terapia)
-	Ambos presentaron problemas con el sistema de sujeción (cintas) Confusión de como colocarlo. Orientación incorrecta de los puntos de apoyo En algunos casos los usuarios se lastimaron al colocarselo Asistencia para colocarlo	

Tabla.10. 4. Ventajas y desventajas de ambos tipos de soporte para el codo

Los resultados en el caso de los soportes individuales fueron:

	A	B	C
+	Aunque es un soporte más rígido, brindó más seguridad a los usuarios	Se sintió liviano y a la vez seguro	Muy ligero. Imperceptible. Sujeción sencilla, el material es más flexible
-	El peso aumenta aunque no considerablemente Sujeción complicada	Confusión de orientación co colocación La estética se ve un poco afectada	Extremadamente ligero. Los usuarios se sintieron inseguros con él

Tabla.10. 5. Ventajas y desventajas de los tres tipos de puntos de apoyo

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Al finalizar la etapa de simulación y prueba se establecieron parámetros específicos respecto al diseño de la propuesta final. Esto permitió generar las primeras propuestas formales. Las consideraciones más importantes fueron las siguientes:

Extensión / apertura de los dedos

- Reducir el tamaño de la empuñadura
- Que el usuario pueda introducir por sí mismo el artefacto entre los dedos
- Ajuste o programación del aparato para abrir más rápidamente los dedos

Extensión de muñeca

- El soporte del motor debe estar ya sea abajo o a un lado del brazo
- Soporte de muñeca debe ser ajustable
- Paro de emergencia en caso de avería o mal funcionamiento
- Adaptación o ensamble para el extensor de dedos

Pronación / Supinación

- Empuñadura diseñada para permitir colocar de mejor manera la estructura en la muñeca
- Diseño adaptable al puño permite una mejor interacción
- Eliminar las piezas orientadas hacia el interior del cuerpo
- Trayectoria de movimiento debe ser circular, el punto de apoyo debe estar en el mismo puño

Flexión / Extensión del codo

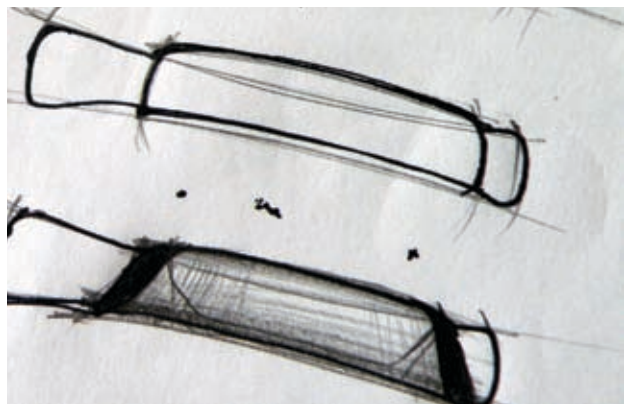
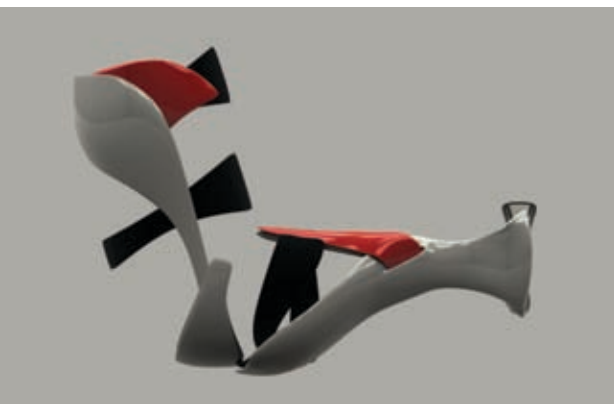
- Soporte de bíceps y de antebrazo deben compartir el mismo punto de giro
- Preferencia por los soportes rígidos sobre los suaves. Brinda mayor seguridad a los usuarios
- Soporte en la parte lateral brinda mayor comodidad y confort

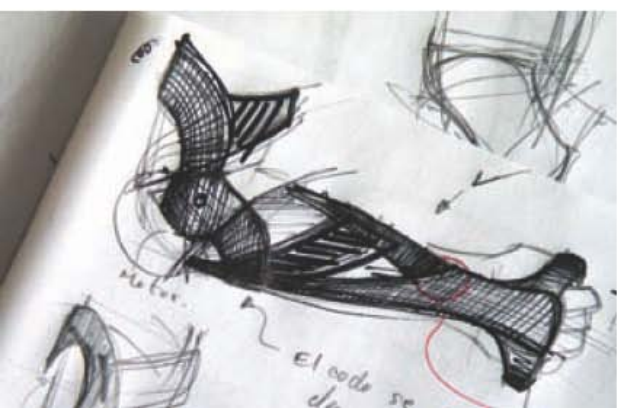
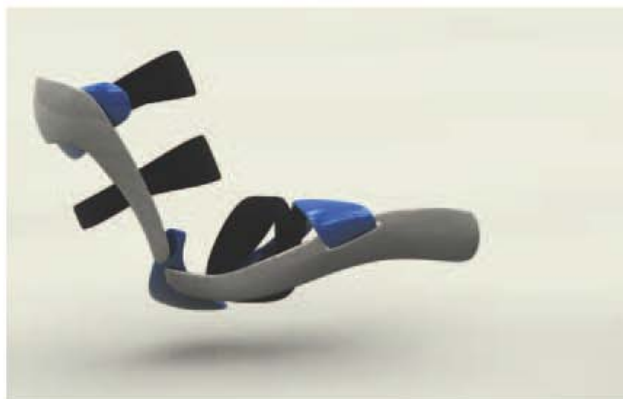
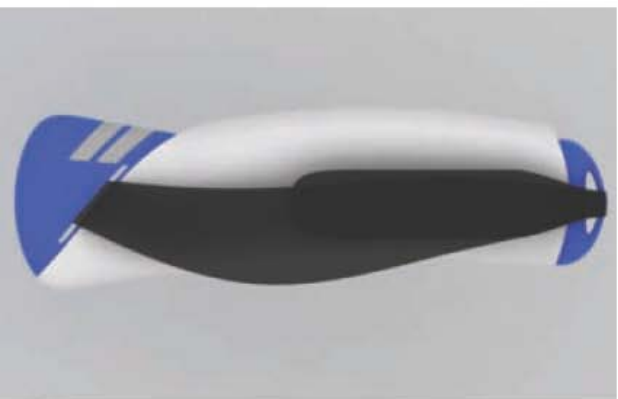
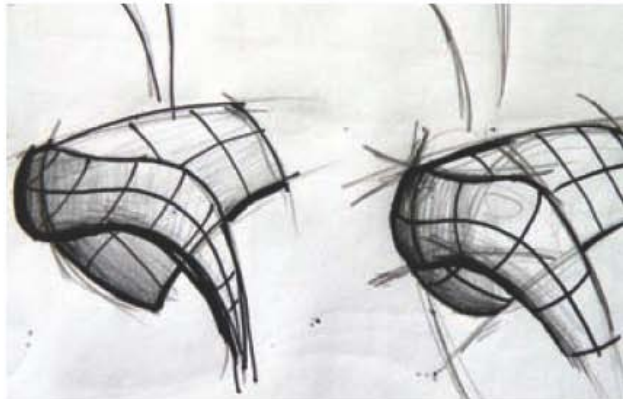
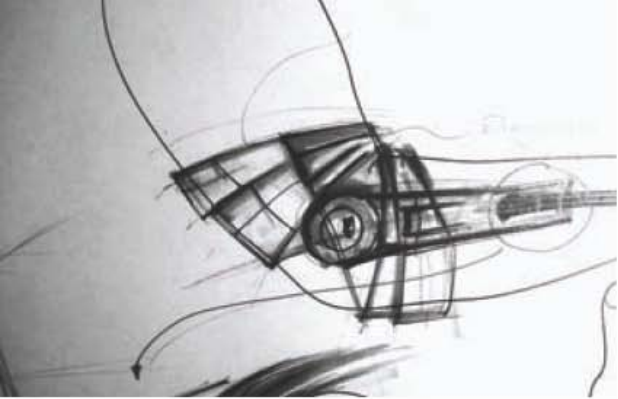
CONSIDERACIONES ESTÉTICAS

Después de realizar las pruebas con simuladores y establecer parámetros funcionales de diseño, se comenzó a trabajar en un concepto estético de diseño. Tomando en cuenta los productos del presente y lo que podría venir en un futuro, se consideraron los siguientes conceptos:

- La anatomía y el sistema muscular como eje conceptual
- Concepto de armaduras encontradas en la naturaleza y su transformación para aplicaciones humanas
- Aprovechar los métodos de producción actuales para buscar un diseño que pueda adaptarse al cuerpo lo más ergonómicamente posible
- El uso de diferentes texturas y materiales en productos de alta tecnología
- El deporte como punto de partida para el diseño de un objeto dinámico

Fig.10. 9. Mosaico de concepto y primeras propuestas





11. EL DISEÑO

LA PROPUESTA

Al final se desarrolló la primera versión de un exoesqueleto cuyo objetivo es ayudar a la rehabilitación física de brazo en pacientes hemipléjicos o con función muscular disminuida. La premisa para diseñar fue que las personas pudieran realizar la terapia en casa a través de un artefacto portable y fácil de manejar.

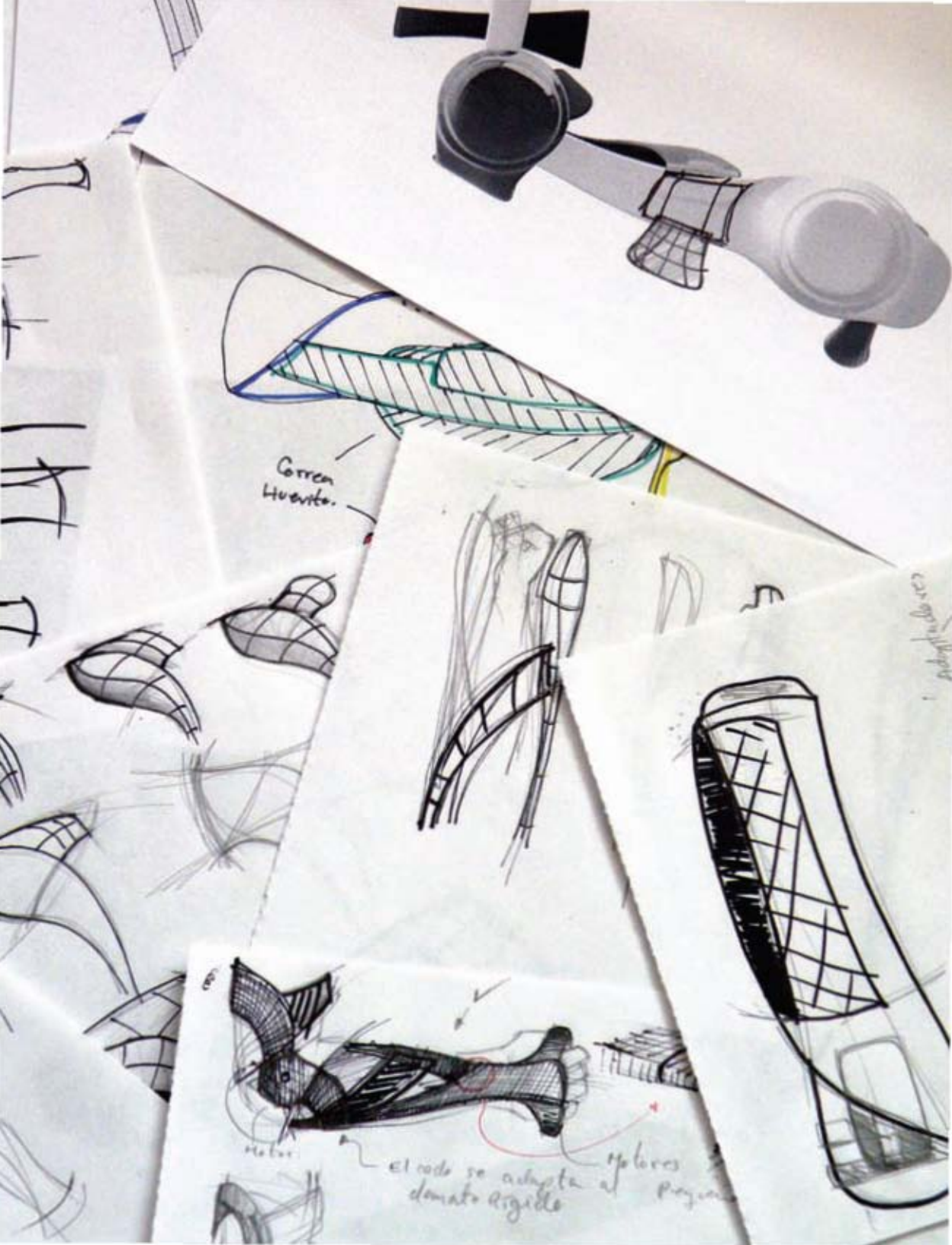
Al poder hacer la rehabilitación en casa es evidente que la recuperación de los usuarios será más rápida; esto se traduce en poder realizar las actividades más básicas, mejorando así su calidad de vida.

Para mejorar la comodidad del usuario y su relación con el producto se dividió el exoesqueleto en módulos, dependiendo de la articulación sobre la que se quiera trabajar. Aunque el diseño de cada módulo es diferente, se buscó obtener una integración estética y funcional de sus elementos.

En este capítulo se presenta una explicación del diseño y las características ergonómicas y funcionales de cada módulo, así como los elementos estéticos que definieron el diseño integral del exoesqueleto.

El diseño de los mecanismos se complementa con dos tesis aún en desarrollo de la Facultad de Ingeniería, realizadas por estudiantes que formaron parte del proyecto.

- Ortiz, Jesús (2012). Diseño de ortesis activa de mano para pacientes con espasticidad muscular. Tesis de Ingeniería.UNAM.
- Pérez, Nestor (2012). Diseño de ortesis activa de codo para rehabilitación de pacientes espásticos. Tesis de Ingeniería.UNAM.



Correa Huerto.

el codo se adapta al brazo rígido

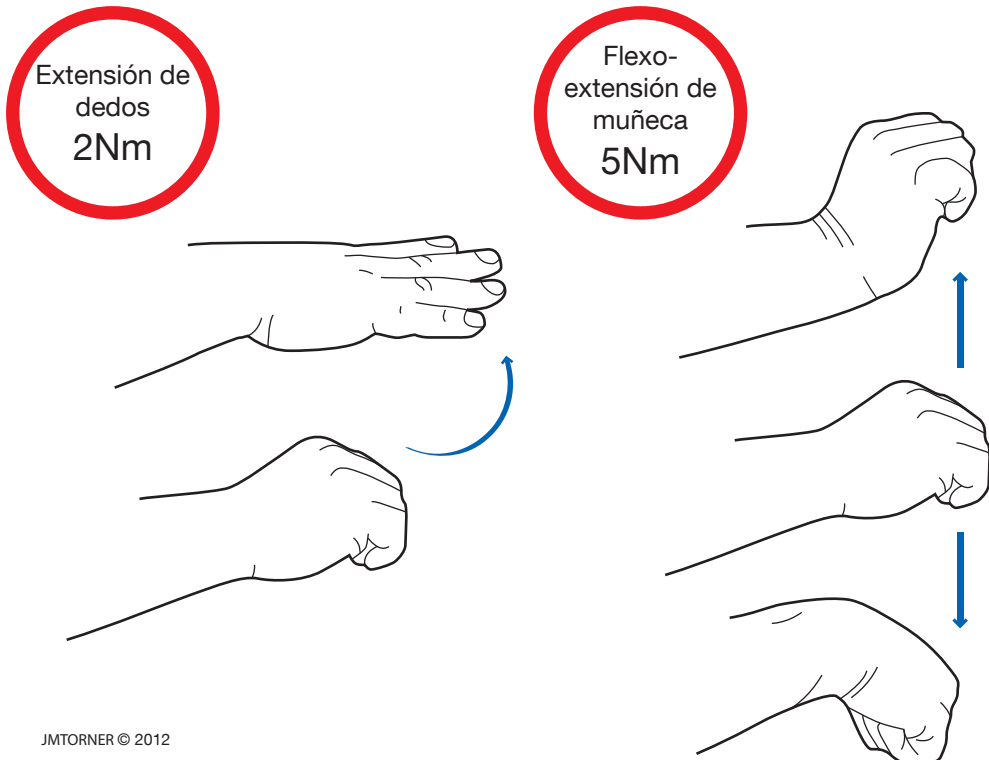
apoyos al Poyon

Consideraciones Biomecánicas

Como ya se mencionó en los capítulos anteriores se tomó una muestra del torque en personas mexicanas y se hizo una comparación con el torque producido por un paciente hemipléjico con las características de Israel, nuestro usuario voluntario. (Tabla 11.1)

Movimiento	Dato de la muestra	Torque (Nm)
Extensión de muñeca	General (MODA)	4.52
	Israel (PROMEDIO)	1.80
Flexión de codo	General (MODA)	18.37
	Israel (PROMEDIO)	4.07
Pronación	General (MODA)	3.84
	Israel (PROMEDIO)	2.71
Supinación	General (MODA)	6.78
	Israel (PROMEDIO)	1.70

Tabla.11. 1. Rangos de Fuerzas expresados en Nm (Newton*metro)

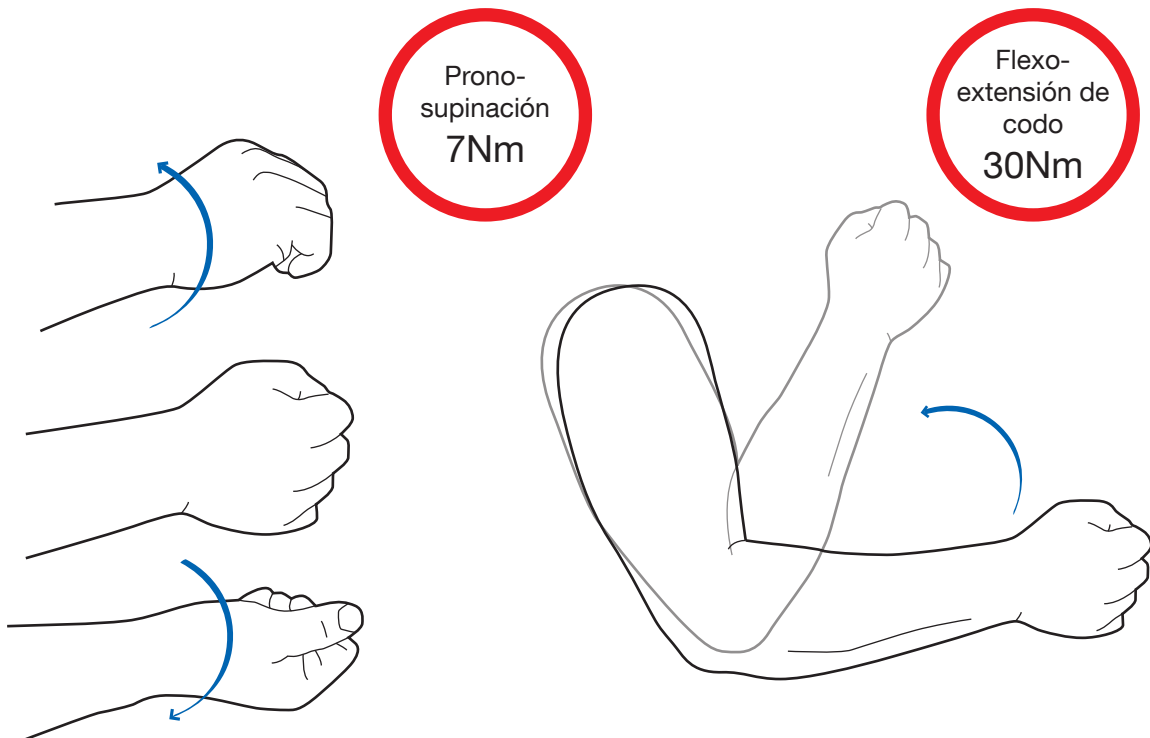


La comparación entre ambos datos permitió ver qué tan contraídos se encuentran los músculos de un paciente con hemiplejia. Israel presentó mayor contracción en el codo al momento de hacer la flexión y la supinación.

En el caso de los datos recopilados con personas sanas, se tomó la MODA como referencia, siendo ésta la fuerza que más se repite en el conjunto de datos. Los MÁXIMOS se toman en cuenta para establecer un tope de la fuerza del motor.

El torque de Israel se tomó como referencia para elegir los motores capaces de generar la potencia necesaria para combatir su espasticidad y la fuerza de la población sana para establecer el límite de torque. En el caso del extensor de dedos este dato se obtuvo de manera empírica con la fabricación de un prototipo funcional.

Fig.11. 2. Fuerzas consideradas para el funcionamiento del exoesqueleto

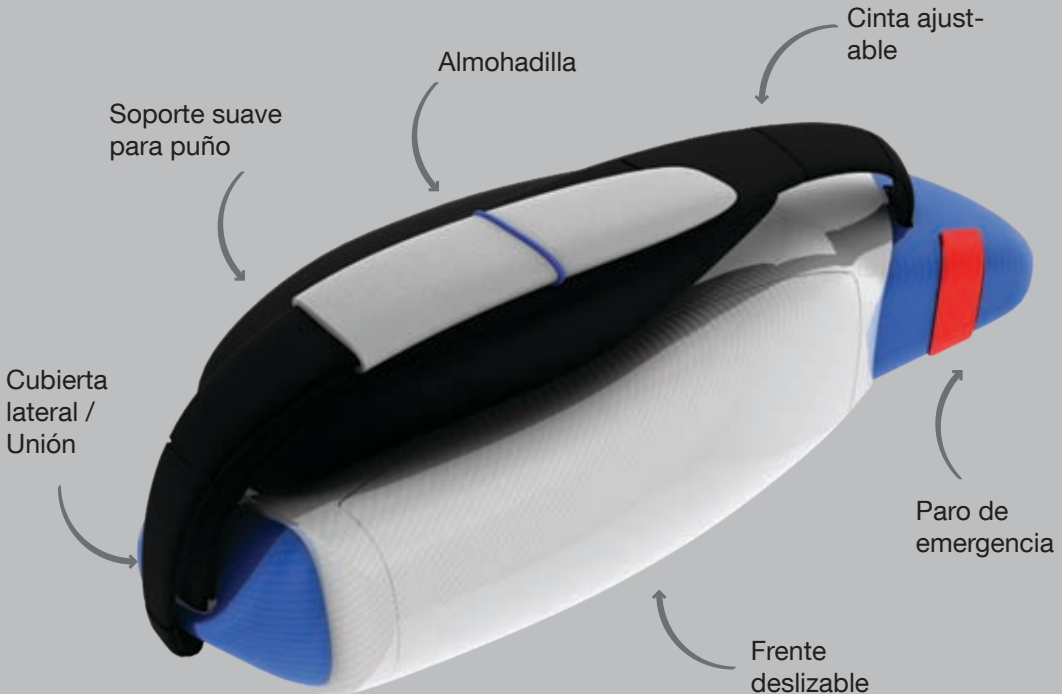


EL EXTENSOR DE DEDOS

Desde un inicio se pensó en combatir la espasticidad que presentan las personas con hemiplejía en los dedos de la mano. Los aparatos que ya existen atacan esta espasticidad desde afuera y los usuarios necesitan siempre la asistencia de alguien más para colocarlos. Fue a partir del análisis con Israel que se pensó en un artefacto que pudiera extender los dedos desde adentro.

El concepto comenzó como un huevo o globo que pudiera abrirse y extender los dedos del usuario de manera natural, sin que éste tuviera problemas de uso. El problema era cómo lograr abrir los dedos desde el interior de la mano. En esta etapa el trabajo en conjunto con estudiantes de Ingeniería y de Diseño Industrial fue de suma importancia para el diseño y conceptualización del mecanismo.

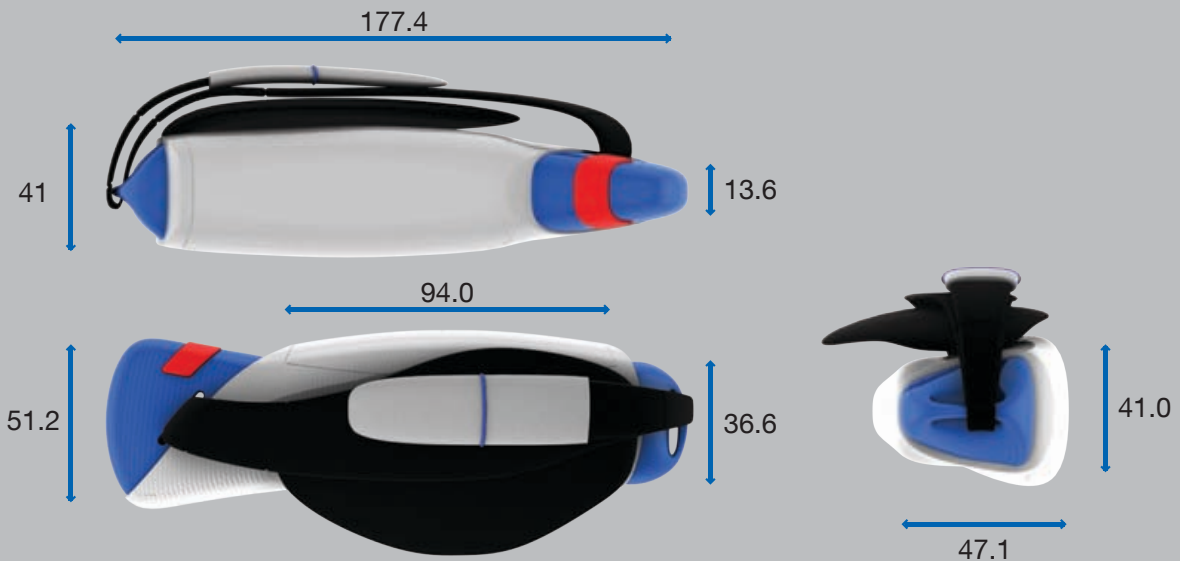
Fig.11. 3 A la izquierda, extensor de dedos y a la derecha, sus vistas generales



Al analizar la interacción notamos que para colocarse cualquier objeto en la mano, el usuario voluntario se ayuda de la otra extremidad para abrir los dedos de la mano afectada. Al hacer esto se vuelve una tarea imposible colocar algo entre los dedos sin ayuda. El diseño de este aparato se realizó pensando en que éste se pudiera introducir sin mucho esfuerzo en la empuñadura.

La empuñadura fue un factor fundamental, a partir de la cual se desarrollaron los simuladores previamente presentados; ésta se redujo lo más posible con el objetivo de que el usuario pueda introducir el extensor de dedos simplemente haciendo uso de la presión, sin ocupar la mano contraria para abrir sus propios dedos; en ésta descansa la palma de la mano y se asegura con la banda ajustable.

Otro punto importante es que el extensor de dedos es adaptable al módulo de la muñeca, el cual se explica más adelante.



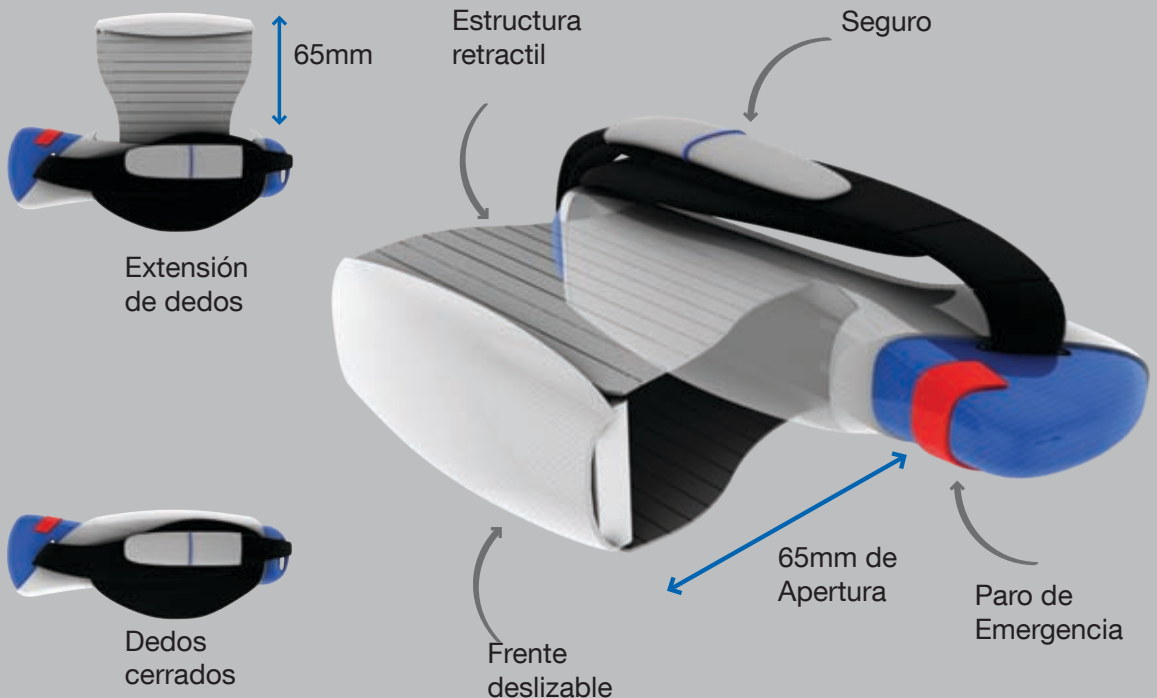
Cotas: mm

La apertura de los dedos

Como se vio en el capítulo anterior, se realizaron simuladores y prototipos funcionales. La apertura de dedos es posible gracias a un mecanismo de tijera en el interior que empuja el frente del aparato. Este mecanismo funciona gracias a un tornillo sin fin que desplaza dos piezas rígidas en las que se articula un par de barras que se cierran como una tijera al hacer el desplazamiento.

La apertura de los dedos va de los 0 a los 65 milímetros. Después de hacer pruebas con el prototipo funcional, el mecanismo se ajustó para lograr una distancia mayor. Esta distancia es suficiente para abrir los dedos de una persona dentro del percentil 95.

Por seguridad de los usuarios, en el momento en que el artefacto se abre se despliega una estructura semirrígida que oculta el mecanismo en su interior.



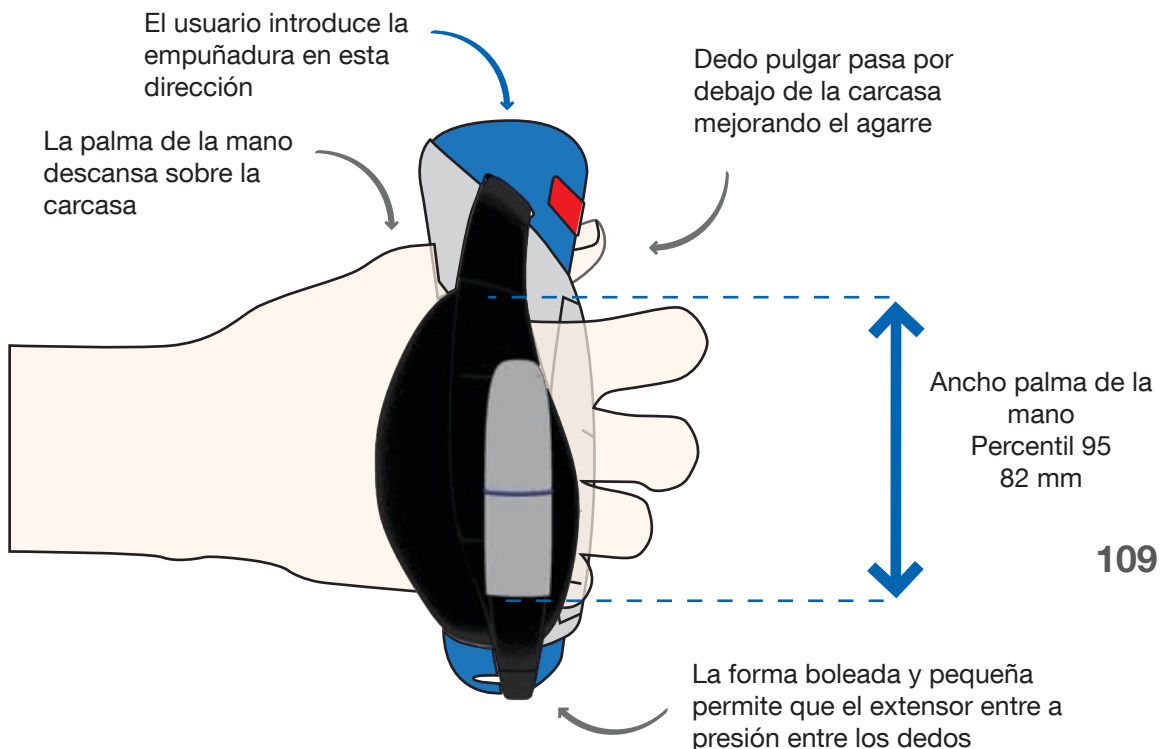
Esta estructura es capaz de ocultarse dentro de la carcasa cuando la cubierta frontal regresa a su lugar.

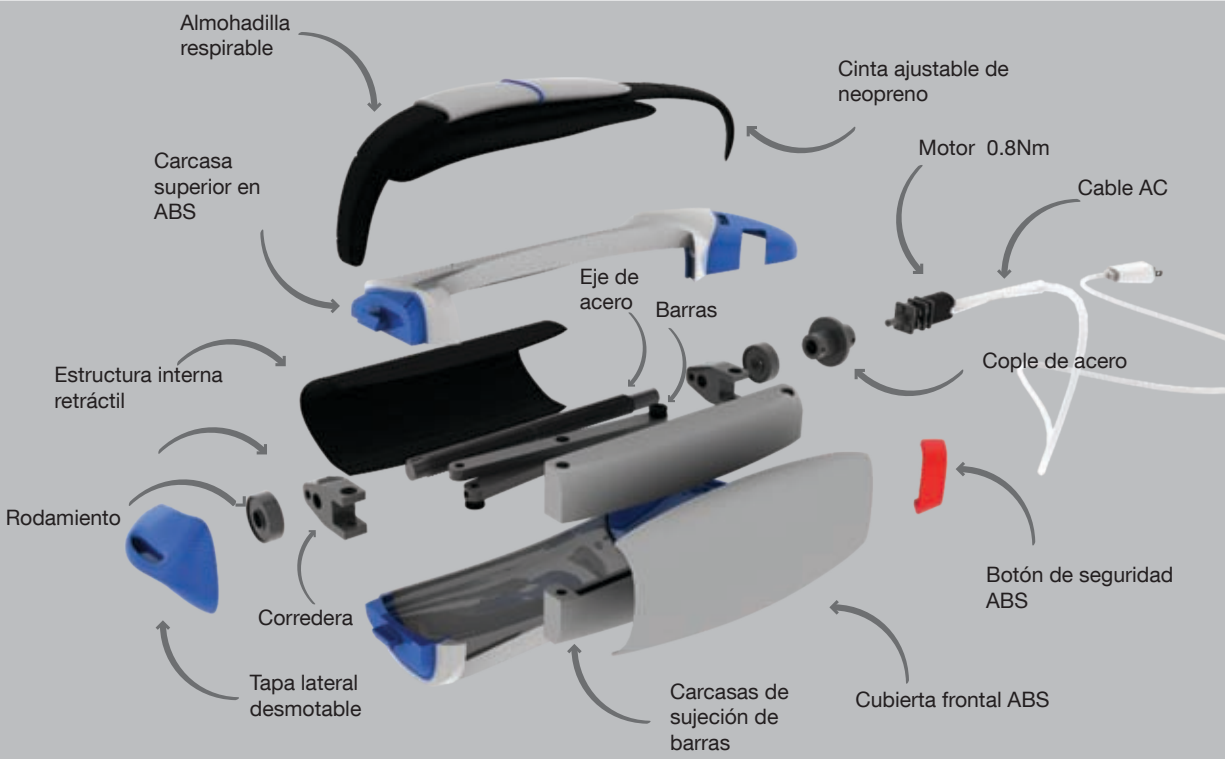
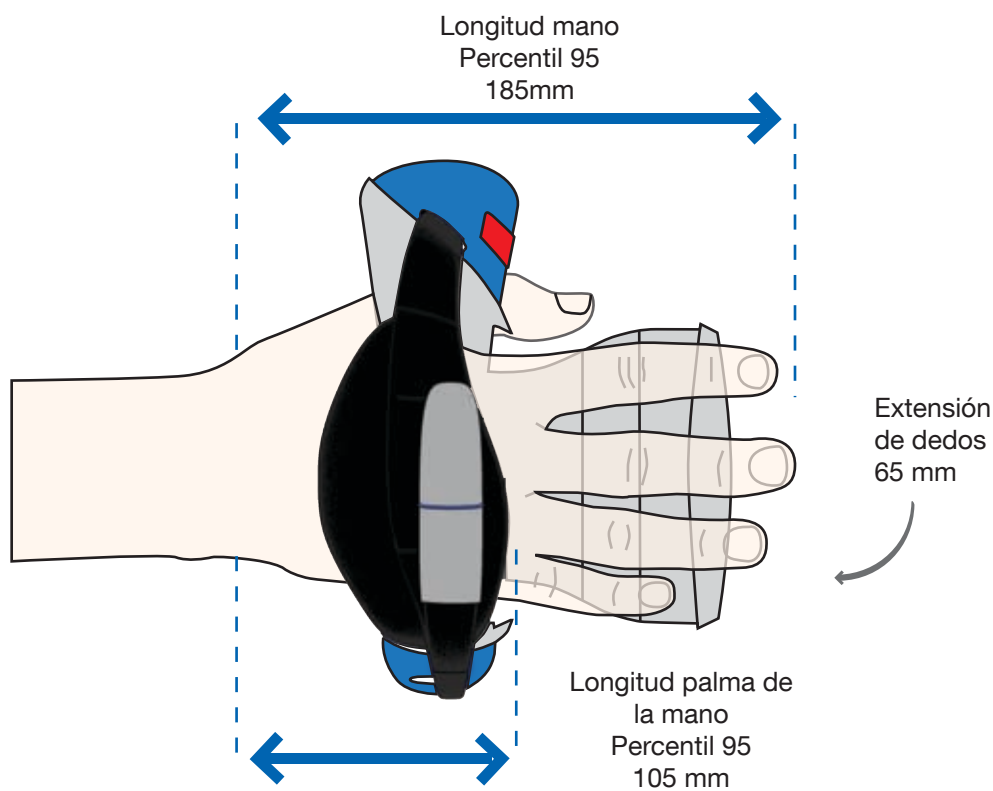
El diseño está pensado para que tanto usuarios zurdos como diestros puedan hacer el mismo uso del aparato, es por eso que su forma es longitudinal y que el botón de emergencia recorre ambas caras de la carcasa.

Para su desarrollo se consideraron las medidas principales de la mano como el ancho de la palma (Fig. 11.4) en el caso de la cubierta frontal, de tal manera que abarque los dedos de los usuarios con percentil 95.

La distancia de apertura se determinó tomando la longitud de la mano y de la palma como referencia. De esta manera se pudo determinar la apertura de dedos para los diferentes percentiles, siendo de 70 mm para el percentil 95.

Fig.11. 4 A la izquierda, apertura del extensor de dedos y a la derecha diagrama de antropometría y funcionamiento.





La apertura final se determinó en 65 mm, ya que la forma que el objeto tiene al frente permite una apertura mínima de los dedos, aun cuando esta cerrado. Al abrir, los 5 mm restantes de desplazamiento son cubiertos por esta misma forma ergonómica.

La producción

La intención al diseñar este módulo fue que se pudiera usar independientemente de los otros dos. Es por eso que el proceso de fabricación difiere un poco respecto de los otros dos módulos. Dado que la producción de este objeto puede llegar a ser a gran escala, se propone que las piezas principales estén inyectadas en Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS). Éstas llevan además un recubrimiento brillante y liso que permite su deslizamiento en la mano de los usuarios.

La carcasa está conformada por dos piezas iguales que atrapan el mecanismo en el interior y se unen por medio de ultrasonido. El eje principal del mecanismo gira libremente gracias a su adaptación a un motorreductor eléctrico (Torque = 2Nm) por medio de un cople. En el interior, los dos rodamientos que atraviesa el eje son sujetos, permitiendo que el eje permanezca en su sitio. Las piezas en el interior son fabricadas y maquinadas en acero.

Las piezas que atrapan las barras en su interior son inyectadas y sujetadas con pernos una vez que estas barras son aseguradas. Antes de su ensamble se colocan bujes maquinados en nylon que permiten un deslizamiento óptimo.

El botón en la parte frontal rodea el cuerpo del extensor, haciéndolo fácil de localizar y presionar. Éste, al igual que las demás piezas, está inyectado en ABS.

Para el ajuste, el extensor cuenta con una almohadilla respirable y con una banda elástica de neopreno asegurada con velcro en la cara opuesta.

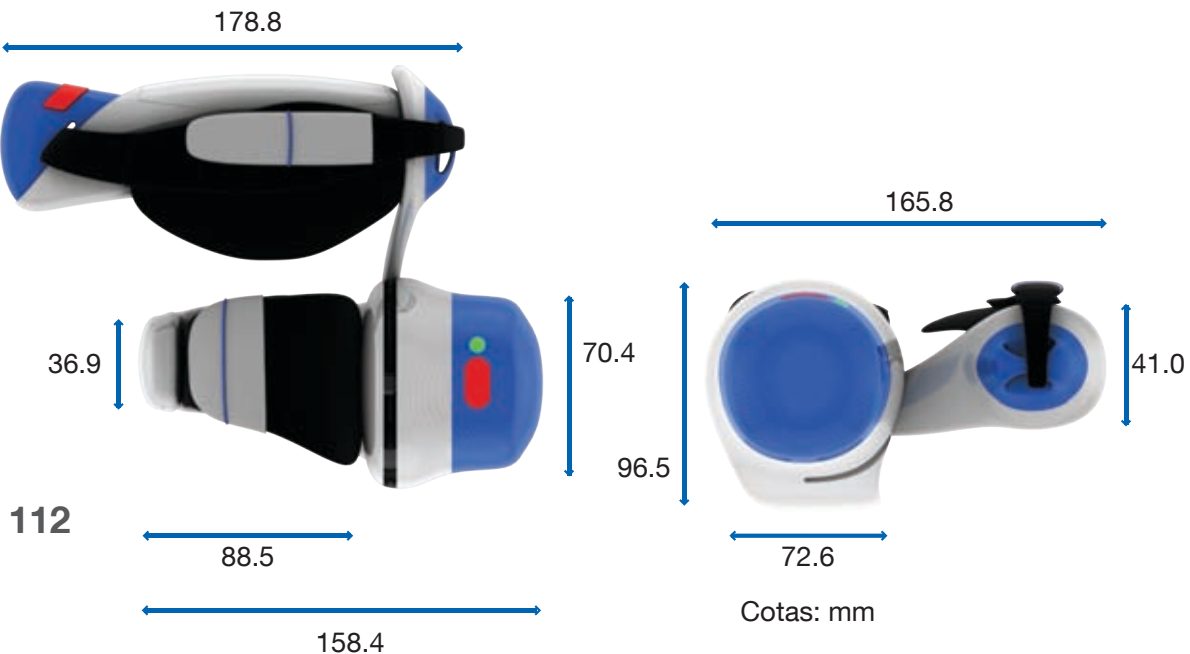
EL MÓDULO PARA LA MUÑECA

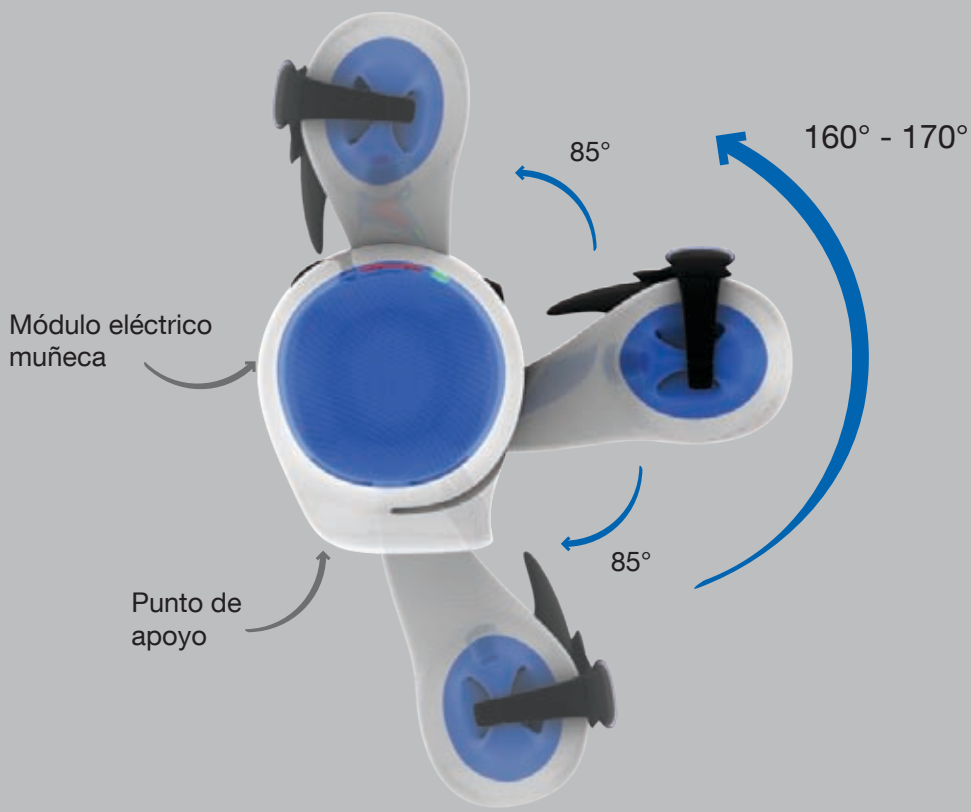
Uno de los principales problemas en pacientes hemipléjicos es la contracción de la muñeca. La inclusión de un módulo para la rehabilitación de muñeca se consideró indispensable.

Cabe mencionar que este módulo se adapta al extensor de dedos, con el fin de que los usuarios puedan complementar la terapia en los dedos como en la muñeca. Esta conexión permite tener un mejor y más continuo avance en la rehabilitación.

El rango de movimiento que se tiene en este módulo es de 85° en la flexión y 85° en la extensión. El módulo busca eliminar la contracción de la muñeca que presentan los pacientes hemipléjicos.

Fig.11. 6 Módulo de muñeca. A la izquierda, vistas generales y a la derecha, rangos de movimiento

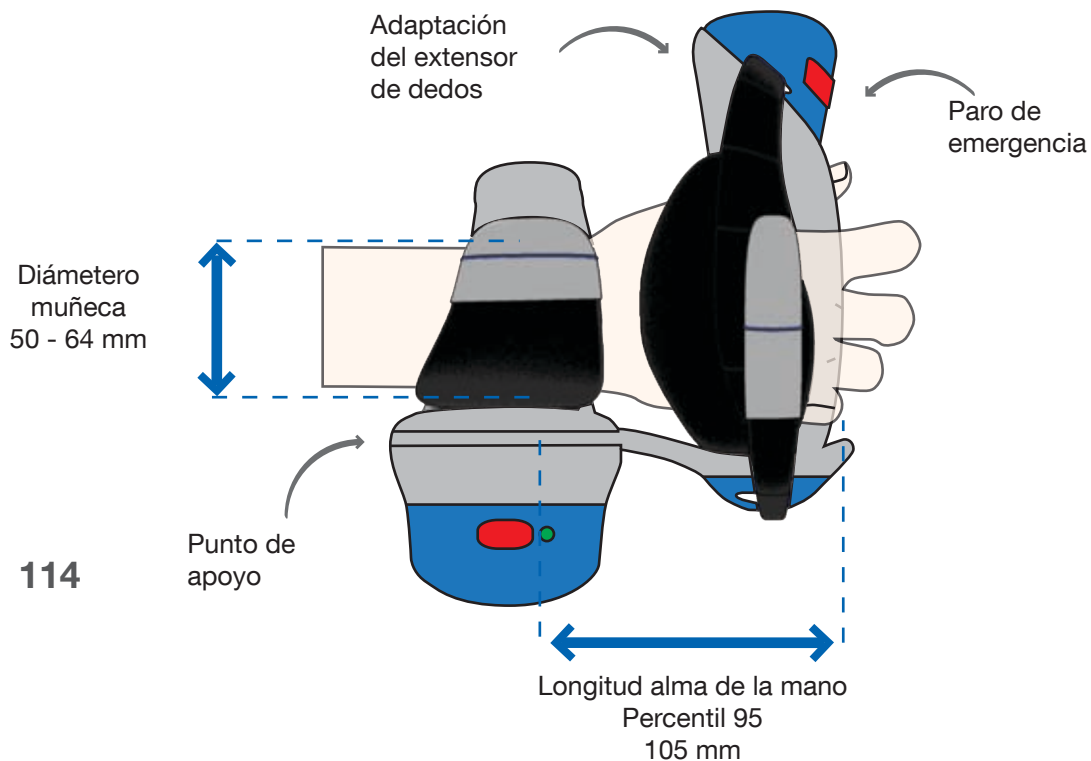




La extensión de muñeca

En este caso se diseñó el mecanismo buscando emular la articulación de la muñeca. La pieza de mayor importancia es el punto de apoyo que soporta el módulo eléctrico conteniendo al motor y al mecanismo. En este módulo se genera la fuerza para poder levantar en este caso el extensor de dedos, que se adapta como agarradera.

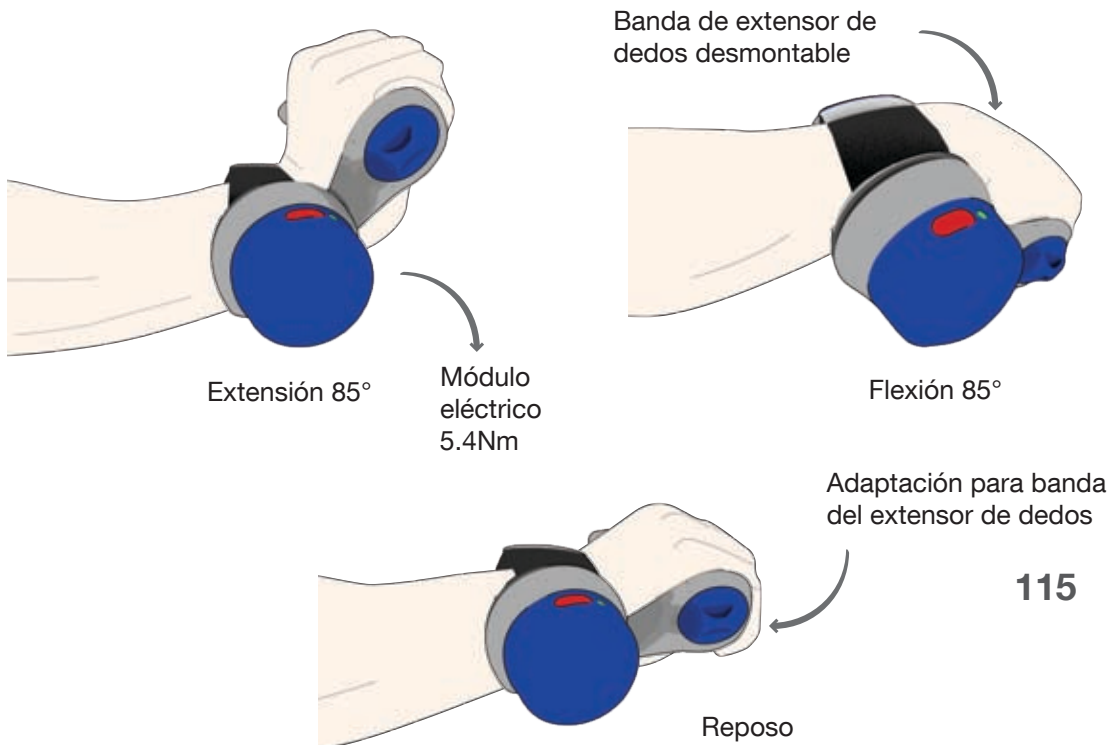
En el módulo eléctrico se encuentra un LED de funcionamiento que se enciende en cuanto el usuario inicia la terapia. En caso de que haya algún problema, el usuario cuenta con un botón de alto total que detiene por completo el movimiento, esto en caso de que no se cuente con el control remoto en ese momento. Cabe mencionar que en los rangos de movimiento y en la programación se contempla un margen de seguridad para los usuarios.



La técnica de producción del punto de apoyo permite que sea ajustable, además de contar con una almohadilla y una banda también ajustables. En el diseño se tomaron en cuenta las dimensiones de los percentiles 95 principalmente en el diámetro de la muñeca, para el ajuste necesario, y la longitud de la palma, que permitió establecer la distancia del módulo a la agarradera o en este caso el extensor de dedos.

Como se explicó anteriormente, se llevó a cabo un simulador de este mecanismo en el que se observaron singularidades tanto en el funcionamiento como en el peso y las dimensiones. Esto se debió principalmente a problemas de manufactura, ya que fue un modelo de función crítica; y en cuanto al peso y las dimensiones, el motor que se consideró en este diseño es más ligero y potente, además de que las piezas tienen la posibilidad de ser ajustadas personalmente.

Fig.11. 7. A la izquierda, diagrama antropométrico y de funcionamiento, y a la derecha, secuencia de uso

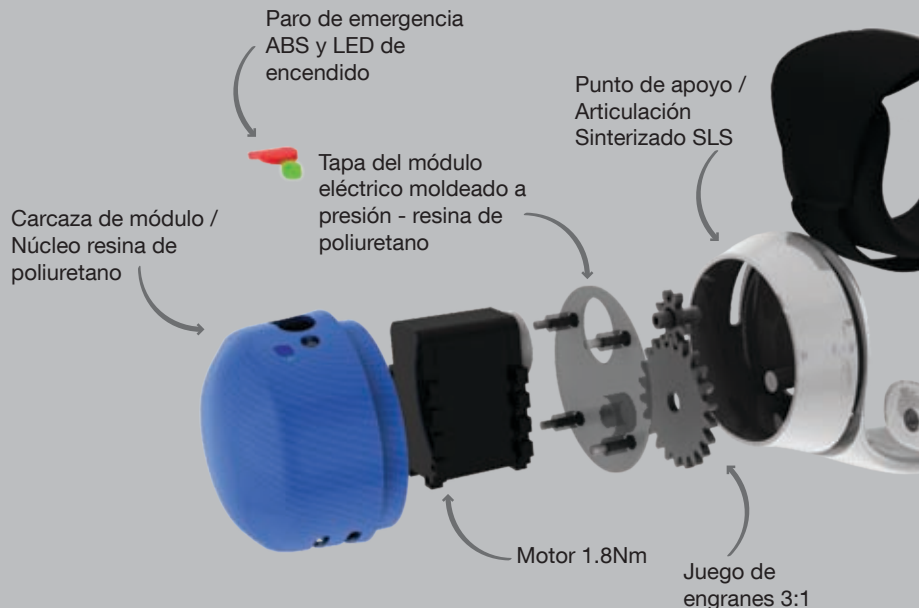


La producción

El módulo de muñeca está pensado para tener una producción de pequeña escala. El proceso de producción cambia en algunas de las piezas, logrando así un mejor ajuste a cada usuario.

El artefacto de muñeca cuenta con un núcleo desmontable que contiene el mecanismo. Éste se separó de las demás piezas para su mejor uso y mantenimiento, y en caso de avería, poderlo reemplazar totalmente. La carcasa del módulo está moldeada a presión en resina de poliuretano y cuenta con espacio para el motor y para la tarjeta de componentes. Ésta incluye la tapa, la cual lo protege y permite su conexión con el punto de apoyo de la muñeca. Esta cubierta se asegura a la carcasa por medio de tornillos. Los engranes del mecanismo son fabricados en acero y quedan atrapados entre el módulo eléctrico y el punto de apoyo de la muñeca.

Siendo el punto de apoyo la pieza más importante, está diseñada para fabricarse en Duraform EX por medio del Sinterizado Selectivo a Láser (SLS).



Estos materiales cuentan con una gran resistencia mecánica. Se escogió este proceso ya que permite que cada pieza sea personalizada, además de que los costos son mucho menores a la fabricación de un molde de inyección de plástico con el mismo acabado. Una vez fabricadas las piezas originales, se podría hacer un molde en silicón para una futura producción similar.

En el caso del brazo de palanca, también se producirá impresa en tres dimensiones. En este caso se recomienda que se fabrique un molde de silicón para su posterior fabricación en serie, posiblemente en resina de poliuretano. Cuenta con el sistema de unión entre el extensor de dedos, que consiste en un seguro que se activa al momento de introducir el extensor, quedando atrapado y convirtiéndose en la agarradera del usuario.

Para el ajuste en el área de la muñeca, el punto de apoyo cuenta con una almohadilla respirable y dos bandas flexibles ajustables, que se aseguran a la pieza principal del módulo. Ambas están recubiertas con neopreno, que permite una buena respiración y alta flexibilidad.

Fig.11. 8. Despiece módulo de muñeca

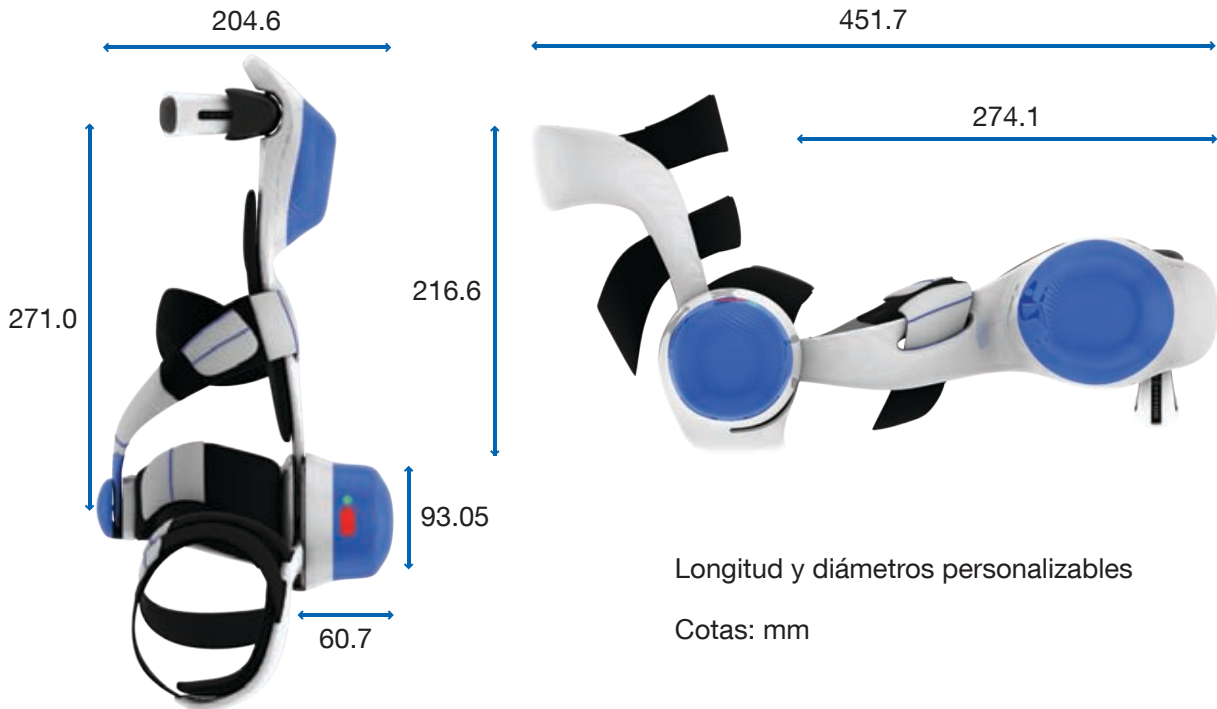


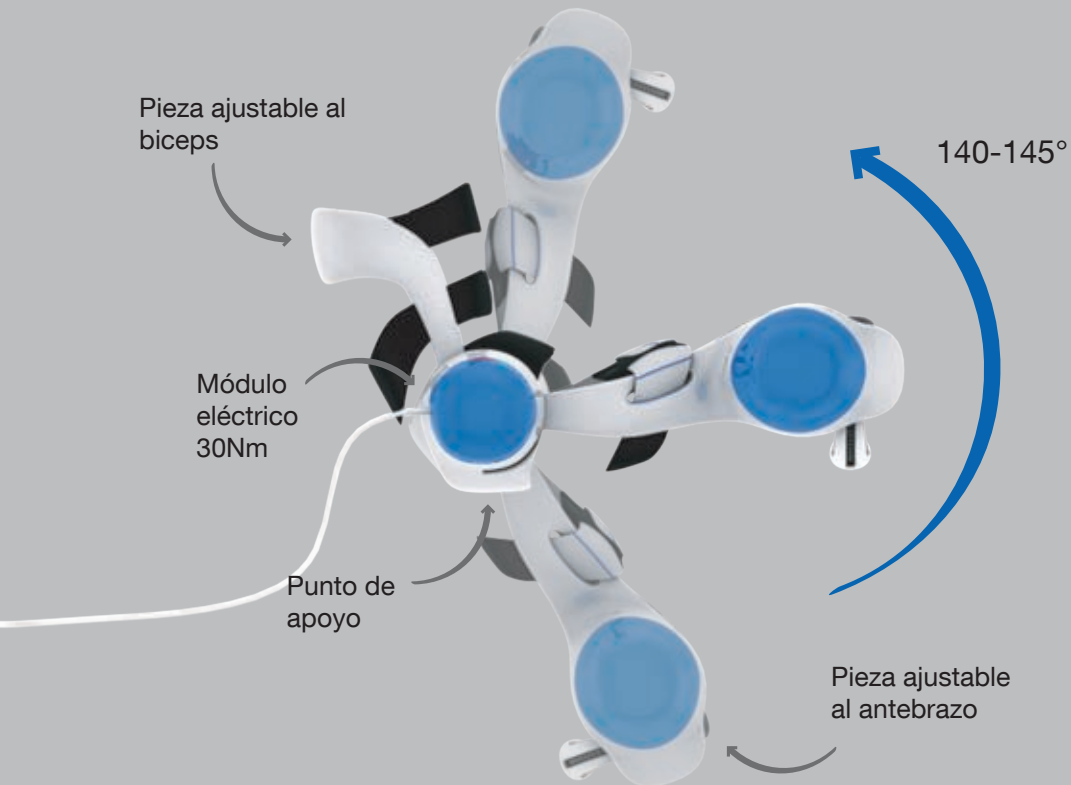
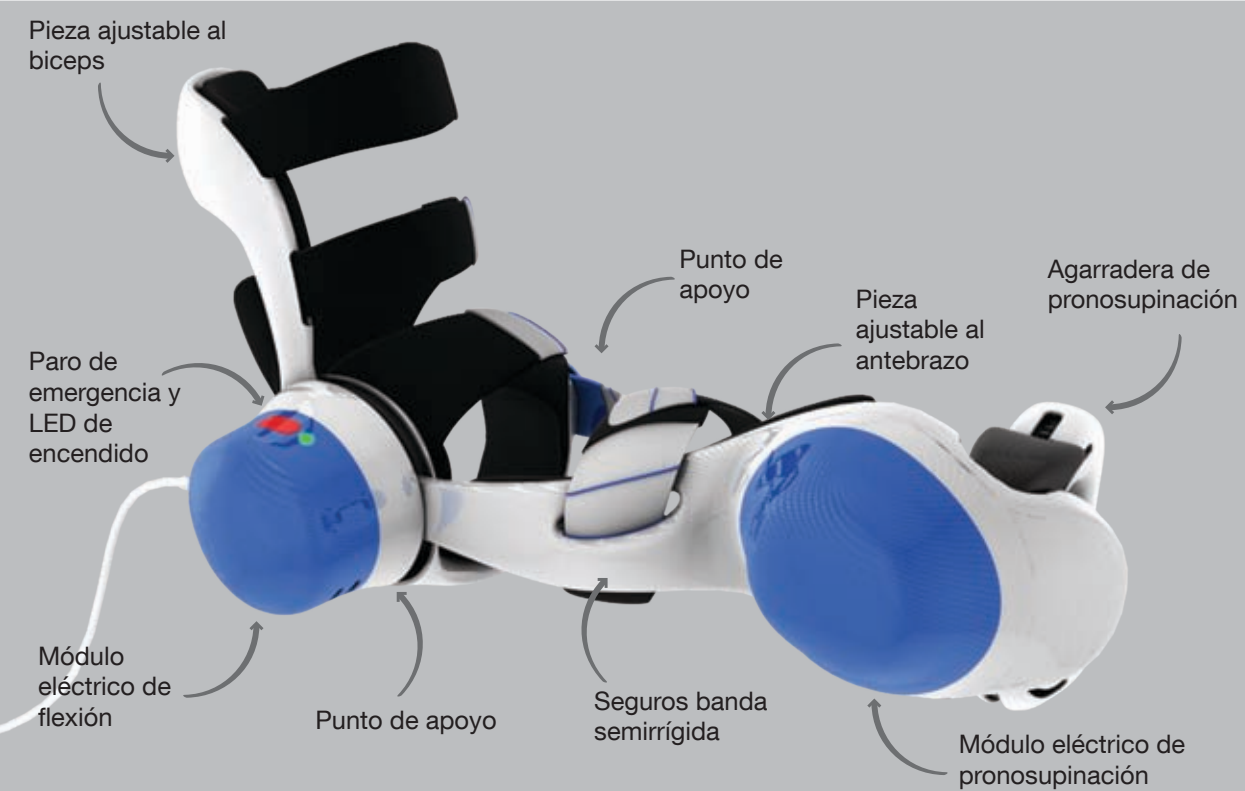
EL MÓDULO PARA EL CODO

La función principal de este módulo es el ejercicio de movimientos de flexión y extensión, así como los de pronación y supinación, que aunque se ven reflejados en la muñeca, tienen su origen en el codo. El rango de movimiento va de los 140° a los 145° a partir de una extensión total del brazo.

Al igual que en el módulo de muñeca costado se encuentra el módulo eléctrico, que contiene el motor y la tarjeta de componentes, en donde se encuentra un LED de encendido y el botón de paro de emergencia. El módulo en color azul es desmontable en caso de necesitar mantenimiento. El ensamblaje entre el punto de apoyo y el módulo eléctrico permite atrapar el segmento del bíceps y del antebrazo, articulándolos y logrando la flexoextensión del codo.

Fig.11. 9. Módulo de codo. A la izquierda, vistas generales y a la derecha, rangos de movimiento.





Flexión / Extensión

Para poder realizar el movimiento de flexión y extensión, el exoesqueleto cuenta con un punto de apoyo en el codo y sujeto al antebrazo. Este punto de apoyo funciona como articulación entre dos piezas que se ajustan al bíceps y al antebrazo respectivamente.

La pieza ajustable al antebrazo en color blanco cuenta con seguros internos en los que se asegura tanto una banda de neopreno como la banda semi-rígida que le brinda apoyo, articulada y fabricada por medio de Sinterizado Selectivo a Láser; se encuentra asegurada en el punto de apoyo de la flexión, permitiendo la rotación junto con la pieza de color blanco, brindándole apoyo al momento del giro.

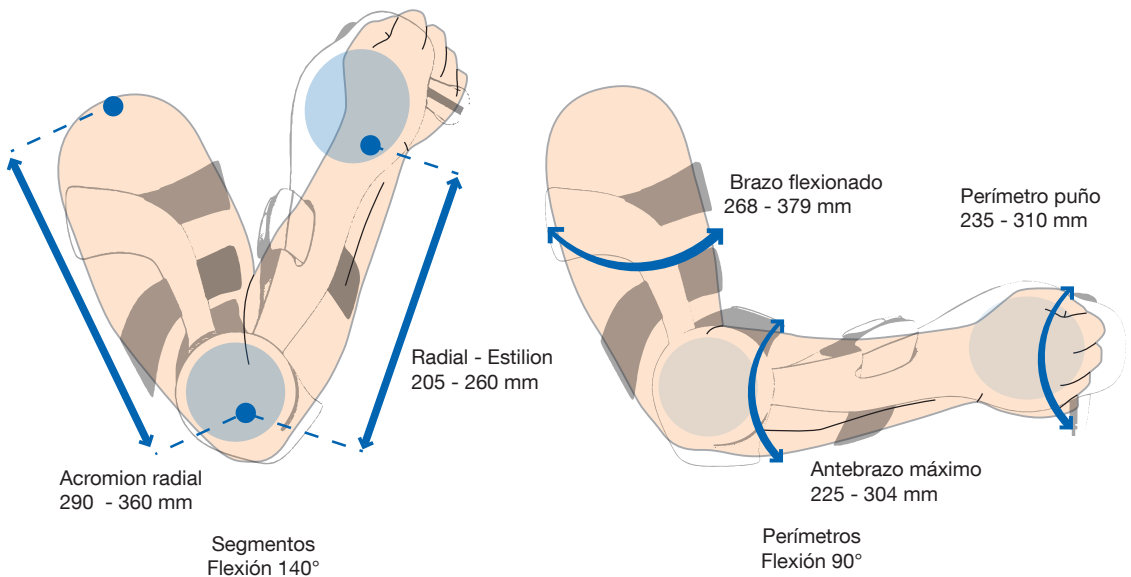
Fig.11. 10. A la izquierda, flexión y extensión, y a la derecha diagrama antropométrico y de funcionamiento.



En la parte posterior se encuentra el apoyo del bíceps, el cual se diseñó de acuerdo a los simuladores presentados en el capítulo anterior. Esta pieza brinda apoyo a 3/4 del perímetro total del brazo y por medio de cuatro cintas ajustables se asegura totalmente. Al igual que la pieza principal, la zona del bíceps está articulada para poder realizar los movimientos de flexo-extensión.

Al frente se encuentra la agarradera que permite realizar la pronación; ésta se encuentra asegurada al segmento del antebrazo; una vez que el usuario toma de ella puede empezar a realizar los movimientos.

El diseño de las piezas tanto del bíceps como de la flexión están contemplados para ser ajustables, es por esto que para el diseño de cada producto es importante considerar los segmentos ergonómicos y perímetros mostrados a continuación. En el caso de este diseño en particular se tomó el percentil 95 como referencia en la cédula antropométrica.



La Pronación / Supinación

La pronosupinación es el segundo movimiento integrado en el módulo de codo. El rango de movimiento en este caso es de 85° a 90° en pronación como en supinación. Cabe mencionar que los pacientes hemipléjicos presentan una contracción tal que en muchos casos no pueden realizarlo.

El mecanismo de pronación y supinación está conectado a la pieza que realiza el movimiento de flexo extensión explicado anteriormente. En esta pieza se aloja el mecanismo que permite que la agarradera rote sobre un mismo eje.

Al igual que el movimiento de flexión, el mecanismo de la pronación y supinación se encuentra alojado en un módulo eléctrico desmontable. En su interior se encuentra un engrane conectado al motor, el cual a su vez tiene contacto con otro de mayor tamaño alojado dentro de la agarradera.



El diseño de este mecanismo presentó una complicación por los resultados obtenidos en los simuladores, pero al final se llegó a una solución que permitió eliminar las barras por ambos lados del brazo y quitarle peso al producto.

La agarradera se encuentra asegurada a los costados por dos ejes u horquillas que permiten que se mantenga en la misma posición mientras gira sin salirse. Estos ejes se encuentran asegurados al interior de la pieza longitudinal del brazo. La empuñadura permite además que para el usuario sea más sencillo ponerse el exoesqueleto, ajustando primero el área del bíceps y posteriormente la del antebrazo.

Ambos mecanismos se encuentran conectados y pueden ser detenidos por el botón de seguridad que se encuentra en el módulo eléctrico en la articulación del codo.

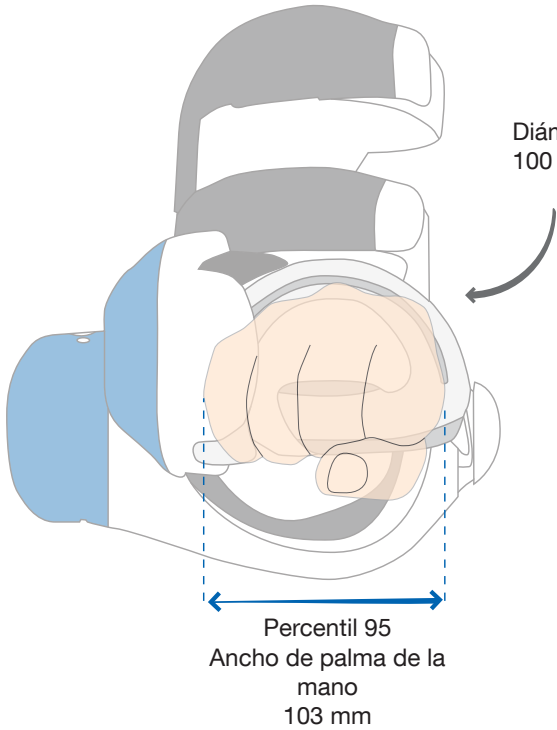
Fig.11. 11. Módulo de codo. A la izquierda pronación y supinación, a la derecha, rangos de movimiento



Para poder realizar los movimientos de pronación y supinación fue necesario dejar libre el antebrazo, de lo contrario se producirían lesiones en el antebrazo de los usuarios. Las bandas fijas en la parte media del antebrazo realizan esa función y permiten que el codo gire sin problemas para lograr la rotación. Una vez aseguradas las bandas flexibles el usuario puede tomar la empuñadura y rotarla a un lado o hacia el otro. Al mismo tiempo puede realizar la flexión del codo.

Ambos mecanismos se encuentran conectados y pueden ser detenidos por el botón de seguridad que se encuentra en el módulo eléctrico en la articulación del codo.

Para el diseño de la empuñadura se tomó en cuenta principalmente el diámetro del puño y el ancho de la palma de la mano. Esta última fue la principal ya que el pulgar pasa por la parte de afuera de la empuñadura y se apoya en la zona donde se encuentra la superficie antiderrapante. La forma del mango permite agarrarlo con firmeza y evitar que resbale; además, los canales y ranuras tienen las dimensiones necesarias de seguridad, evitando que los dedos tengan contacto con el mecanismo.



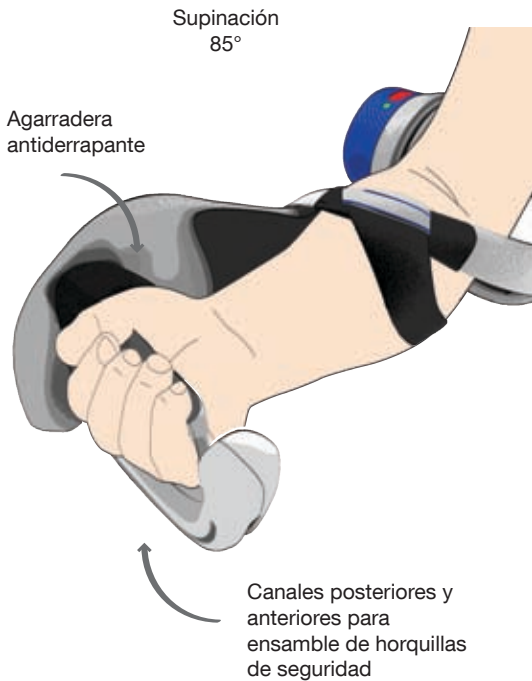
Diámetro interno
100 mm

Percentil 95
Ancho de palma de la
mano
103 mm



La agarradera se
cuenta sujeta por
horquillas a los
lados

Posición en reposo



Supinación
85°

Agarradera
antiderrapante

Canales posteriores y
anteriores para
ensamble de horquillas
de seguridad



Engrane interno
Cubierta de seguridad
evita contacto con los
dedos

Pronación
85°

La Producción

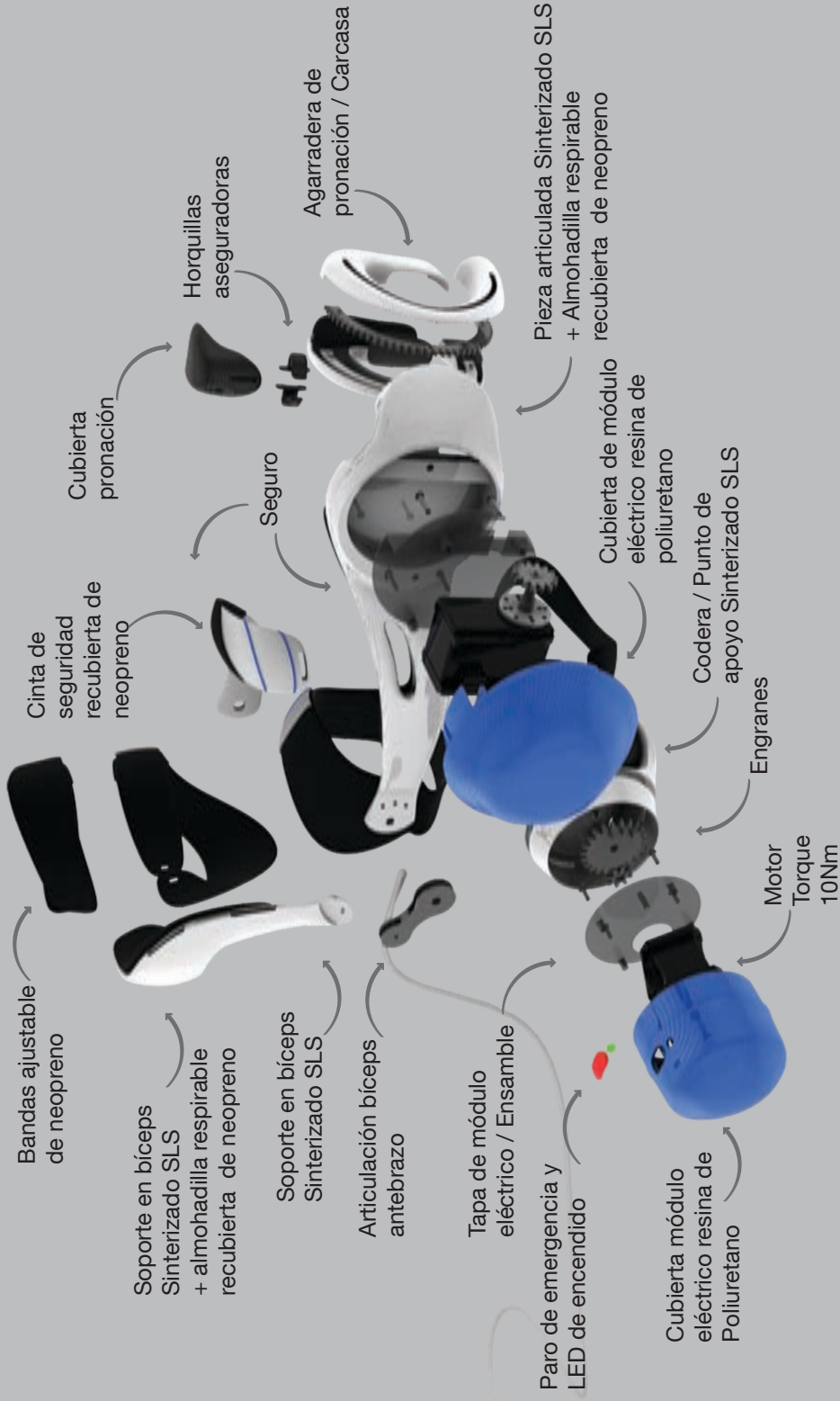
Uno de los aportes más importantes de este diseño es la capacidad de personalización y adaptación al cuerpo de los usuarios, haciendo uso de las nuevas tecnologías de producción. Un ejemplo de esto es la pieza ajustable al antebrazo, la cual representó un reto de diseño importante.

Tanto la pieza que se extiende por el antebrazo como el soporte de los bíceps y el punto de apoyo para la flexión del codo, son fabricados en Duraform EX, por medio del Sinterizado Selectivo de Láser. Esto debido a su alta complejidad formal, además de la producción a mediana escala. La ventaja principal de este proceso es la personalización a través de programas CAD, además de materiales ligeros y de alta calidad.

Por otro lado, la banda de seguridad semirrígida que cruza el brazo de un lado a otro cuenta con una estructura articulada que brinda tanto soporte como flexibilidad al momento de realizar los movimientos. Esta estructura también se fabricaría por SLS.

Por otro lado existen piezas fabricadas con resina de poliuretano de alta calidad, como la carcasa del módulo eléctrico tanto en flexión como en pronación. Estas piezas son fabricadas a presión en un molde de silicón; se escogió el proceso por el tamaño de la producción. En el caso de la empuñadura, cuenta con una inyección de ABS para el cuerpo y polipropileno para la superficie antiderrapante. Los componentes en su interior son comerciales y los juegos de engranes son fabricados en acero.

Por último, este módulo cuenta en total con tres almohadillas respirables y ocho cintas ajustables recubiertas de neopreno, las cuales brindan apoyo y soporte en las zonas más necesarias.



LA INTEGRACIÓN

Desde un inicio se decidió la división por módulos para una mejor interacción con el objeto ya que los usuarios no realizan todos los tipos de terapia simultáneamente.

Esta división presentó un reto importante de diseño, más aún al considerar que estos módulos debían integrarse entre ellos de manera funcional y estética.

El objetivo de hacer un objeto portable para realizar terapia en casa se cumplió, pero, ¿cómo integrar las funciones de cada módulo si se usan por separado? Para un funcionamiento en conjunto, se determinó que la interface sería a través de un control remoto. En un inicio se contempló la posibilidad de que los controles estuvieran en el extensor de dedos, pero esto sólo complicaba al mismo artefacto y su relación con los demás. Es por esto que el control remoto universal fue la mejor opción. (Fig. 11.14)

Se establecieron tres funciones básicas para los módulos pensando en el ajuste tanto de tiempo de terapia como de la fuerza de los motores.

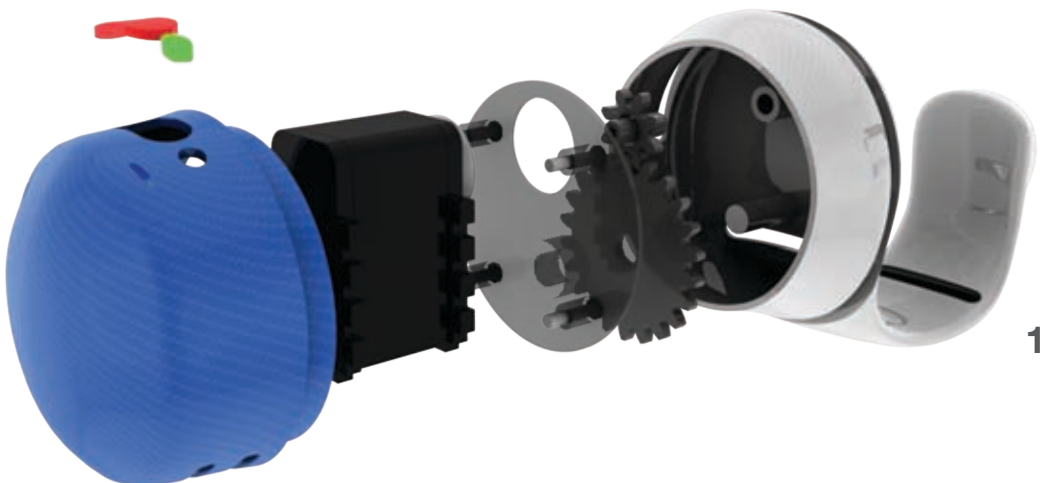


Para empezar el usuario elegirá el ejercicio que piensa realizar, después establece el tiempo de terapia. Al presionar ENTER el módulo seleccionado comienza a trabajar y el LED de funcionamiento se enciende. Mientras esto sucede el usuario puede ajustar la asistencia electrónica, es decir, que tanta ayuda recibe el paciente para realizar los movimientos. La idea es que con el paso del tiempo el usuario haga los movimientos de manera más independiente, haciendo del exoesqueleto un aparato de ejercicio.

Otro punto importante es la integración de dos terapias en una, siendo el caso del extensor de dedos y la muñeca, y de la flexión / pronación del codo. Esta integración responde en verdad a la manera de realizar terapia.

Por otro lado, la inclusión de módulos o núcleos eléctricos integró a los objetos estéticamente y le dio mayor versatilidad funcional al producto, permitiendo la fabricación por separado de estas piezas. Se tomó la decisión de que éstos se conecten a la corriente para realizar los movimientos. La inclusión de batería implica aún mucho espacio y peso que hacen al exoesqueleto menos funcional.

Fig.11. 14. A la izquierda, control remoto y selección de movimiento, y a la derecha, detalle del módulo eléctrico desmontable de muñeca

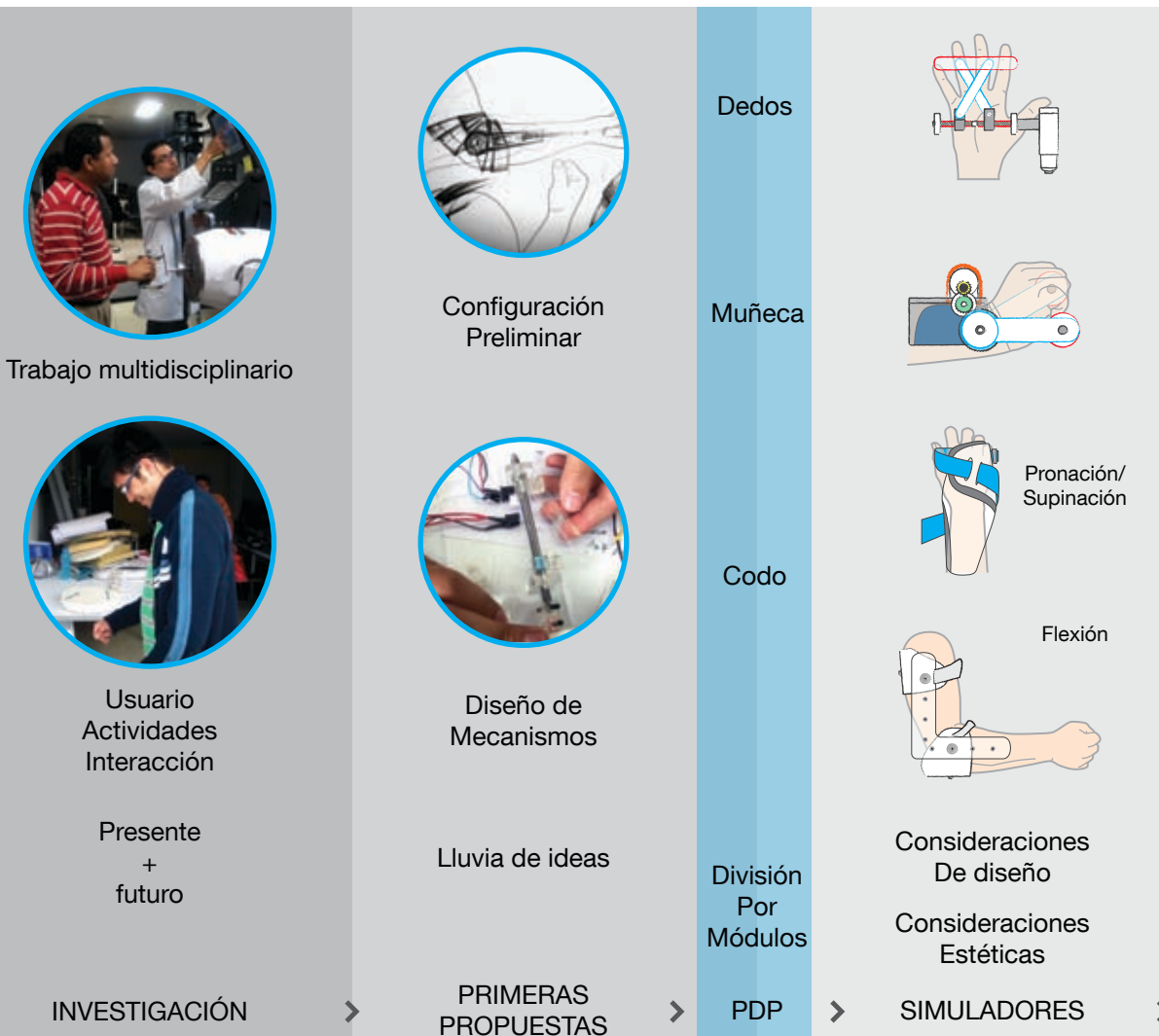


Sobre el proceso de integración

Desde el inicio del proyecto se planteó la división del exoesqueleto por módulos, sin embargo, la integración de todo en un solo objeto fue algo en lo que se pensó desde el principio. A continuación se presentan de manera lineal las etapas del proceso hasta llegar a la integración. (Fig. 11.15)

Fue durante el proceso de diseño que cada módulo se desarrolló por separado hasta llegar a la propuesta final.

Fig.11. 15. Proceso de integración de los módulos

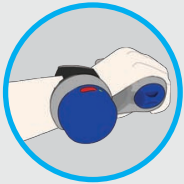


En lo que se refiere a la mano y la muñeca, éstos se integran ampliando las posibilidades de terapia. Por otro lado, los movimientos del codo se lograron integrar en un solo aparato.

Posteriormente se pasó por un proceso de iterativo de diseño entre las propuestas de tal manera que se lograra una unidad entre todos los elementos. Además, se trabajó en el diseño de una interface integradora de los elementos. Los módulos eléctricos desmontables funcionan como puntos o partes integradoras entre los artefactos.



Dedos
+
muñeca



Codo
Integración de
Movimientos



Diseño
Mecanismos
(Facultad
Ingeniería)

Diseño por
Módulos



Análisis de curvas

Materiales

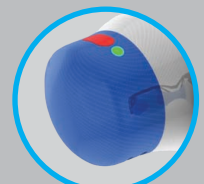
Interacción



Interface universal
Entre módulos



Elementos en
Común



Paro general

PROPOSTA
FINAL

INTEGRACIÓN
FUNCIONAL

INTEGRACIÓN
FORMAL

CONCEPTO
FAMILIA

CONFIGURACIÓN ESTÉTICA

El aspecto formal fue uno de los pilares que dirigieron el curso del proyecto, siendo uno de los objetivos diseñar un producto que tuviera un efecto visual positivo tanto para el usuario como para las personas que lo rodean.

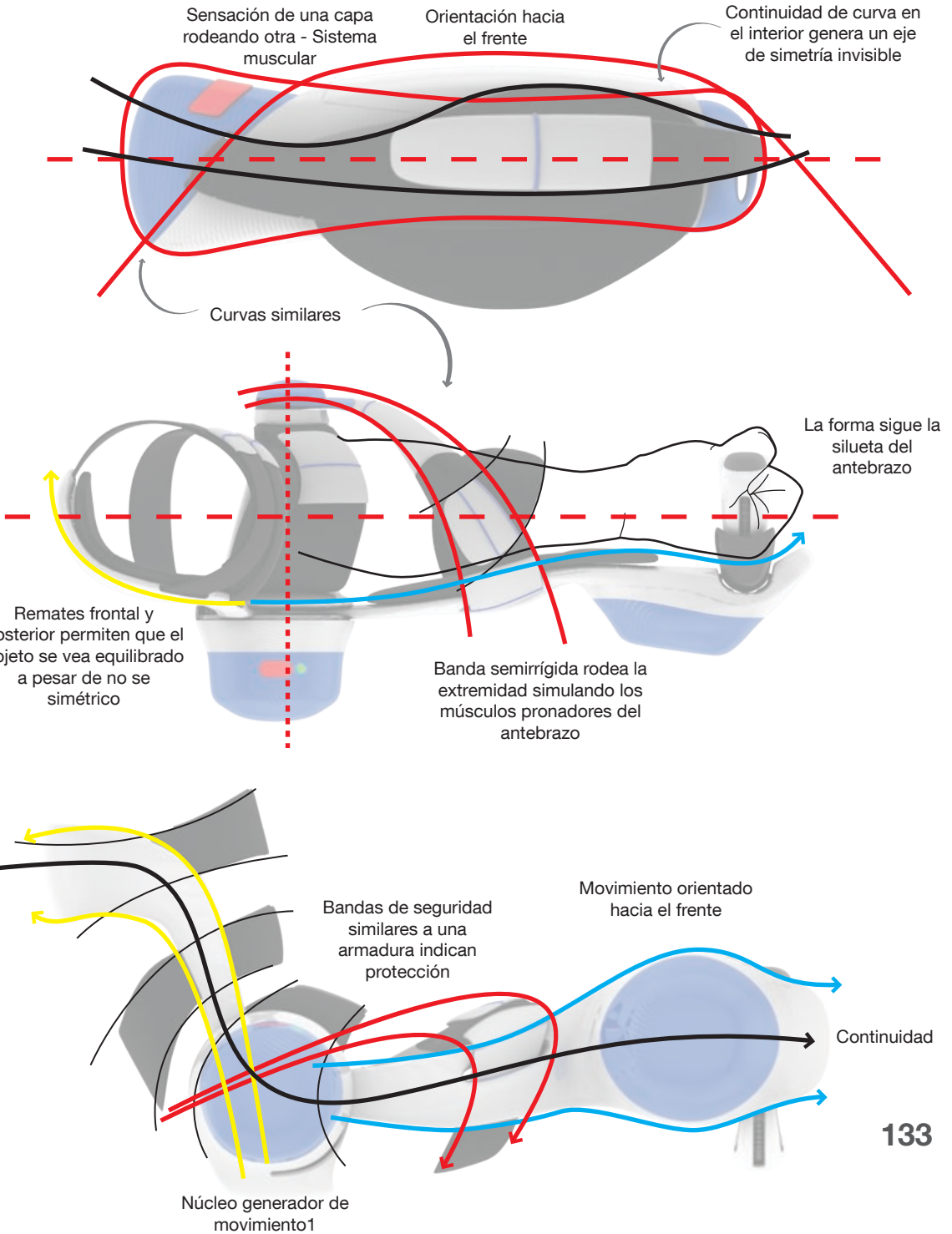
La apariencia es fundamental para que el usuario adquiera un producto. En el caso de las personas con alguna discapacidad, los productos que usan pueden tener un impacto psicológico importante. Se buscó que el diseño del exoesqueleto impulsará a los usuarios a hacer terapia y mejorar su proceso de recuperación.

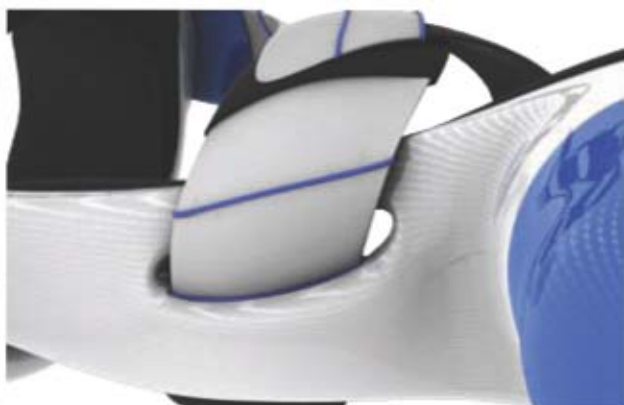
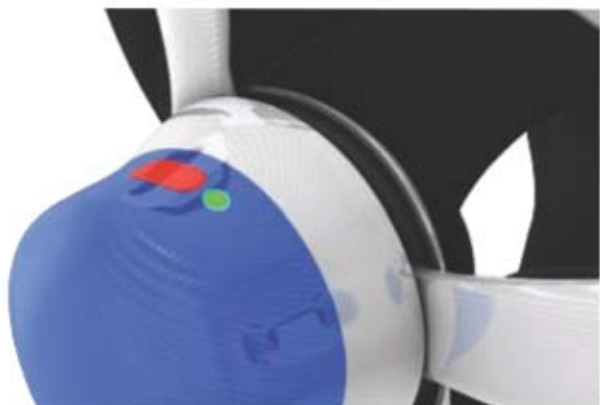
La configuración estética fue resultado de un análisis de los objetos análogos que existen y que podrían existir (V. Capítulo 8. “Generando el concepto”, p. 64 - 67), y de un proceso de diseño en el cual se tomaron decisiones respecto a la configuración formal (V. Capítulo 10. “Proceso de diseño”, p. 94 - 95).

Los conceptos que se buscaron representar con el diseño del exoesqueleto fueron los siguientes:

Movimiento y dinamismo. Se realizó un análisis de la anatomía humana y del entrelazado que existe entre los músculos del cuerpo. Se buscó representar el movimiento y la capacidad de cambio del sistema muscular en el módulo de flexión y extensión. En este sentido también se quiso tomar el concepto de armadura y de una estructura adaptable al cuerpo, considerando los productos que se podrían ver en un futuro no muy lejano.

Seguridad. El exoesqueleto debía contar con un carácter médico, es por esto que su diseño debía ser limpio y dar una sensación de alta calidad a los usuarios. Como se mencionó antes, la señalización de los módulos eléctricos permite que el usuario identifique las zonas de acción.





El color también permite que se identifique fácilmente como un producto de carácter médico, aunque los métodos de fabricación empleados brindan una capacidad de personalización importante.

La forma del exoesqueleto debía representar tanto fortaleza como suavidad y comodidad. En el caso de los puntos de apoyo, estos generan una sensación de agarre importante, pero sus bordes suaves y la forma en la que se relacionan con las piezas articuladas le dan un sentido más amigable a la configuración.

Alta tecnología. La línea altamente orgánica del exoesqueleto y el diseño de sus piezas se hubieran pensado imposibles de realizar para este tipo de productos hace unos años. El manejo de elementos como dobles curvaturas y las superficies ultrabrillantes tienen un alto grado de percepción tecnológica. La textura encapsulada en la superficie evoca materiales de alta tecnología como la fibra de carbono o el kevlar.

En el caso de las bandas de seguridad también se resaltaron elementos como el cambio de grosor o el uso de texturas en los textiles. La aplicación de pequeños elementos en colores vivos representa alta tecnología en textiles.

Prospectiva. Como se mencionó antes, el uso de dobles curvaturas permite pensar en alta tecnología, pero también las curvas manejadas y el juego entre materiales da una percepción moderna y a la vez futurista de este producto,

Familia. Tanto la gama de colores como el uso de las formas boleadas y suaves hacen que cada uno de los módulos se relacionen entre sí. El control cuenta con un perfil similar al extensor de dedos. Para el exoesqueleto se usó una gama de colores azul y blanco principalmente. El uso de colores en zonas clave permite que el usuario sea consciente de esta relación.

VENTAJAS

Una vez explicado el proceso que se siguió para el desarrollo del exoesqueleto para rehabilitación de brazo, se pueden enunciar las principales ventajas que presenta.

- A largo plazo se puede tener un impacto en el desarrollo de las siguientes actividades:

Actividad	Entorno	Interacción
Comer	Cocina	Llevar comida a la boca
	Comedor	Partir carne y otros
	Sala	Untar mantequilla, etc.
Aseo	Baño	Tomar papel de baño
	WC	Limpieza
Pronación	Baño	Peinarse
	Regadera	Cepillarse los dientes
	Lavabo	
Supinación	Recámara	Abotonar
	Baño	Abrochar cinturón
	Vestidor	Amarrar agujetas
	Closet	

Tabla.11. 2. Impacto de la rehabilitación con el exoesqueleto en actividades cotidianas.

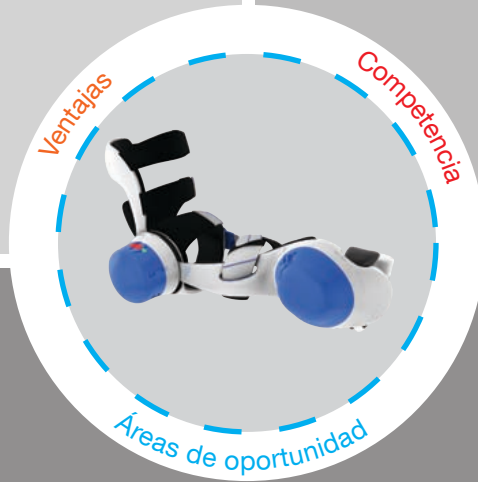
- Adaptación y personalización de las piezas principales por medio de la producción en prototipado rápido
- Reducción de costos respecto a otros productos fabricados totalmente en inyección
- Portabilidad y capacidad de realizar la terapia en casa
- 4 grados de libertad para ejercicio de muñeca, codo y dedos de la mano
- Autosuficiencia de los usuarios al poder realizar la terapia sin ayuda de un terapeuta
- Interface amigable con los usuarios a través de un control remoto. Diseño dirigido al paciente, no al terapeuta
- Integración de ejercicios al momento de hacer terapia, mejorando las posibilidades de una recuperación rápida

Función	Flexión /extensión en codo Pronación / Supinación Flexión / Extensión de muñeca Extensión de dedos
Producción	Sinterizado Selectivo Laser (SLS) Ajustable / Personalización - Costo
Interacción	Movimientos realizados a través del control remoto
Plus	Peso estimado de 800gr. Módulos eléctricos desmontables Retroalimentación por control remoto Uso de la estética para impacto positivo en rehabilitación

Función	Flexión /Extensión en codo
Producción	Metal aeroespacial Ajustable / No hay personalización + Costo
Interacción	Sensores detectan la señal de movimiento antes de realizarlo
Plus	Peso estimado de 846gr. Tecnología Bluetooth Software / Retroalimentación Estética funcional

Exoesqueleto para rehabilitación de miembro superior

MYOMO Robotic Arm Brace



Aplicaciones móviles

Desarrollo de otras aplicaciones



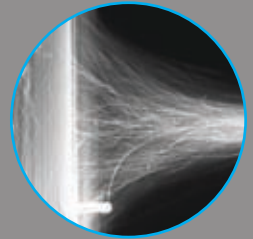
Militar



Espacios de trabajo



Deporte



Desarrollo de materiales / Aplicación de nanotecnología



Sensores de movimiento



Retroalimentación en tiempo real

12. PROYECCIÓN

Una vez que se terminó el proyecto, consideramos necesario analizar las posibilidades de realización y todo lo que implicaría. En este capítulo se pretende analizar el costo tentativo del proyecto, así como su proyección e impacto a futuro a partir de una visión empresarial y estratégica.

Al formar parte de un sistema de desarrollo, se decidió hacer un cálculo aproximado del costo del proyecto; éste con el fin de determinar su viabilidad. Para esto el proyecto se dividió en cuatro etapas: investigación, conceptualización y experimentación, desarrollo y documentación. Se consideraron las personas que participaron en el proyecto.

El cálculo se hizo de acuerdo al cálculo estimado de horas dedicadas a cada actividad. Las actividades se pudieron haber realizado a lo largo de todo el proyecto, por lo que se consideraron los periodos de realización.

Periodo	Actividad	Horas de trabajo	Costo / hr.	Costo total
	Investigación	Áreas Involucradas: Diseño, Ingeniería y Medicina y Ergonomía		
04.11 - 05.11	Discapacidad	40	\$40.00	\$1,600.00
04.11 - 05.11	Contexto	20	\$40.00	\$800.00
04.11 - 05.11	Rehabilitación	40	\$40.00	\$1,600.00
04.11 - 06.11	Espasticidad	20	\$40.00	\$800.00
04.11 - 07.11	Biomecánica	10	\$40.00	\$400.00
04.11 - 07.11	Antropometría	10	\$40.00	\$400.00
04.11 - 07.11	Documentación / Acotación	30	\$40.00	\$1,200.00
04.11 - 06.11	Entrevistas / Encuestas con pacientes	5	\$100.00	\$500.00
08.11 - 11.12	Contrucción de Sistema de Desarrollo	150	\$150.00	\$22,500.00

08.11 - 02.12	Desarrollo de muestra de torque en personas mexicanas	50	\$150.00	\$7,500.00
Conceptualización y experimentación		Áreas involucradas: Diseño Industrial e Ingeniería		
06.11 - 07.11	Análisis de usuario y actividades (AEIOU)	30	\$150.00	\$4,500.00
	Registro fotográfico	5	\$150.00	\$750.00
	Modelos de función crítica	20	\$50.00	\$1,000.00
	Lluvia de ideas	20	\$150.00	\$3,000.00
	Desarrollo de perfil de producto	40	\$150.00	\$6,000.00
	Análisis de análogos	40	\$100.00	\$4,000.00
08.11 - 09.11	Desarrollo simulador dedos	40	\$40.00	\$1,600.00
	Prueba simulador dedos	5	\$100.00	\$500.00
09.11 - 10.11	Desarrollo simulador muñeca	40	\$40.00	\$1,600.00
	Pruebas de simulador de muñeca	5	\$100.00	\$500.00
11.11 - 12.11	Simuladores codo	40	\$40.00	\$1,600.00
12.11 - 01 -12	Pruebas de simuladores en codo	10	\$100.00	\$1,000.00
01.12 - 02.12	Consideraciones de diseño	30	\$150.00	\$4,500.00
Desarrollo		Áreas involucradas: Diseño Industrial		
07.11 - 01.12	Desarrollo de concepto estético	30	\$150.00	\$4,500.00
01.12 - 02-12	Análogos presente y futuro	60	\$150.00	\$9,000.00
02.12 - 03.12	Discusión y definición de concepto	20	\$150.00	\$3,000.00
01.12 - 02.12	Desarrollo de propuesta / Iteración	20	\$200.00	\$4,000.00
	Bocetaje	15	\$100.00	\$1,500.00
	Renders	15	\$200.00	\$3,000.00
	Modelado 3D	30	\$200.00	\$6,000.00
02.12 - 03.12	Modelo final	100	\$250.00	\$25,000.00
	Renders finales	40	\$250.00	\$10,000.00
	Planos	30	\$250.00	\$7,500.00

Documentación		Áreas involucradas: Diseño Industrial		
02.12 - 03.12	Memoria descriptiva	50	\$50.00	\$2,500.00
	Documentación	40	\$100.00	\$4,000.00
	Edición de Documento	40	\$50.00	\$2,000.00
Personas Involucradas en el proyecto		Áreas Involucradas: Diseño, Ingeniería y Medicina y Ergonomía		
07.11 - 01.12	Población voluntaria muestra de torque	50	\$20.00	\$1,000.00
9.11 - 10.12	Paciente voluntario 2	5	\$20.00	\$100.00
04.11 - 01.12	Entrevistas a paciente prueba (Israel)	50	\$20.00	\$1,000.00
04.11 - 08.11	Servicio Social Diseño Ind. 1	150	\$50.00	\$7,500.00
	Servicio Social Diseño Ind. 2	150	\$50.00	\$7,500.00
	Servicio Social Diseño Ind. 3	150	\$50.00	\$7,500.00
	Servicio Social Diseño Ind. 4	150	\$50.00	\$7,500.00
	Servicio Social Diseño Ind. 5	150	\$50.00	\$7,500.00
	Servicio Social Ingeniería 1	150	\$50.00	\$7,500.00
	Servicio Social Ingeniería 2	150	\$50.00	\$7,500.00
	Servicio Social Ingeniería 3	150	\$50.00	\$7,500.00
	Servicio Social Ingeniería 4	150	\$50.00	\$7,500.00
	Servicio Social Ingeniería 5	150	\$50.00	\$7,500.00
05.11 - 01.12	Asesoría Especialista A en Rehabilitación	60	\$500.00	\$30,000.00
05.11 - 06.11	Asesoría Especialista B en Rehabilitación	5	\$500.00	\$2,500.00
05.11 - 01.12	Asesoría Especialista en Ergonomía	60	\$1,000.00	\$60,000.00
04.11 - 03-12	Director de Tesis	60	\$1,000.00	\$60,000.00
04.11 - 03.12	Asesor de Tesis A	60	\$1,000.00	\$60,000.00
	Asesor de Tesis B	10	\$1,000.00	\$10,000.00
SUBTOTAL				\$449,450.00
Material de trabajo (10% de la suma total)				\$44,945.00
IVA (16% del total)				\$79,103.20
Costo total de proyecto				\$573,498.20

Los costos se tomaron en cuenta de acuerdo a las actividades realizadas, es decir, no se cobra igual la recopilación de información que la generación de conceptos de diseño. Estas consideraciones fueron tomadas de asesorías particulares de profesionistas que realizan proyectos de forma individual, así como de referencias bibliográficas. (Soto Treviño, 2009)

Cabe mencionar que el costo arrojado es sobre el proyecto sin contar la producción del prototipo final. Para eso se debe hacer un cálculo real de proveedores y materiales disponibles.

Recordemos que el proyecto forma parte de un sistema de desarrollo de objetos enfocados a la rehabilitación de personas con discapacidad. Para esto se generó un esquema de una posible estrategia de distribución en que se propone la manera como el usuario podría obtener el producto. Este esquema responde a un punto de vista empresarial, dándole el valor necesario a los profesionales involucrados en el proyecto y a la estrategia planteada. (Fig 11.19)

En el diagrama se explica el proceso que se sigue desde el inicio del proyecto como parte de la matriz de desarrollo en deficiencias motoras así como las partes que deben intervenir para que este tipo de productos lleguen al usuario correspondiente. Se debe mencionar que esto no aplica sólo para este proyecto, sino para todos los que conforman el sistema de desarrollo.

Esta tesis documenta el estado del proyecto hasta la etapa de desarrollo, posteriormente debe pasar por una etapa de consolidación en la que se contempla la difusión y distribución del producto. Además de la cooperación de las instituciones privadas y públicas en este tema, se contempla el uso de Internet para difusión y personalización de los productos; de esta manera se puede generar un sistema de retroalimentación con los usuarios tanto para la mejora de productos como para la detección de nuevas necesidades y oportunidades de diseño.



Inversionistas



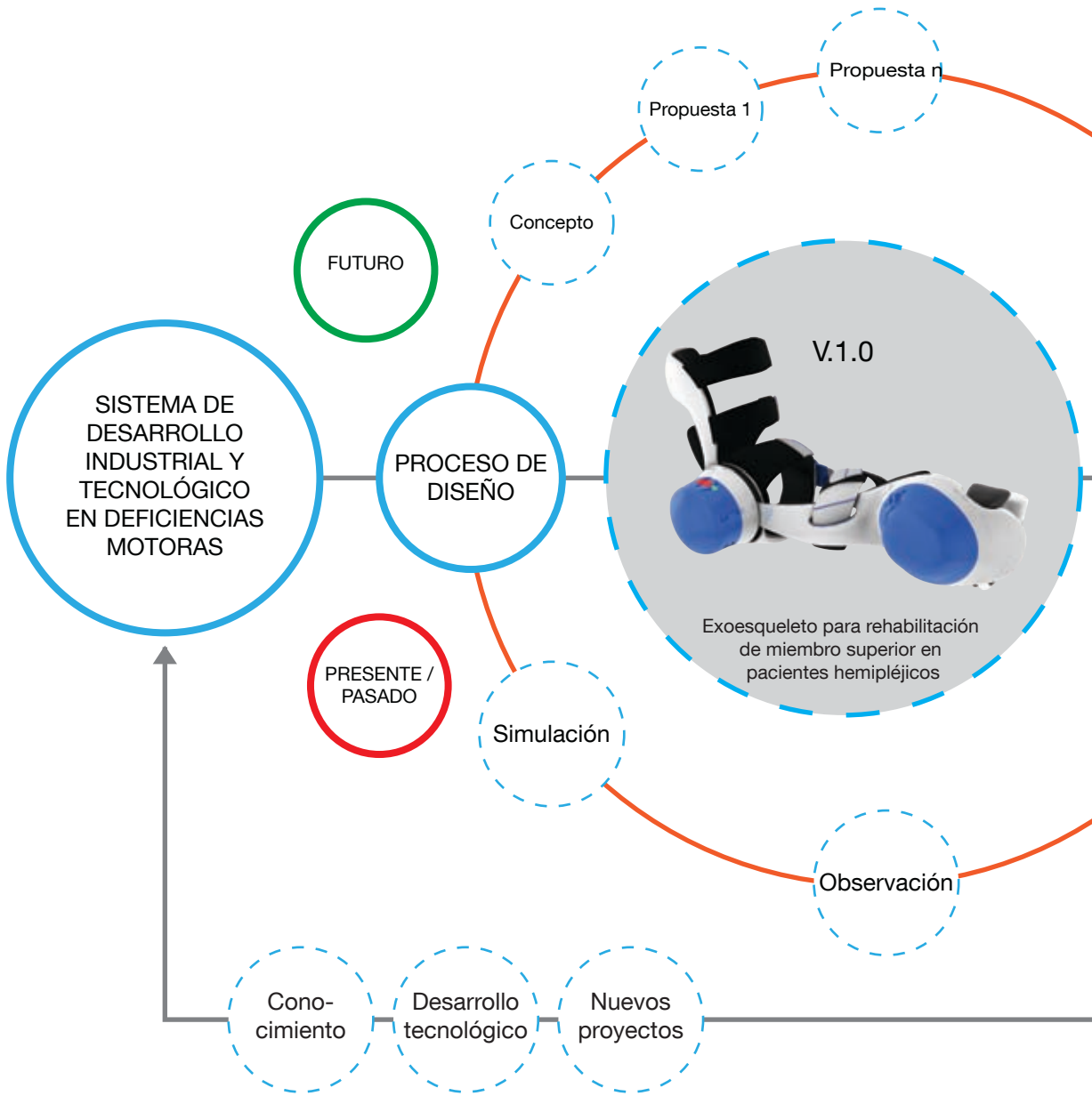
Sistema de salud



Instituciones educativas

INVESTIGACIÓN

DESARROLLO



CONSOLIDACIÓN

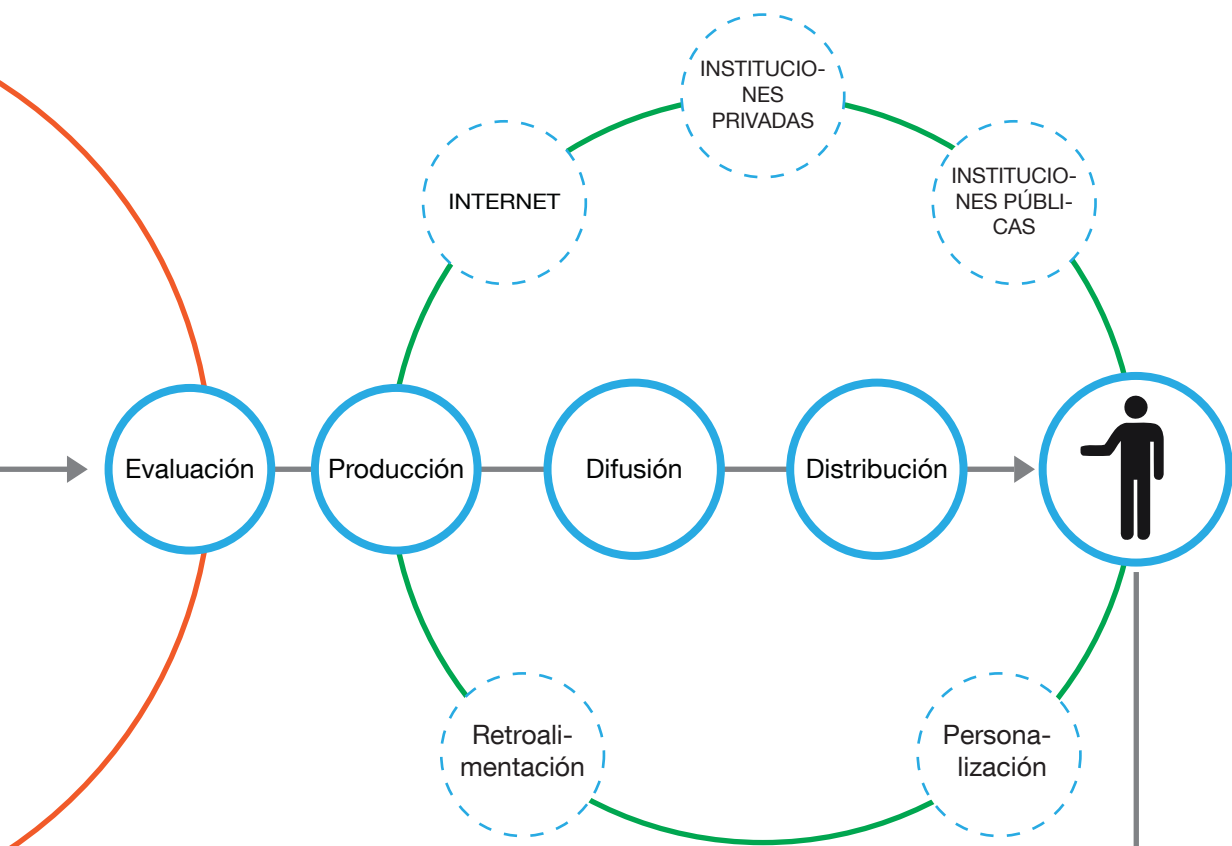


Fig.11. 19. Proyección y estrategia de distribución de sistema de desarrollo en deficiencias motoras. Relación investigación - desarrollo - usuario.

13. REFLEXIONES FINALES

De acuerdo a los alcances y objetivos del proyecto planteados al inicio, podemos decir que estos se han cumplido adecuadamente. Se terminó entregando una propuesta de diseño que cumple con lo planteado en un inicio, brindar rehabilitación del brazo a pacientes con hemiplejía.

- Se llevó a cabo un trabajo de forma interdisciplinaria reuniendo a la Facultad de Ingeniería, el Centro de Investigaciones de Diseño Industrial de la UNAM y el Laboratorio de Ergonomía del Centro Médico Siglo XXI.
- Aplicando la rehabilitación como herramienta se llegó a una alternativa para usuarios con hemiplejía que presentan espasticidad, de tal manera que puedan realizar la rehabilitación en casa.
- El proceso y el diseño del exoesqueleto permite plantear una metodología en el desarrollo de este tipo de productos, tomando como eje principal en el trabajo conjunto entre disciplinas.
- A través del Sistema de Desarrollo Industrial y Tecnológico en Deficiencias motoras se impulsa el apoyo a la investigación en discapacidad motriz.

El siguiente paso

El desarrollo tecnológico es primordial en productos como este. A lo largo del desarrollo del proyecto se conocieron nuevas y viejas tecnologías. El trabajo multidisciplinario nos mostró la diferencia de escuelas y la precisión con la que se debe dirigir este tipo de productos a las personas.

Uno de los aportes más importantes del proyecto fue la generación de su sistema de desarrollo, a partir del cual se generan más proyectos de diseño que involucran la generación de tecnología y conocimiento sumamente valiosos.

Una vez que se ha terminado la etapa de desarrollo surge una incógnita respecto al proyecto y todo lo que lo rodea, ¿cuál sería el siguiente paso?.

En cuanto al diseño del exoesqueleto; a lo largo de todo el proyecto se exploraron nuevas tecnologías que serían de gran utilidad para un mejor funcionamiento

- Uso de sensores de alta calidad, que permitan detectar movimientos, presión, estado físico del usuario, etcétera
- Elementos de seguridad de alta tecnología
- Retroalimentación en tiempo real
- Integración de rehabilitación para aplicaciones móviles como el uso de sensores de movimiento, o medidas de seguridad de alta tecnología

El desarrollo de este tipo de tecnologías es lo que permitiría hacer la diferencia en el diseño de este tipo de objetos. Aunque algunas de estas tecnologías no son precisamente diseño industrial, pero no hay razón para no tomarlas en consideración.

Por otro lado, el sistema de desarrollo planteado en esta tesis es una plataforma abierta para que cualquier interesado pueda desarrollar un producto nuevo y que ayude a una necesidad en crecimiento como lo es la discapacidad. Darle seguimiento a este tipo de proyectos es de suma importancia para poder resolver las necesidades más importantes en nuestro país. Resolver nuestras propios problemas genera eventualmente nuevas oportunidades de diseño y desarrollo, llevando al progreso.

Reflexiones Personales

Dando inicio en 2010 y con la cooperación de un alumno egresado de la Facultad de Ingeniería, el desarrollo de un exoesqueleto para pacientes con hemiplejía no parecía tan complicado. Al iniciar formalmente el proyecto en abril del 2011 esta idea cambió radicalmente. Recibiendo el apoyo de alumnos de la Facultad de Ingeniería y de alumnos del Centro de Investigaciones Diseño Industrial el equipo se embarcó en un proyecto bastante ambicioso.

Los alcances del proyecto fueron variando conforme pasó el tiempo, pero los objetivos principales se cumplieron. El desarrollo del exoesqueleto no fue cosa fácil, pero al final la propuesta resultó satisfactoria para todos.

El trabajo multidisciplinario en este proyecto fue de suma importancia. Queda claro que sin la ingeniería no se podrían desarrollar muchos productos exitosos, especialmente para productos como este, en los que el desarrollo tecnológico juega un papel trascendental.

El equipo de trabajo compuesto por diseñadores con ingenieros pasó por momentos en desacuerdo. Lograr el entendimiento entre ambas partes no fue fácil, pero los resultados a los que llegamos fueron satisfactorios. El trabajo de ambas partes fue el esperado, lamentablemente en septiembre del 2011 el servicio social terminó para la mitad del equipo de trabajo. En lo personal, la gestión del proyecto contemplando un grupo de 10 personas ha sido una experiencia de aprendizaje continuo. Al reducirse el número de personas el enfoque de cada integrante en el proyecto fue mayor una vez que se decidió quienes se quedaban en el proyecto.

El desarrollo del proyecto fluyó con un poco más de eficiencia y aunque la comunicación entre la parte de Ingeniería y Diseño no era tan clara, paso a paso fue mejorando y el proyecto salió adelante.

Por otro lado, el trabajo con especialistas en rehabilitación también ha sido gratificante. En definitiva se aprendió que es a través de la vinculación como se pueden conseguir resultados de muy alta calidad además de que el aprendizaje obtenido y la retroalimentación es incomparable.

Al inicio fue un poco difícil la relación, ya que el proyecto sufrió un retroceso en cuanto a la investigación, pero después la información obtenida a través del Laboratorio de Ergonomía fue invaluable y de gran ayuda para el avance del exoesqueleto.

Puedo decir con seguridad que el desarrollo del exoesqueleto ha sido uno de los más grandes retos que se presentaron a lo largo de la carrera, tanto por su dificultad en cuanto a la integración de varias disciplinas, como por tratarse de un proyecto de tesis.

Gracias a este proyecto, el equipo conservó una relación profesional y de amistad que quedará para la posteridad y abre la posibilidad de encontrarnos nuevamente en proyectos futuros.

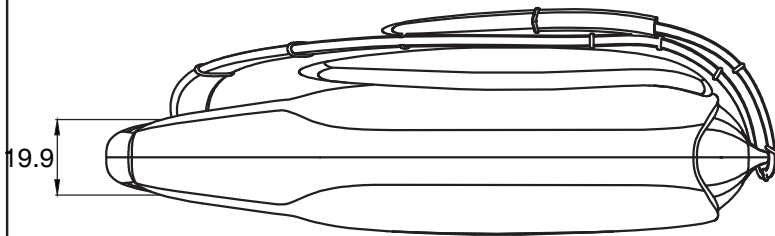
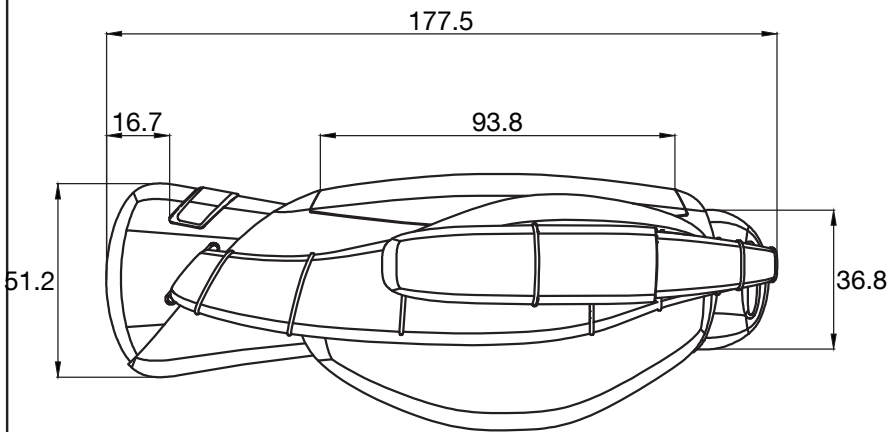
La satisfacción y el aprendizaje obtenidos por haber trabajado en conjunto al terminar fueron mucho mayores que cualquier clase de diferencia que haya existido a lo largo del proceso.

14. PLANOS TÉCNICOS

1

2

3



4

5

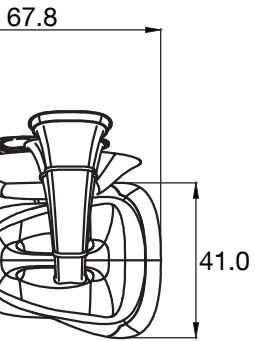
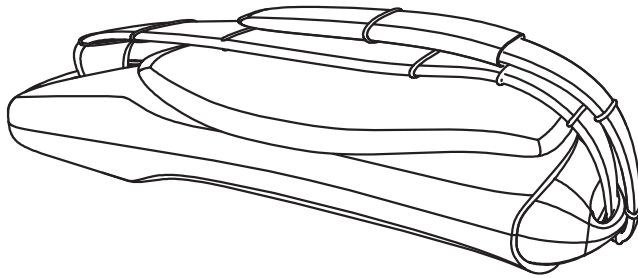
6

A

B

C

D

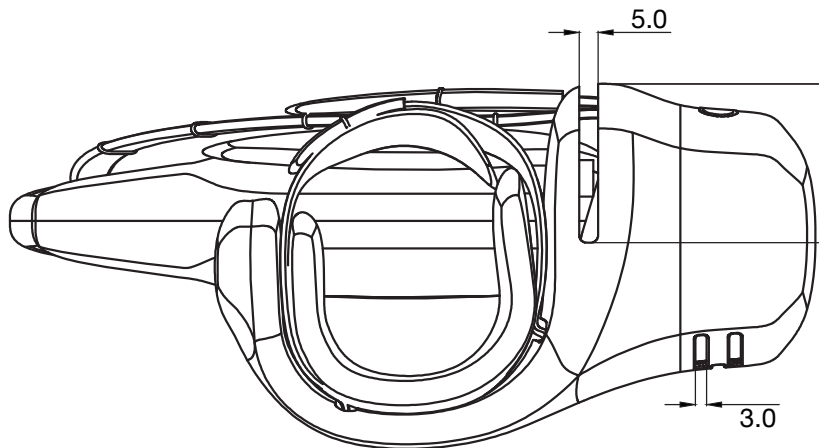
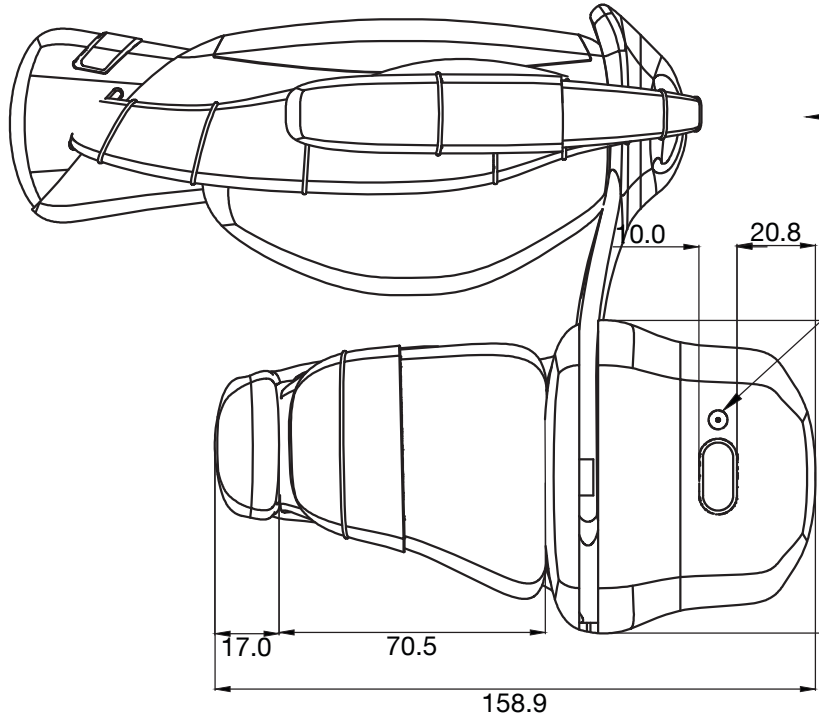


José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA	ESC.
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Extensor de Dedos		13.03.12	1:2
Vistas Generales		COTAS	
		mm	

1

2

3



4

5

6

A

A

Ø5

82.8

B

42.0

96.5

C

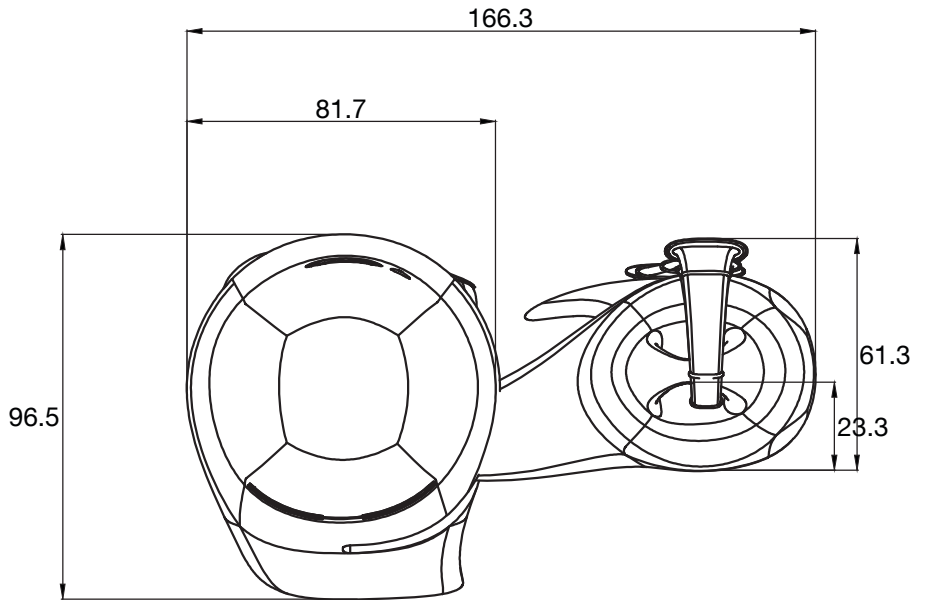
D

José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA	ESC.
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Módulo de Muñeca		13.03.12	1:2
Vistas Generales		carta	
		COTAS mm	2/37

1

2

3



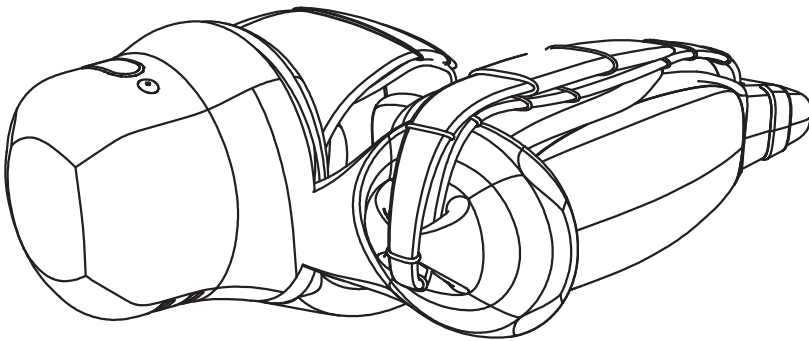
VISTA A

A

B

C

D



José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA	ESC.
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Módulo de Muñeca		13.03.12	1:2
Vistas Generales		carta	
		COTAS mm	3/37

1

2

3



B



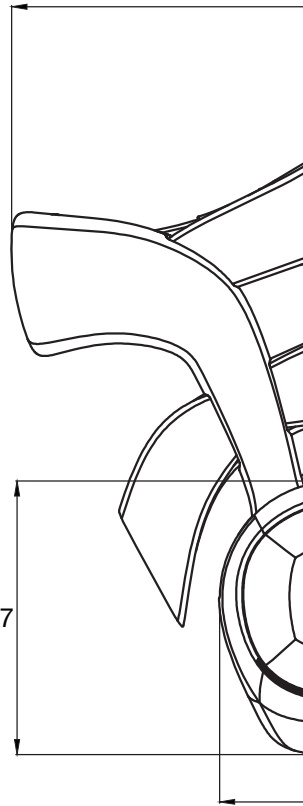
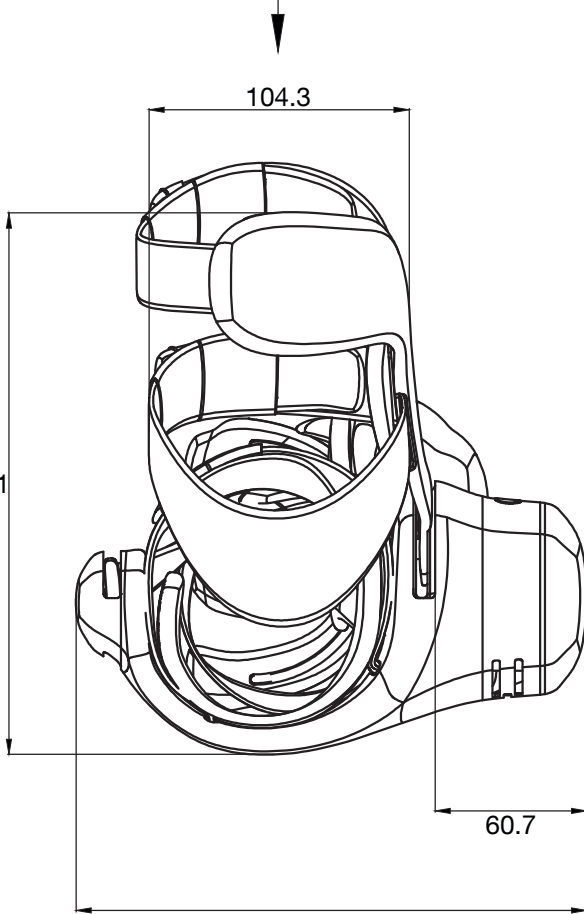
104.3

217.1

109.7

60.7

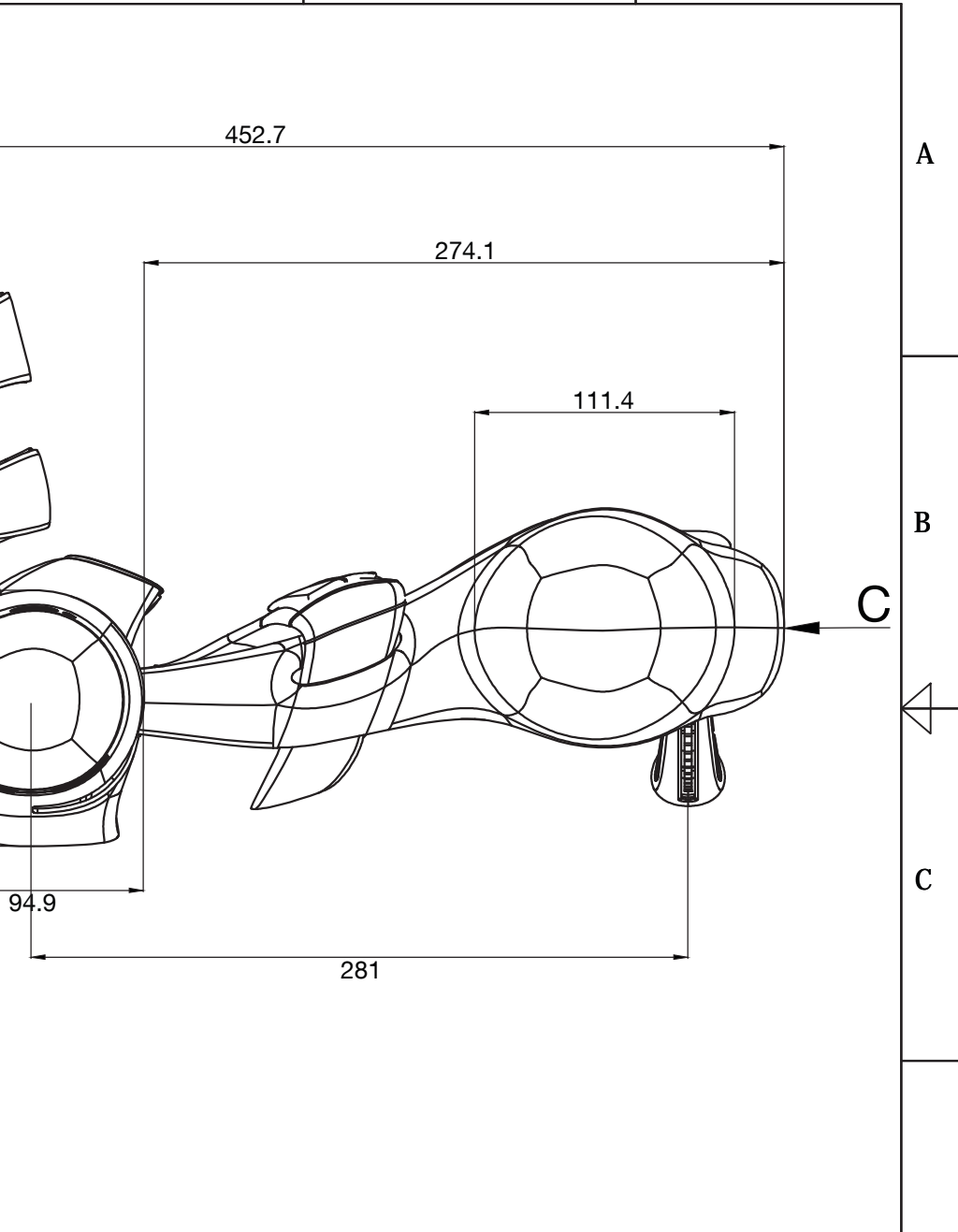
204.7



4

5

6



José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA 13.03.12	ESC. 1:3
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Módulo de Codo		carta	
Vistas Generales		COTAS mm	4/37

A

B

C

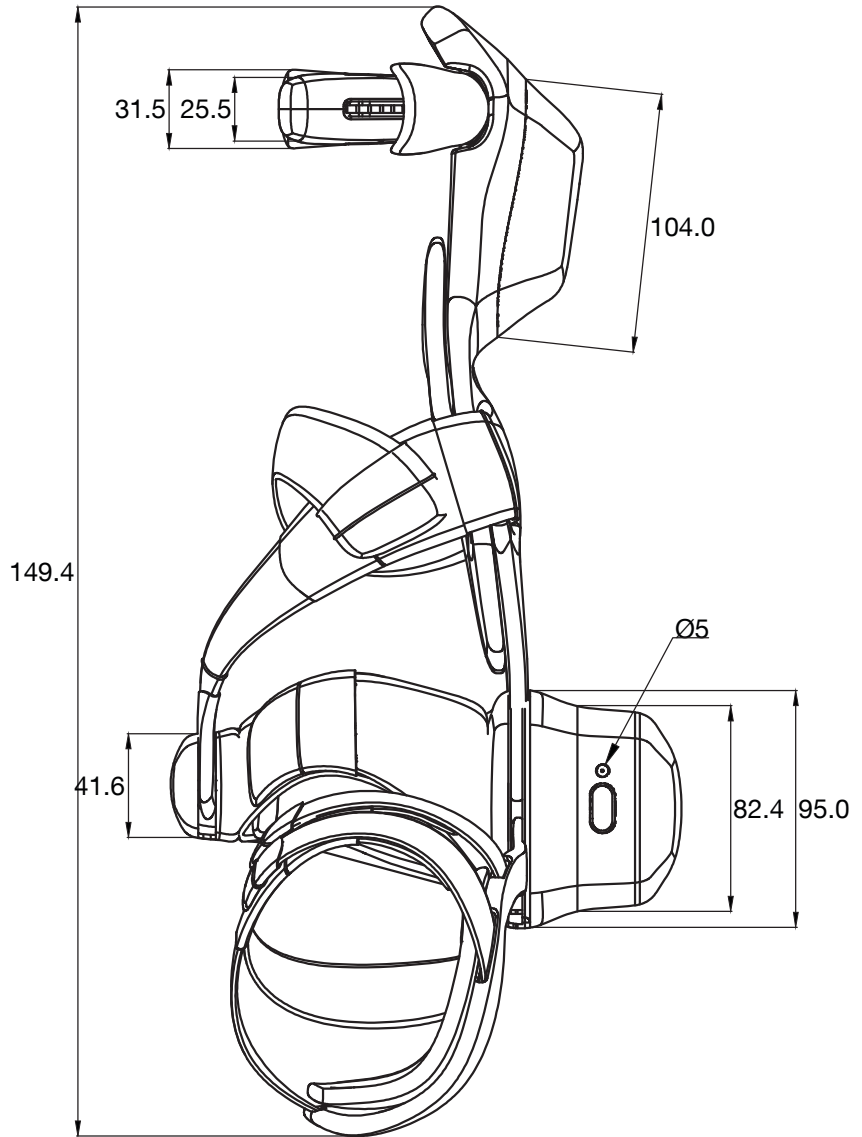
C

D

1

2

3



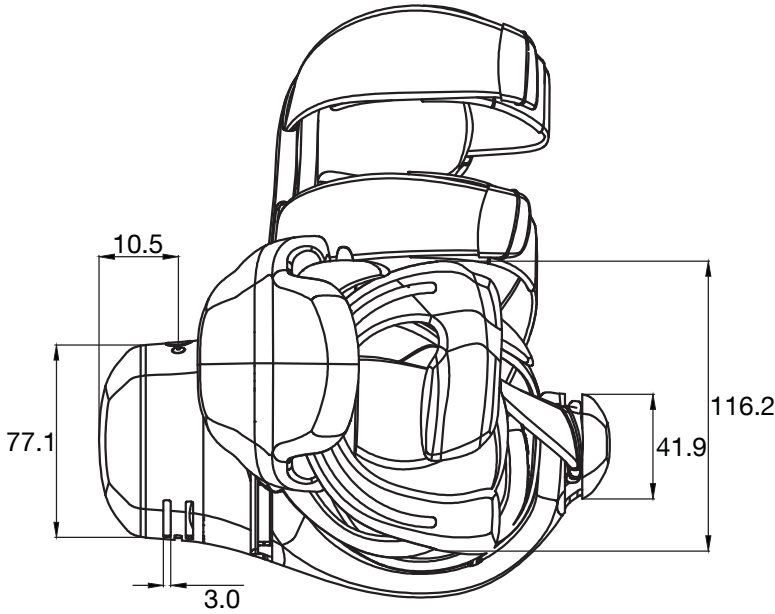
VISTA B

A

B

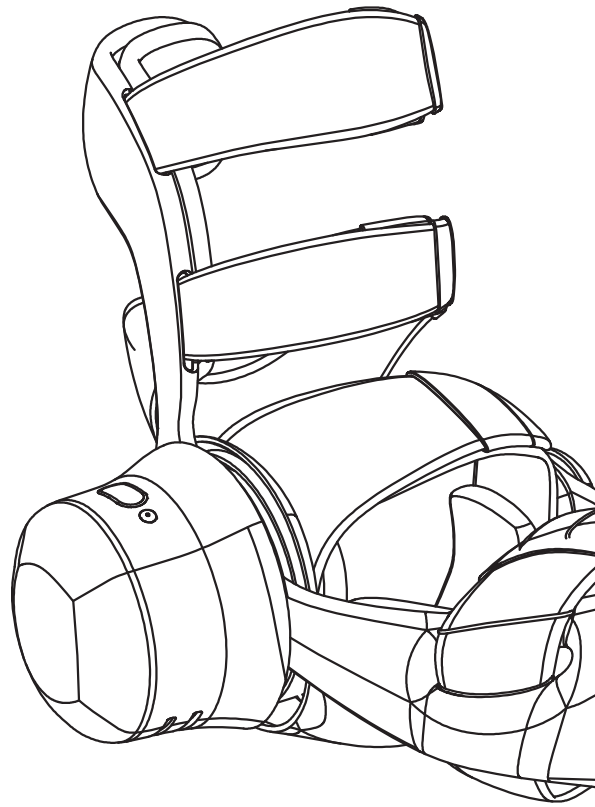
C

D



VISTA C

José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA	ESC.
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Módulo de Codo		13.03.12	1:3
Vistas Generales		carta	
		COTAS mm	5/37



4

5

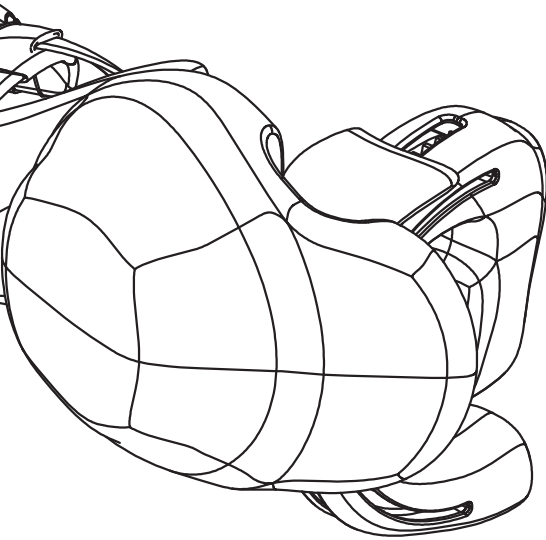
6

A

B

C

D

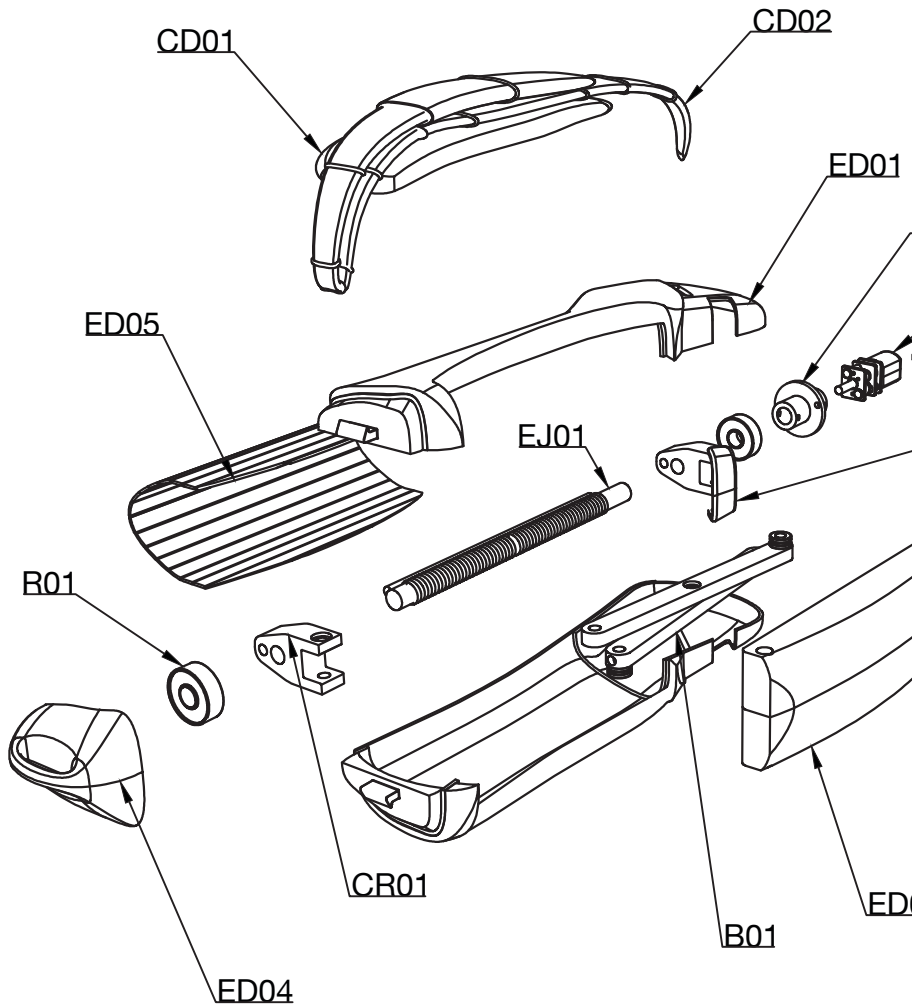


José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA	ESC.
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Módulo de Codo		13.03.12	1:3
Vistas Generales		carta	
		COTAS mm	6/37

1

2

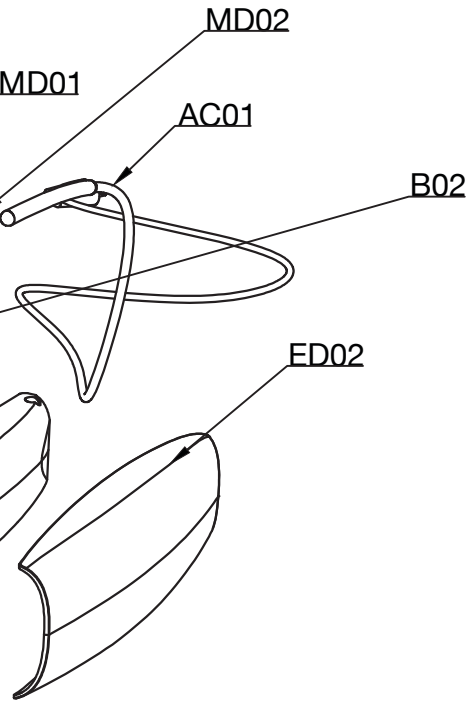
3



4

5

6



A

B

C

03

CD01	1	Almohadilla Respirable	Spacetex + Neopreno	Moldeado/cortado/forrado
CD02	1	Banda ajustable Dedos	Neopreno	Pieza Comercial
ED01	2	Carcasa Extensor dedos	ABS	Inyección
ED02	1	Frente Extensor Dedos	ABS	Inyección
ED03	2	Carcasa barras	ABS	Inyección
ED04	1	Tapa Lateral Dedos	ABS	Inyección
ED05	2	Estructura retráctil	Resina SLSFLEX	Sinterizado Selectivo Láser
CR01	2	Corredera	Acero	Maquinado
B01	2	Barras Mecanismo	Acero	Maquinado
EJ01	1	Eje	Acero	Maquinado
MD01	1	Cople	Acero	Maquinado
MD02	1	Motor Extensor dedos	-	Pieza comercial
R01	2	Rodamiento	-	Pieza Comercial
AC01	1	Cable AC	-	Pieza Comercial
B02	1	Botón de emergencia	ABS	Inyección

CLAVE	CANTIDAD	NOMBRE	MATERIAL	PROCESO
-------	----------	--------	----------	---------

José Manuel Tórner Morales	CIDI UNAM		FECHA 13.03.12	ESC. -
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Extensor de Dedos			carta	
Despiece			COTAS mm	7/37

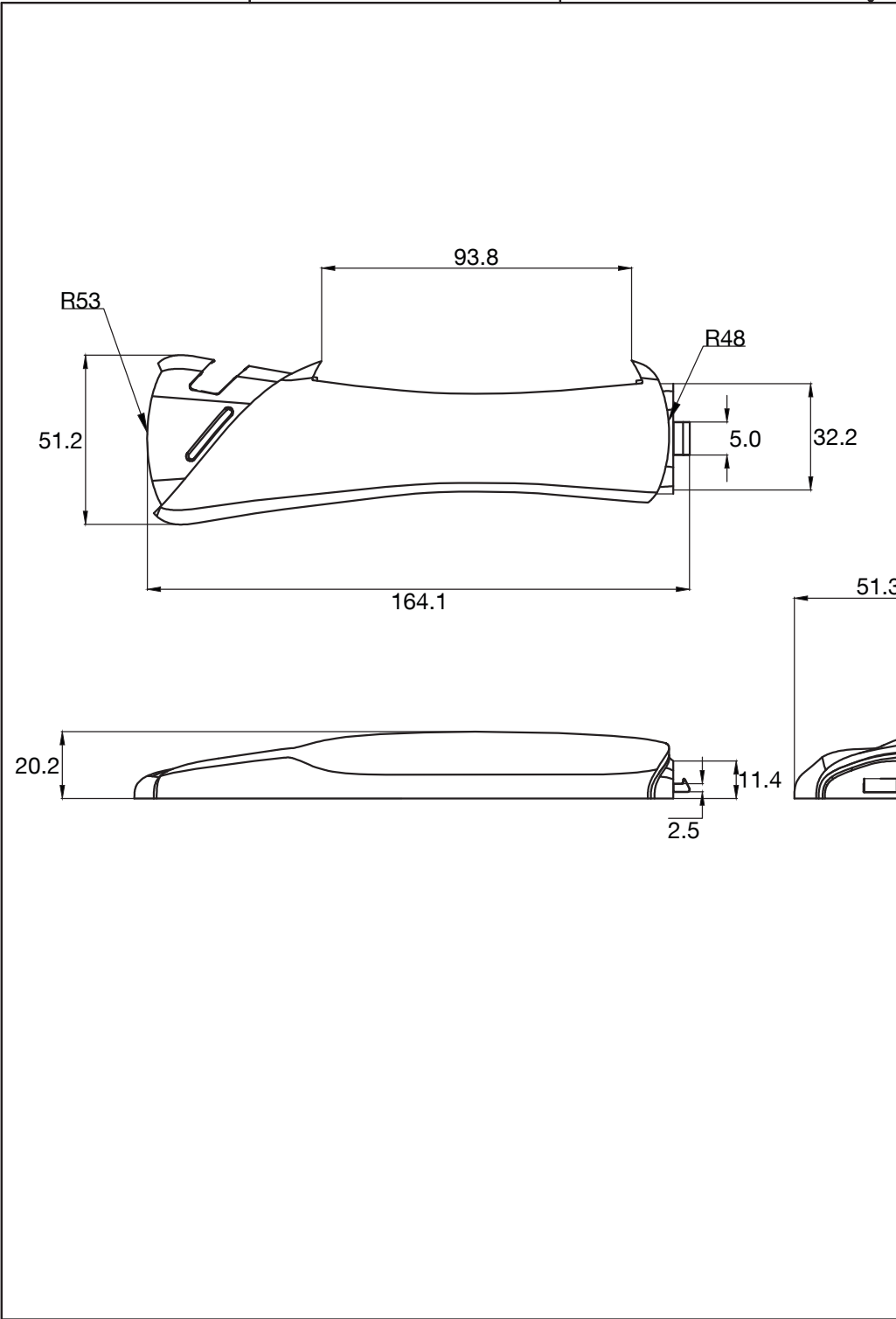
D

163

1

2

3



4

5

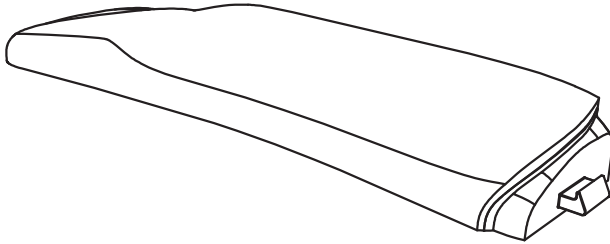
6


A

B

C

D

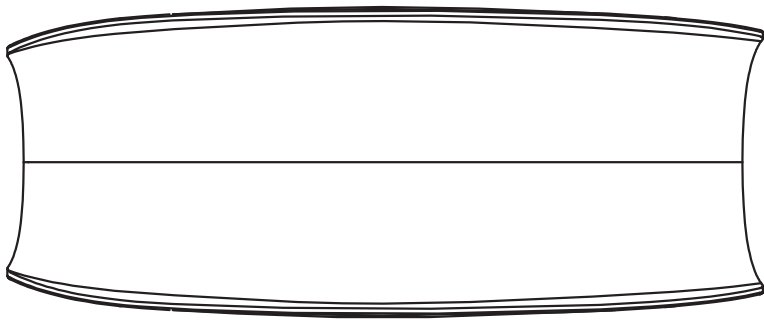
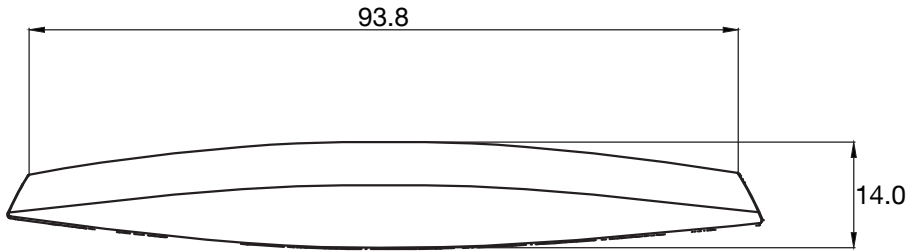


José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA 13.03.12	ESC. 1:2
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - extensor de Dedos ED01		carta	
Vistas Generales		COTAS mm	8/37

1

2

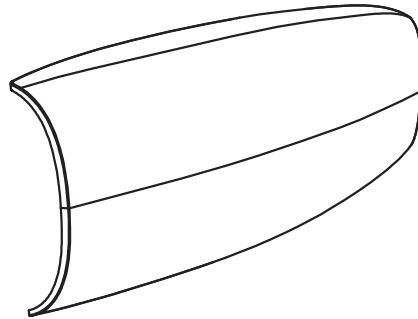
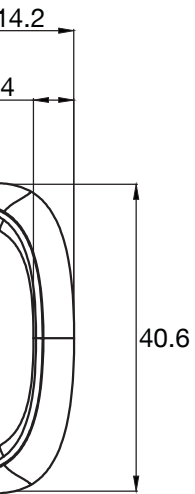
3



4

5

6



A

B

C

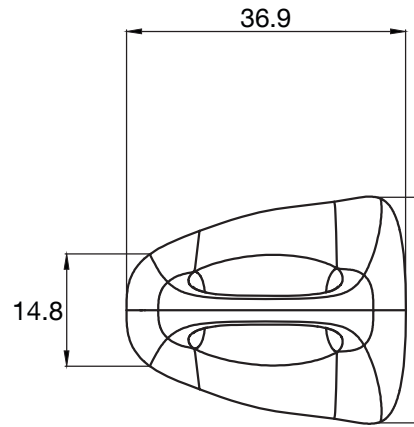
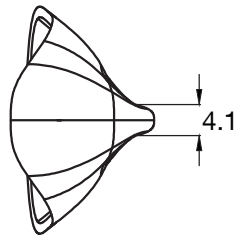
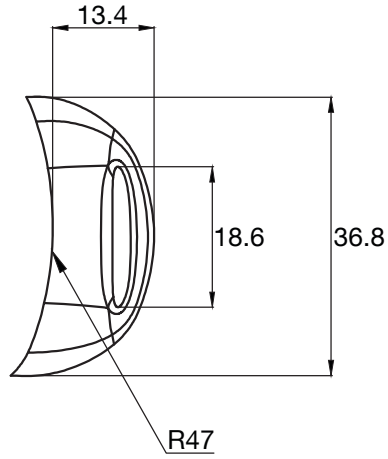
D

José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA	ESC.
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - extensor de Dedos ED02		13.03.12	1:1
Vistas Generales		COTAS	
		mm	

1

2

3



4

5

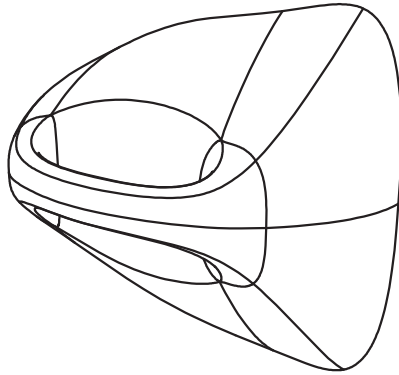
6

A


B

C

D



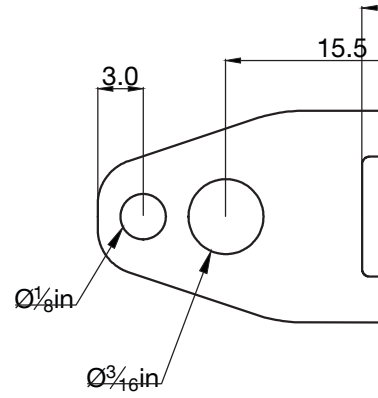
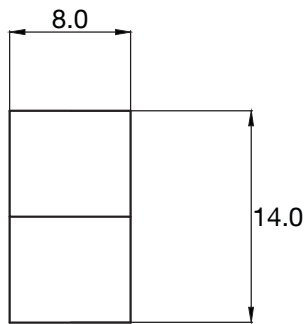
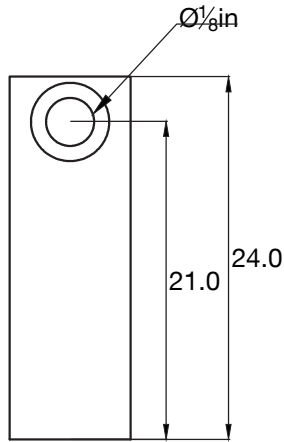
29.9

José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA 13.03.12	ESC. 1:1
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - extensor de Dedos ED04		carta	
Vistas Generales		COTAS mm	10/37

1

2

3



4

5

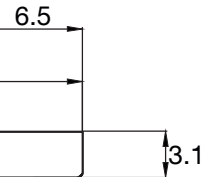
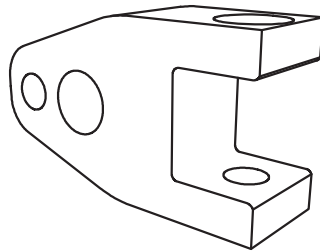
6

A

B

C

D

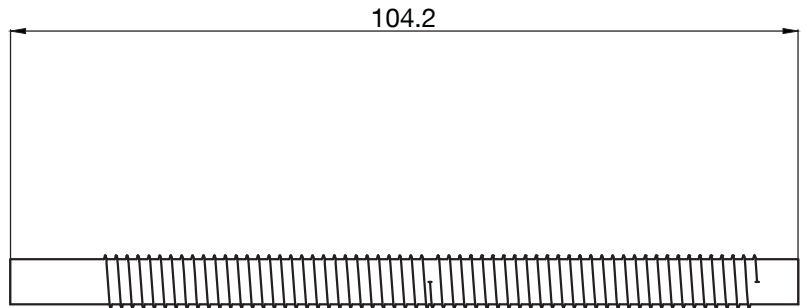


José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA	ESC.
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - extensor de Dedos CR01		13.03.12	2:1
Vistas Generales		COTAS	
		mm	

1

2

3



Cuerda Izquierda
 $\frac{1}{4}'' - 20$

Cuerda Derecha
 $\frac{1}{4}'' - 20$

4

5

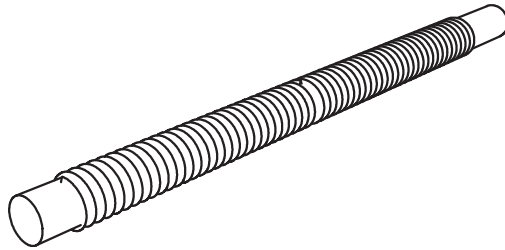
6

A

B

C

D



Ø 1/4 in



erecha

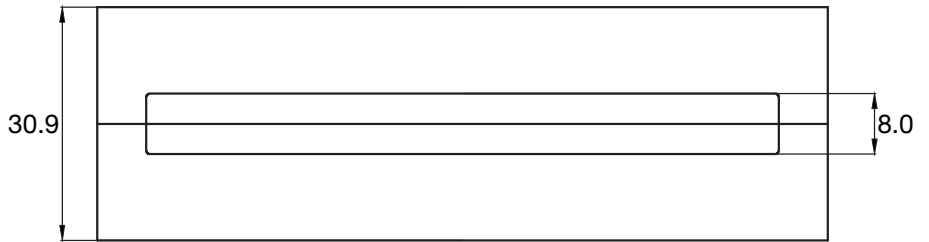
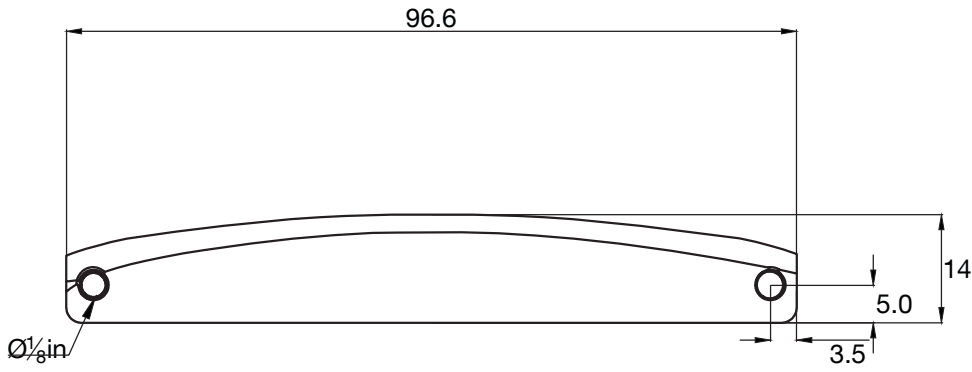


José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA 13.03.12	ESC. 1:1
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - extensor de Dedos EJ01		carta	
Vistas Generales		COTAS mm	12/37

1

2

3



4

5

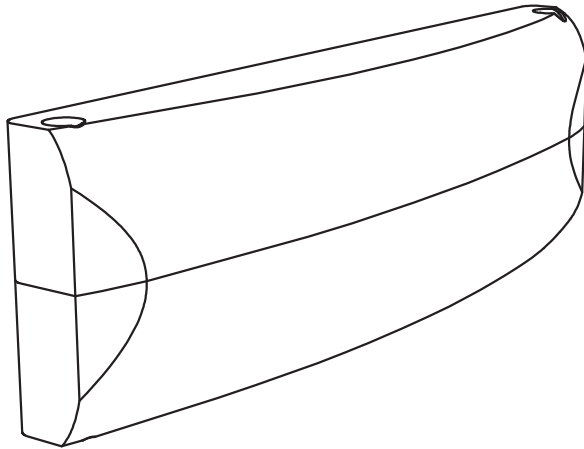
6

A

B

C

D



.3

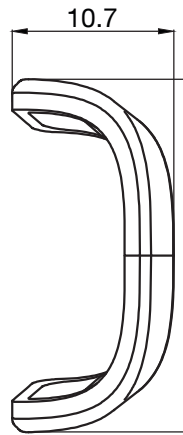
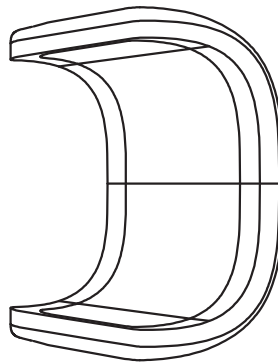
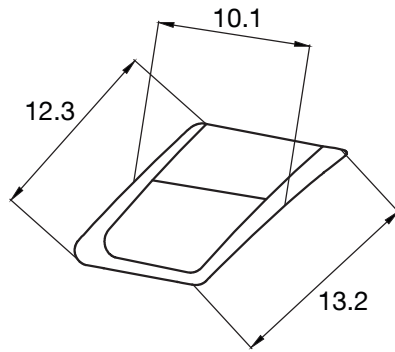


José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA	ESC.
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - extensor de Dedos ED03		13.03.12	1:1
Vistas Generales		COTAS	
		mm	

1

2

3



4

5

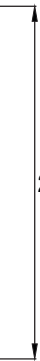
6

A

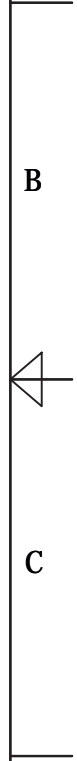
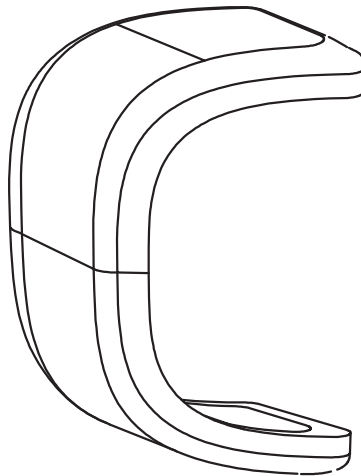
B

C

D



23.3

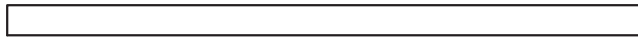
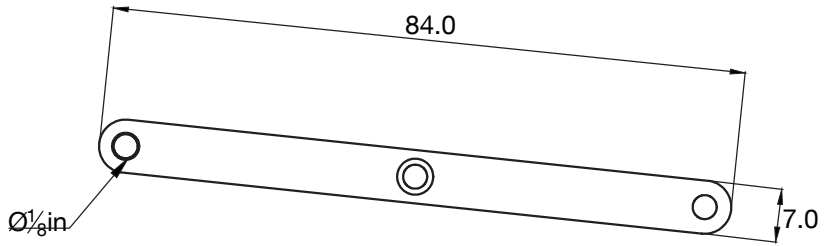


José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA 13.03.12	ESC. 2:1
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Extensor de Dedos B02		carta	
Vistas Generales		COTAS mm	14/37

1

2

3



4

5

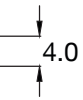
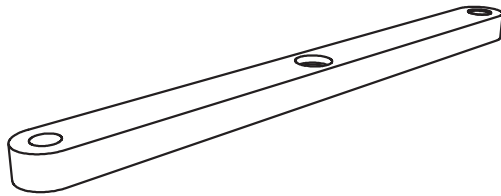
6

A

B

C

D

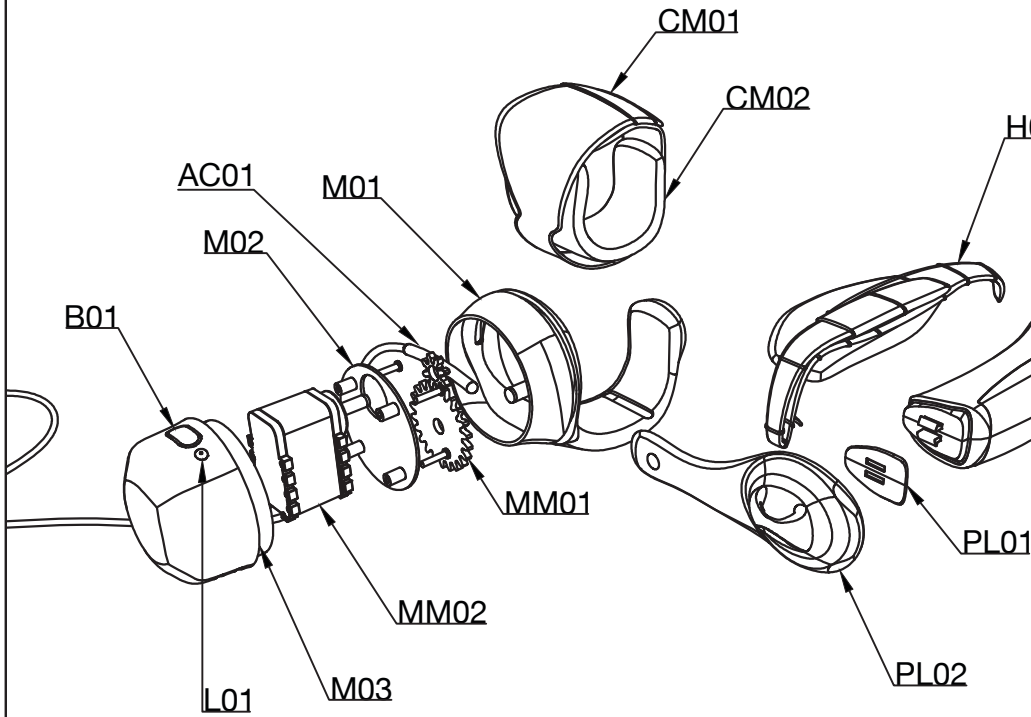


José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA	ESC.
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Extensor de Dedos B02		13.03.12	1:1
Vistas Generales		COTAS	
		mm	

1

2

3



4

5

6

A

B

C

D

02

H01



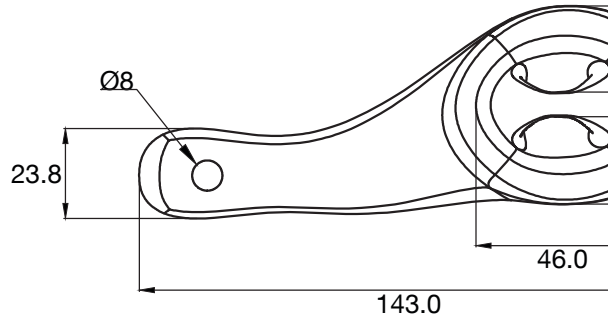
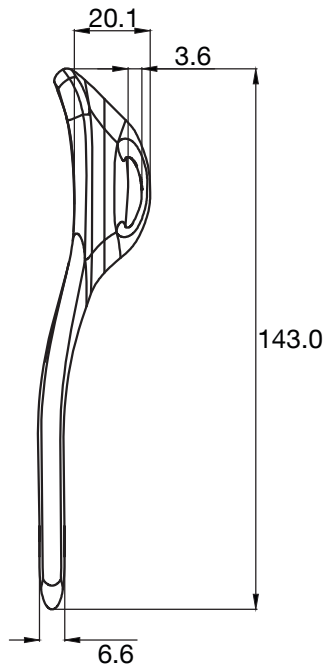
CM01	1	Banda ajustable muñeca	Neopreno	Pieza Comercial
CM02	1	Almohadilla respirable	Spacetex + Neopreno	Moldeado/cortado/forrado
H02	1	Bandas extensor de dedos	Ver plano 7	Ver plano 7
H01	1	Extensor de Dedos	Ver plano 7	Ver plano7
PL01	1	Tapa ensamble muñeca	Resina Poliuretano	Moldeado a Presión
PL02	1	Palanca Muñeca	ABS	Sinterizado Selectivo Láser
MM01	2	Engranaje Muñeca	Acero	Maquinado
MM02	1	Motor Muñeca	-	Pieza Comercial
M03	1	Módulo Muñeca	Resina de Poliuretano	Moldeado a Presión
M02	1	Cubierta Módulo Muñeca	Resina de Poliuretano	Moldeado a Presión
M01	1	Soporte Muñeca	Duraform EX	Sinterizado Selectivo Láser
B01	1	Botón de emergencia	ABS	Inyección
L01	1	LED	-	Pieza Comercial
AC01	1	Cable AC	-	Pieza Comercial
CLAVE	CANTIDAD	NOMBRE	MATERIAL	PROCESO
José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM		FECHA	ESC.
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Módulo de Muñeca			13.03.12	-
Despiece			carta	
			COTAS	16/37
			mm	

181

1

2

3



4

5

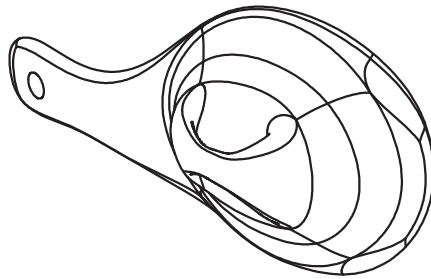
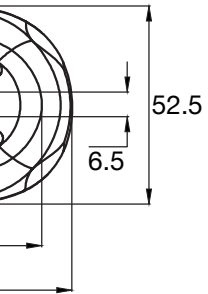
6

A

B

C

D

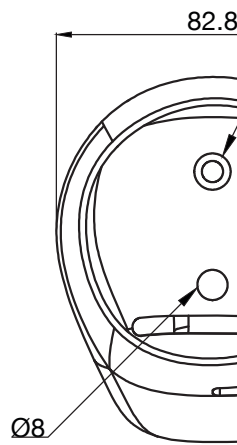
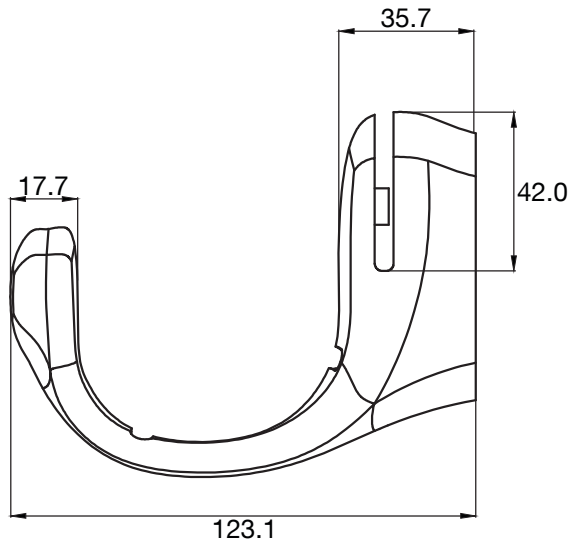
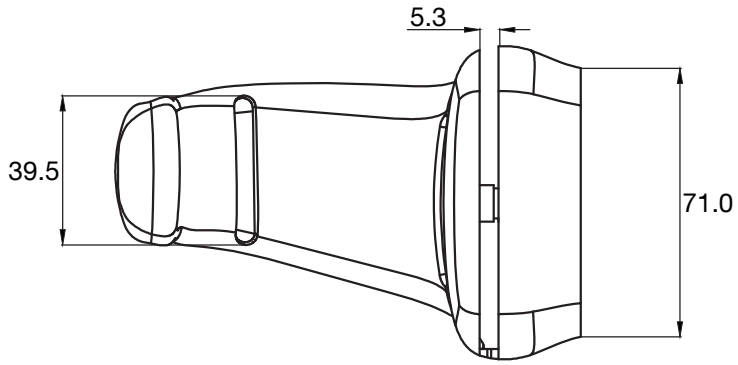


José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA	ESC.
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Módulo de Muñeca - PL02		13.03.12	1:2
Vistas Generales		carta	
		COTAS mm	17/37

1

2

3

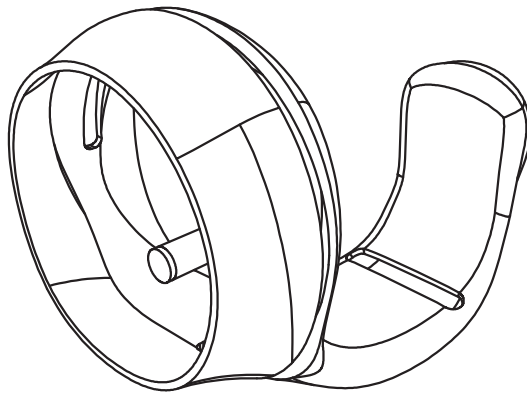



A

B

C

D

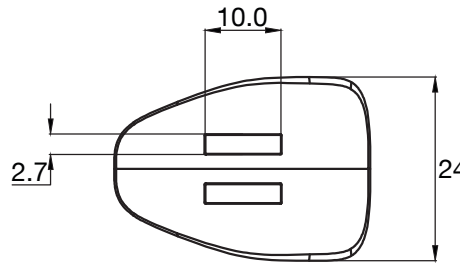
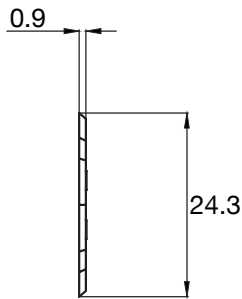
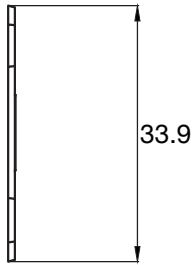


José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA	ESC.
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Módulo de Muñeca - M01		13.03.12	1:2
Vistas Generales		COTAS	
		mm	

1

2

3



4

5

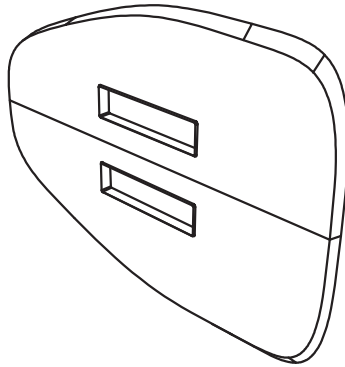
6

A

B

C

D



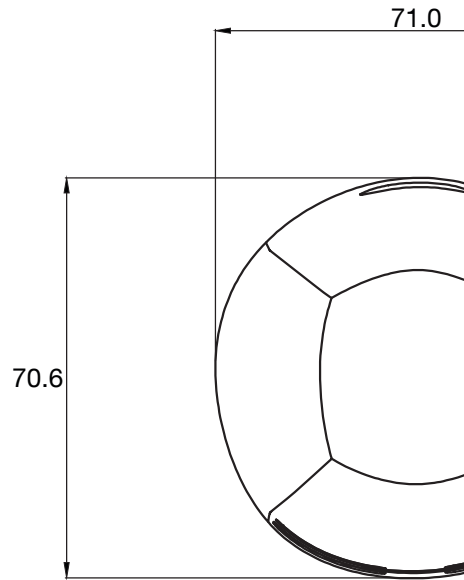
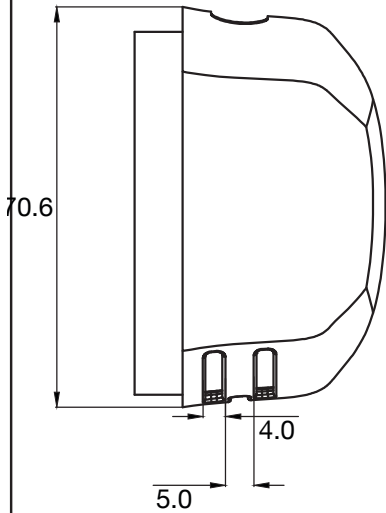
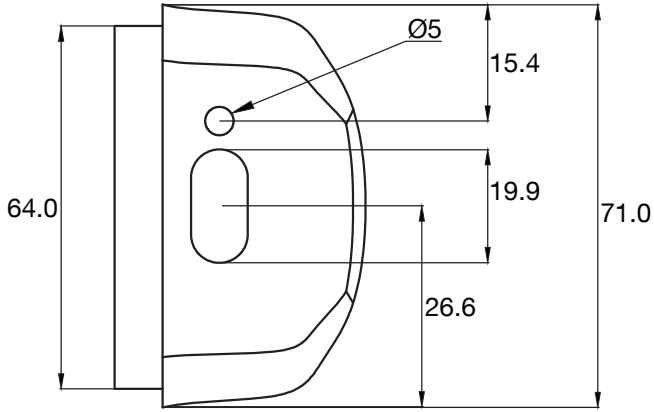
4.3

José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA	ESC.
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Módulo de Muñeca - PL01		13.03.12	1:1
Vistas Generales		COTAS	
		mm	

1

2

3



4

5

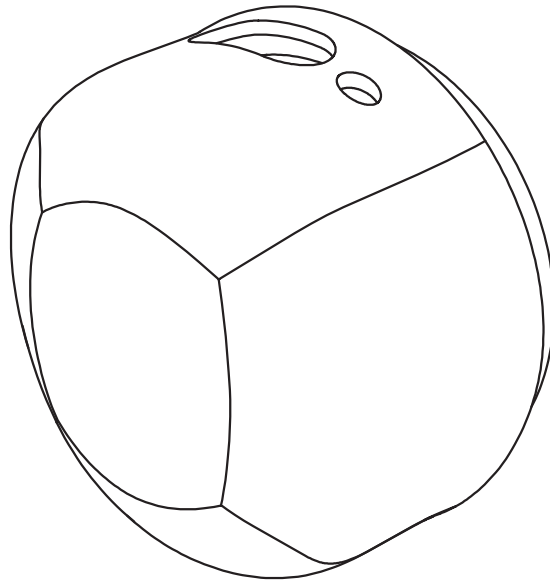
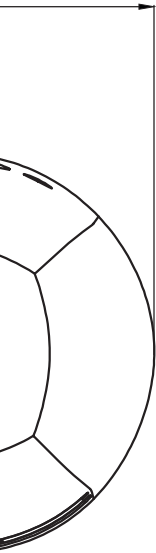
6

A

B

C

D

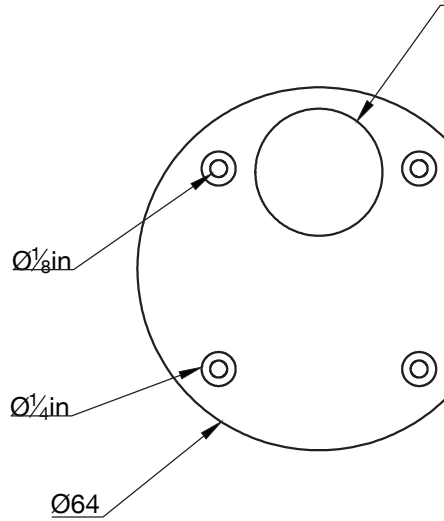
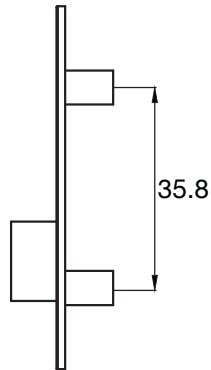
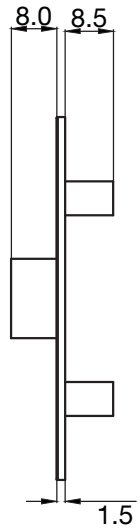


José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA	ESC.
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Módulo de Muñeca - M03		13.03.12	1:1.5
Vistas Generales		COTAS	
		mm	

1

2

3



4

5

6

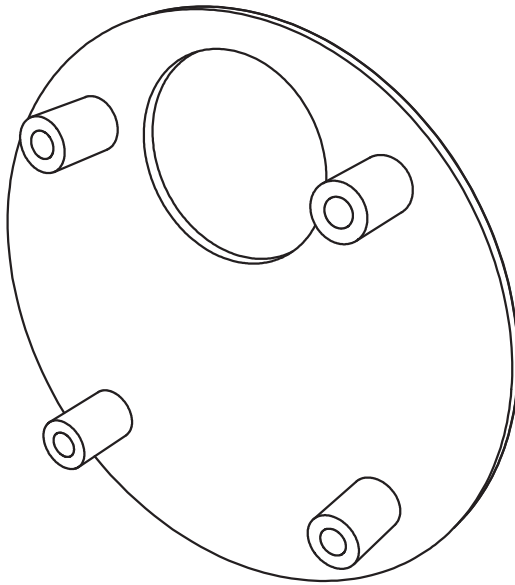
A

B

C

D

Ø22.4

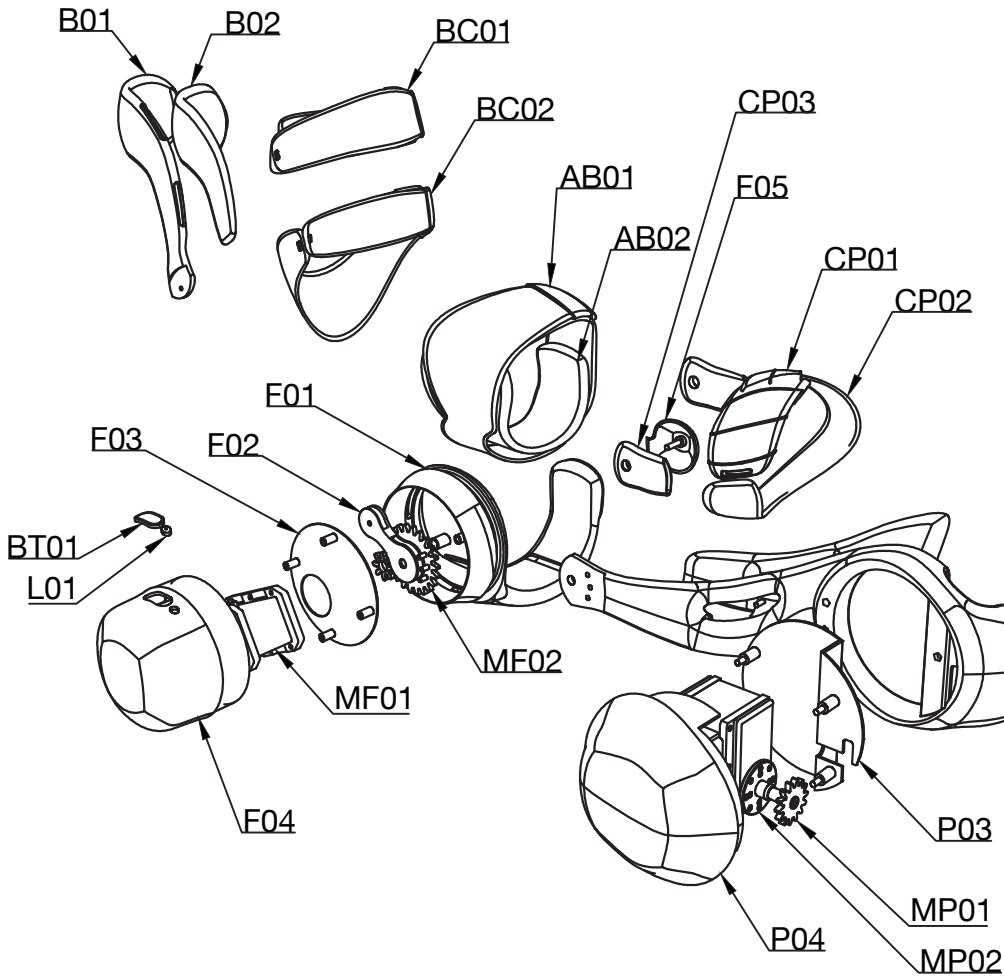


José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA	ESC.
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Módulo de Muñeca - M02		13.03.12	1:1.5
Vistas Generales		carta	
		COTAS mm	21/37

1

2

3



4

5

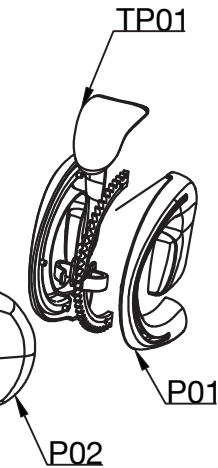
6

A

B

C

D



B01	1	Soporte Biceps	Duraform EX	Sinterizado Selectivo Láser
B02	1	Almohadilla respirable	Spacetex + Neopreno	Moldeado/cortado/torrado
BC01	2	Banda Ajustable Biceps	Neopreno	Pieza comercial
BC02	2	Banda ajustable biceps	Neopreno	Pieza comercial
AB01	1	Banda ajustable Antebrazo	Neopreno + velcro	Pieza Comercial
AB02	1	Almohadilla antebrazo	Spacetex + Neopreno	Moldeado/cortado/torrado
CP01	1	Banda semirígida pronación	Resina SLSFLEX	Sinterizado Selectivo Láser
CP02	1	Banda ajustable pronación	Neopreno + velcro	Pieza Comercial
CP03	1	Pieza de seguridad de banda	Duraform EX	Sinterizado Selectivo Láser
TP01	1	Cubierta de Seguridad Pronación	Resina Poliuretano	Moldeado a Presión
P01	1	Empuñadura Pronación	ABS + Polipropileno	Inyección
P02	1	Pieza Longitudinal pronación	Duraform EX	Sinterizado Selectivo Láser
P03	1	Cubierta Módulo Pronación	Resina de Poliuretano	Moldeado a Presión
MP01	1	Engranaje Pronación	Acero	Maquinado
MP02	1	Motor Pronación	-	Pieza Comercial
P04	1	Módulo Pronación	Resina de Poliuretano	Moldeado a Presión
MF01	1	Motor Flexión	-	Pieza Comercial
MF02	2	Engranaje Flexión	Acero	Maquinado
F01	1	Codera Flexión	DuraformEX	Sinterizado Selectivo Láser
F02	1	Articulación Flexión	Acero	Fundición
F03	1	Cubierta Módulo Flexión	Resina de Poliuretano	Moldeado a Presión
F04	1	Módulo Flexión	Resina de Poliuretano	Moldeado a Presión
F05	1	Tapón Banda semirígida	Resina de Poliuretano	Moldeado a Presión
BT01	1	Botón de emergencia	ABS	Inyección
L01	1	LED	-	Pieza Comercial

CLAVE

CANTIDAD

NOMBRE

MATERIAL

PROCESO

José Manuel
Tórner Morales

CIDI UNAM

FECHA

ESC.

13.03.12

-

Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior -
Módulo de Muñeca

carta



Despiece

COTAS

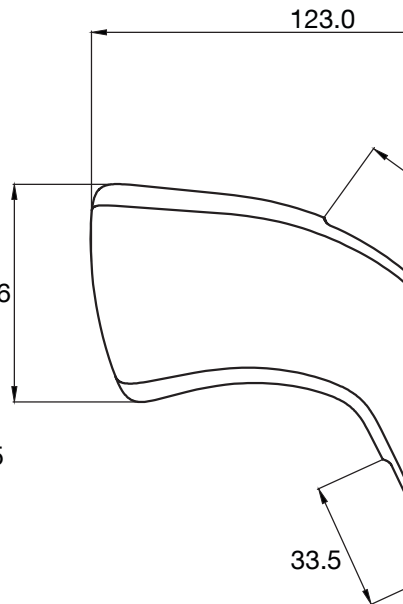
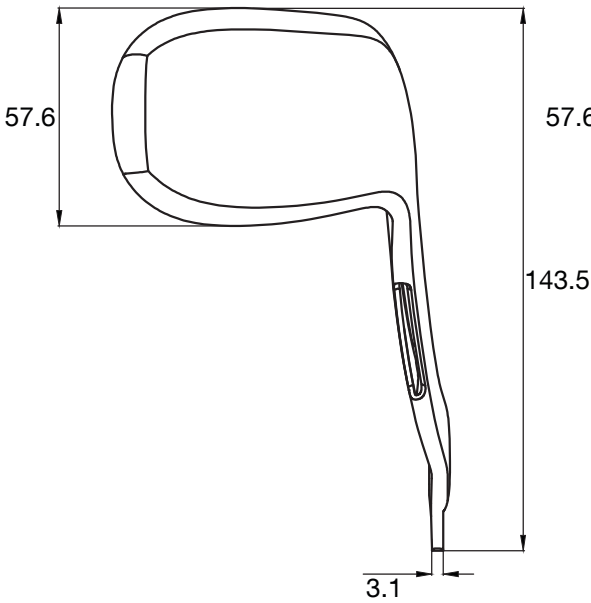
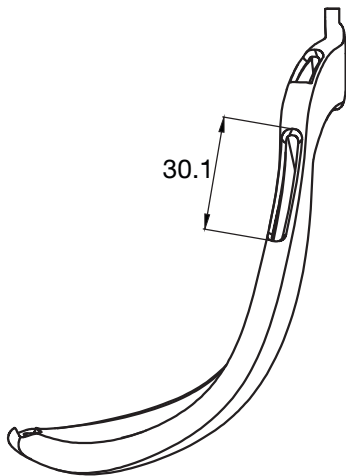
22/37

mm

1

2

3



4

5

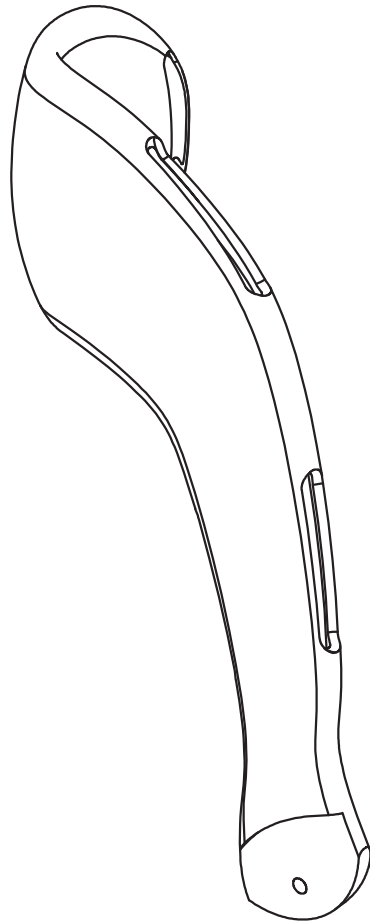
6

A

B

C

D

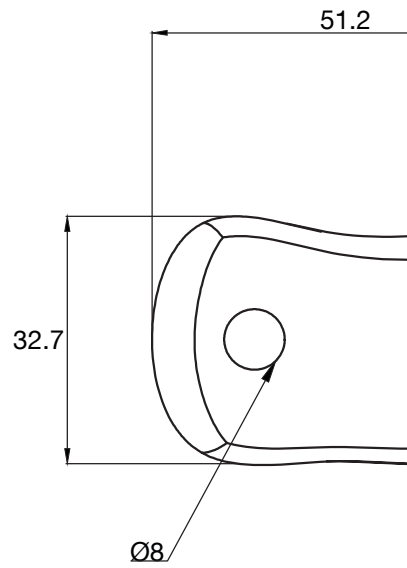


José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA	ESC.
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Módulo de Codo - B01		13.03.12	1:2
Vistas Generales		carta	
		COTAS mm	23/37

1

2

3



4

5

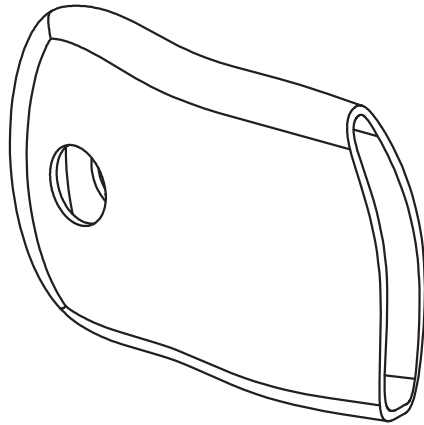
6

A

B

C

D

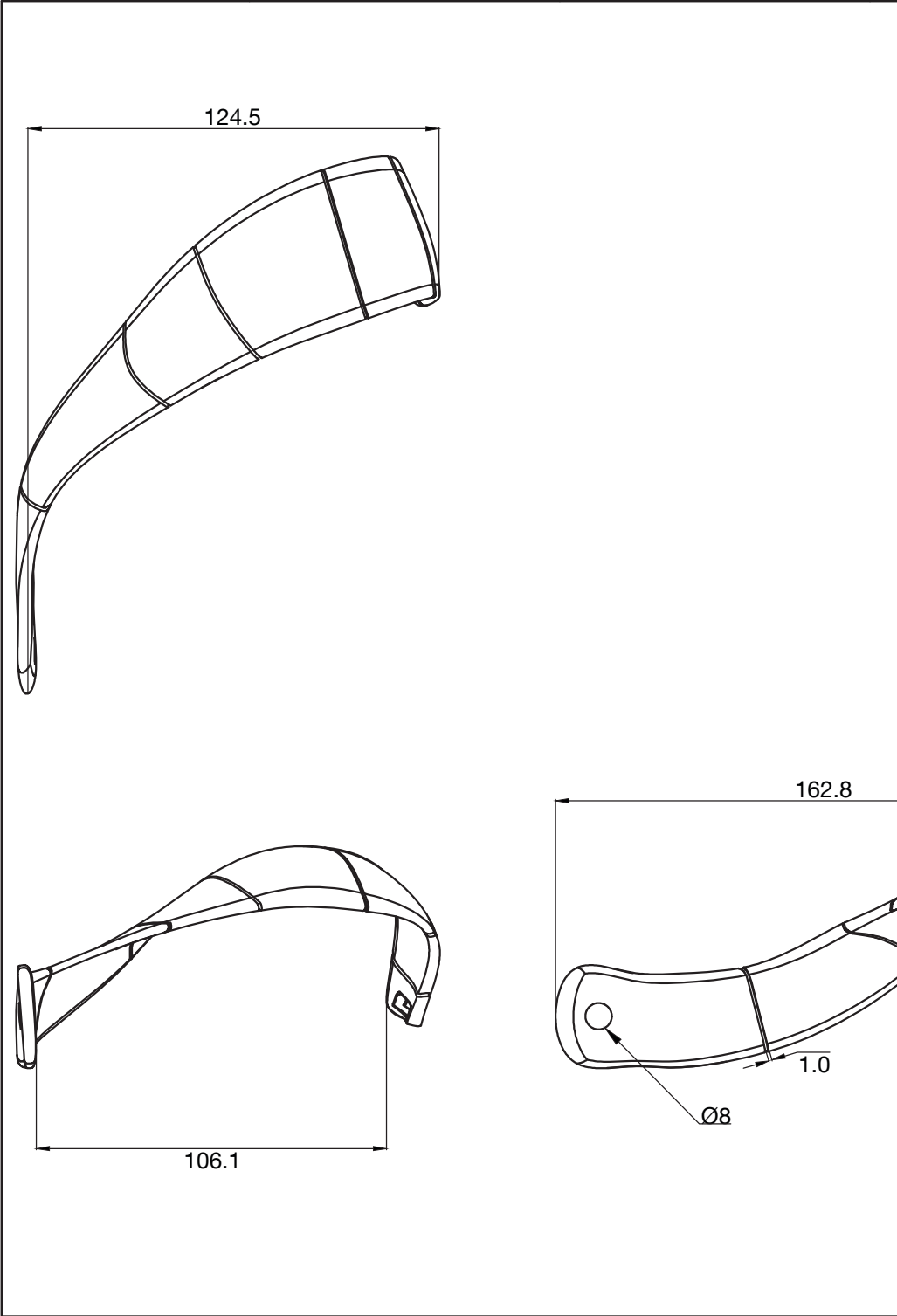


José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA	ESC.
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Módulo de Codo - CP03		13.03.12	1:1
Vistas Generales		carta	
		COTAS mm	24/37

1

2

3



4

5

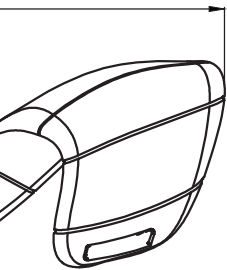
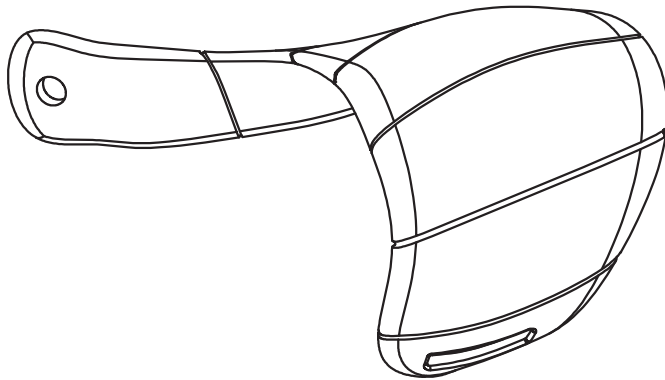
6


A

B

C

D

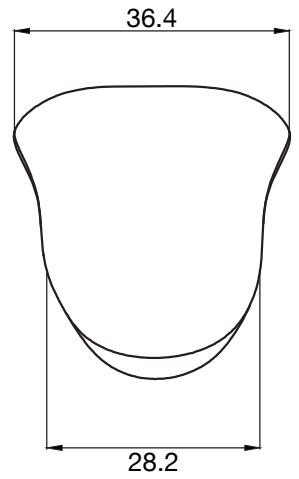
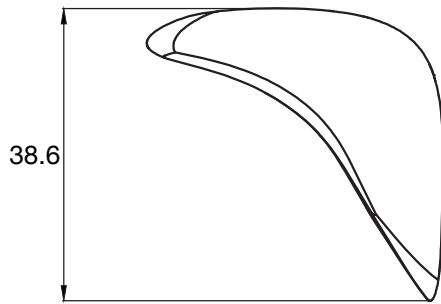
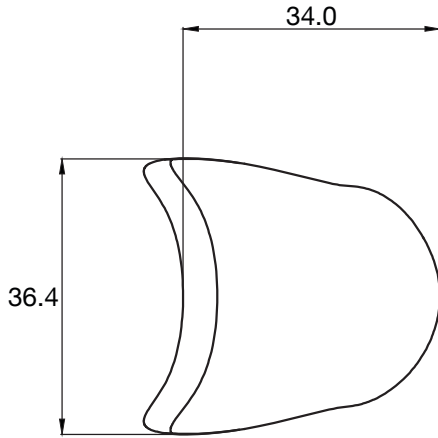


José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA 13.03.12	ESC. 1:2
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Módulo de Codo - CP01		carta	
Vistas Generales		COTAS mm	25/37

1

2

3



4

5

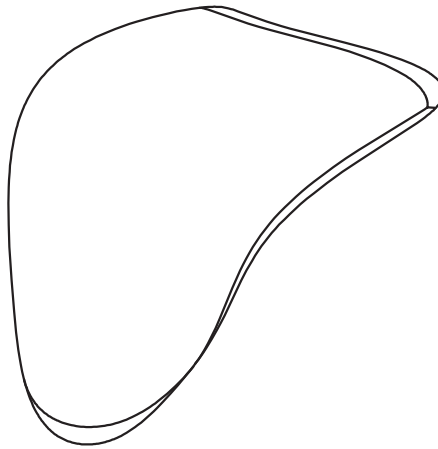
6

A

B

C

D

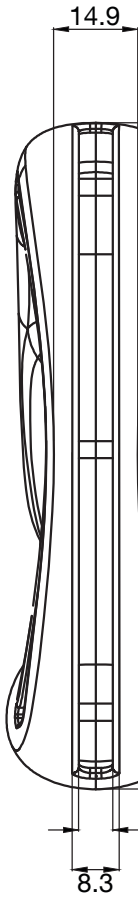
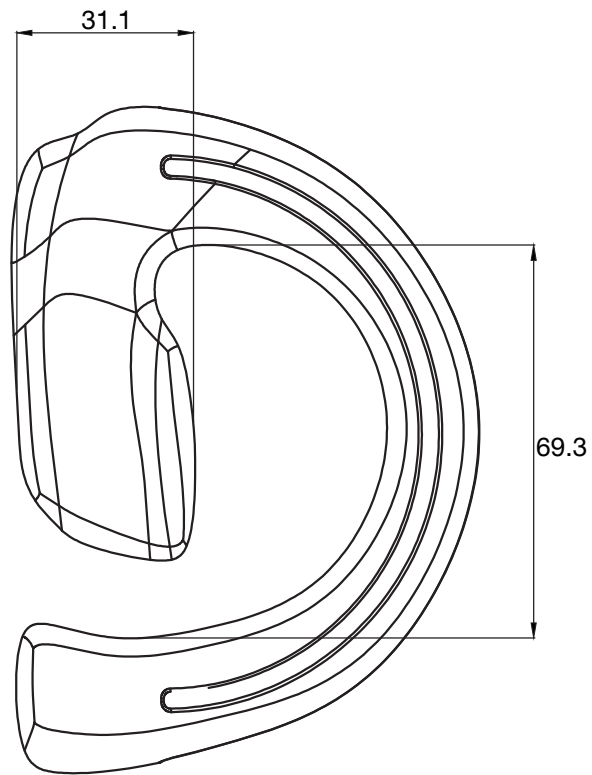
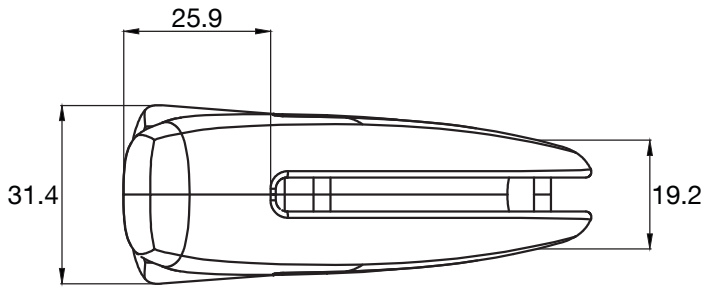


José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA 13.03.12	ESC. 1:1
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Módulo de Codo - TP01		carta	
Vistas Generales		COTAS mm	26/37

1

2

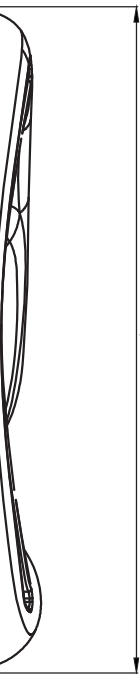
3



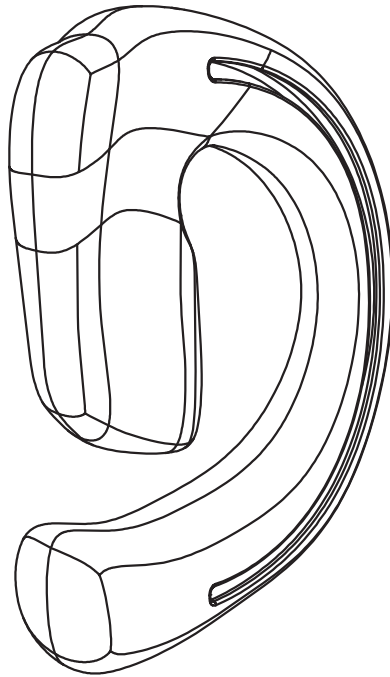
4

5

6



6.0



A

B

C

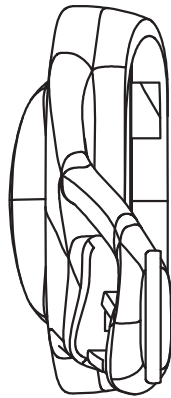
D

José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA	ESC.
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Módulo de Codo - P01		13.03.12	1:1.5
Vistas Generales		carta	
		COTAS mm	1/11

1

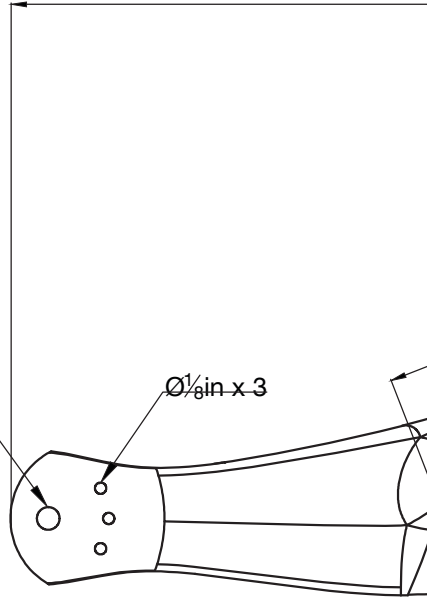
2

3



$\varnothing\frac{1}{4}\text{in}$

$\varnothing\frac{1}{8}\text{in} \times 3$



4

5

6

D

A

322.0

103.3

Ø87.3

25.1

B

8.9 102.4



C

6.0

D

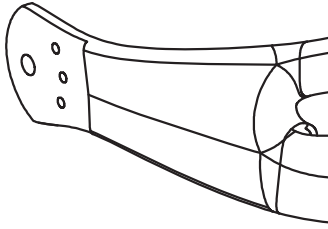
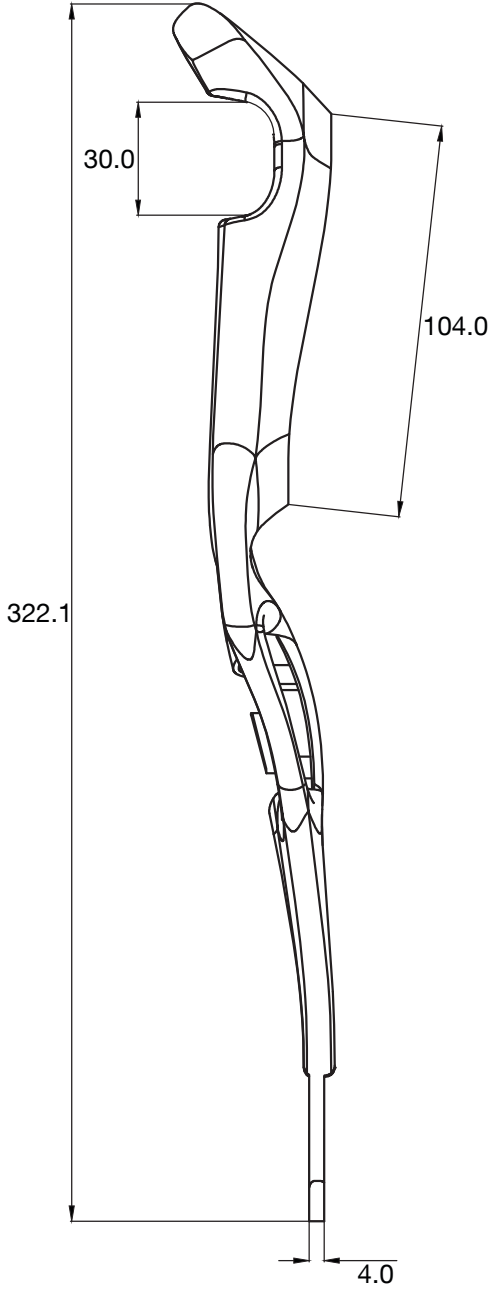
205

José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA	ESC.
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Módulo de Codo - P02		13.03.12	1:2
Vistas Generales		carta	
		COTAS mm	28/37

1

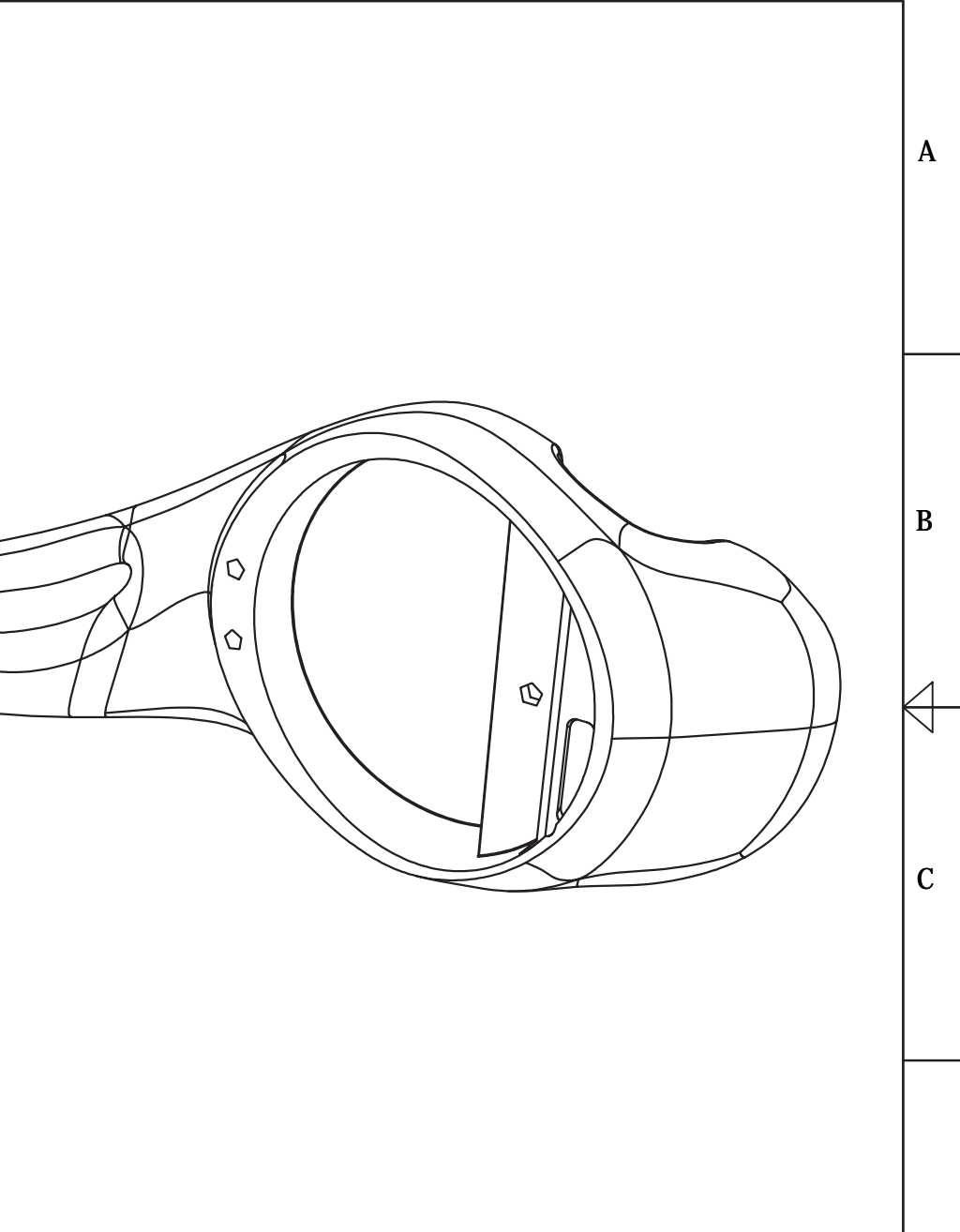
2

3



206

VISTA D




A

B

C

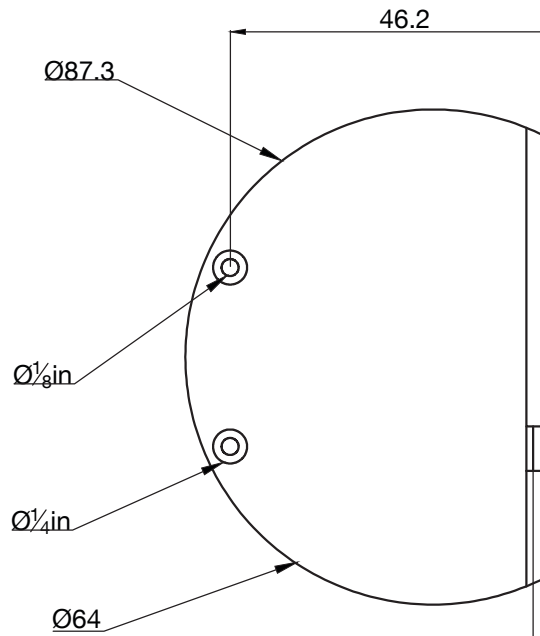
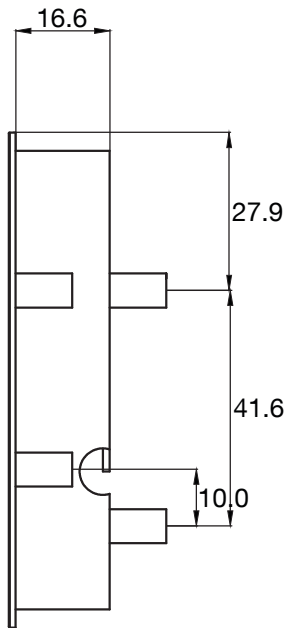
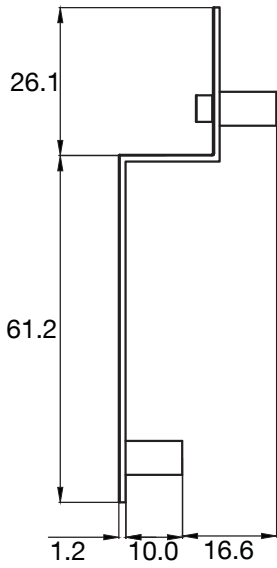
D

José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA 13.03.12	ESC. 1:2
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Módulo de Codo - P02		carta	
Vistas Generales		COTAS mm	29/37

1

2

3



4

5

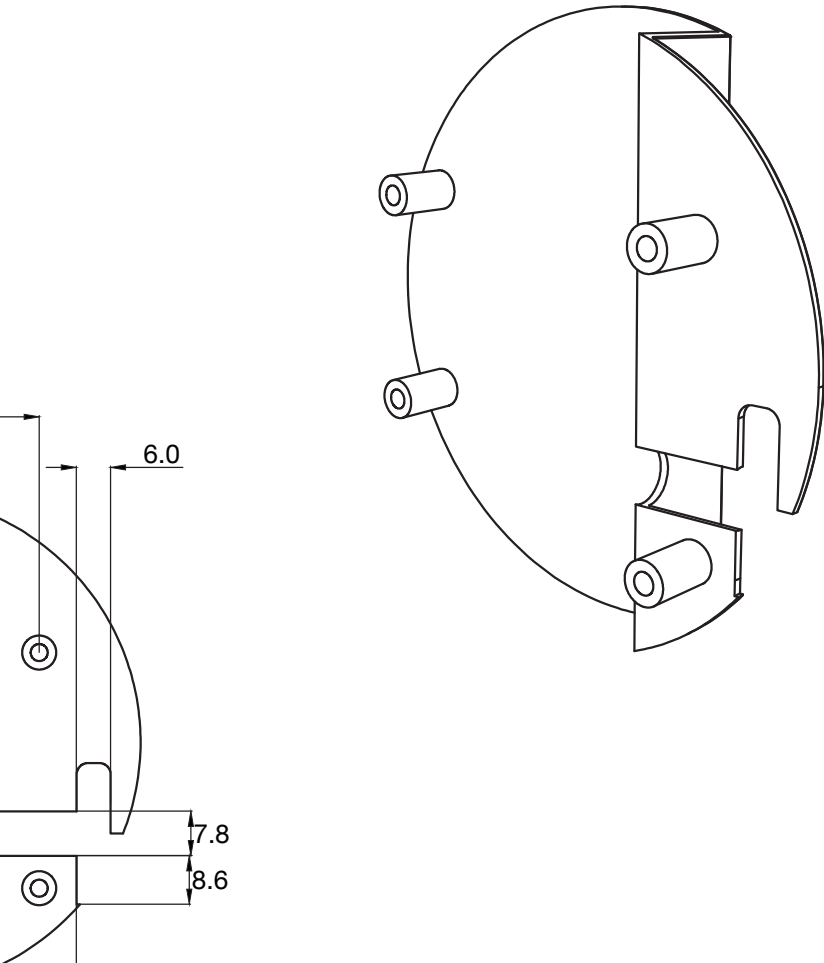
6

A

B

C

D



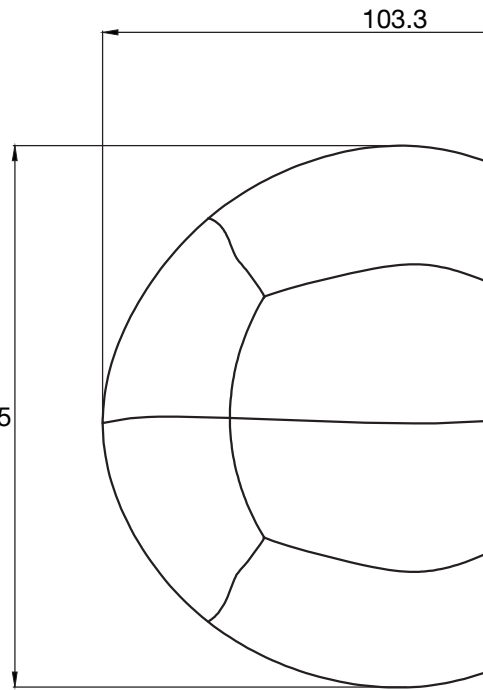
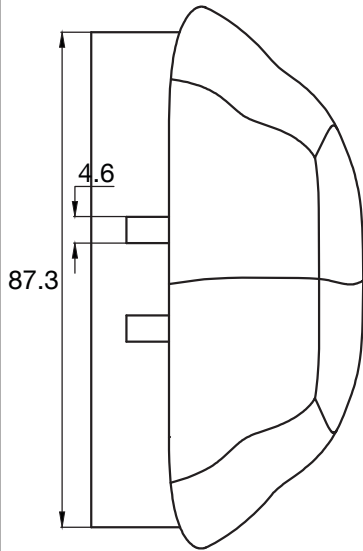
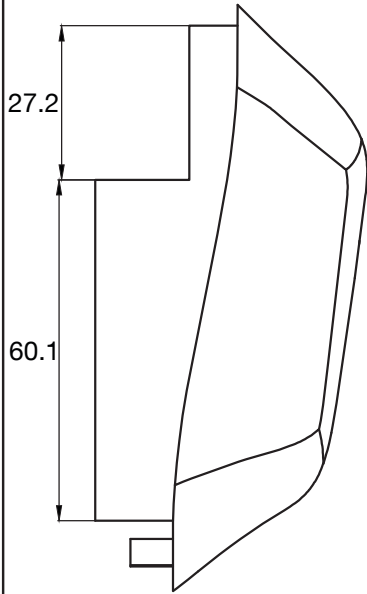
209

José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA 13.03.12	ESC. 1:1.5
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Módulo de Muñeca - M02		carta	
Vistas Generales		COTAS mm	30/37

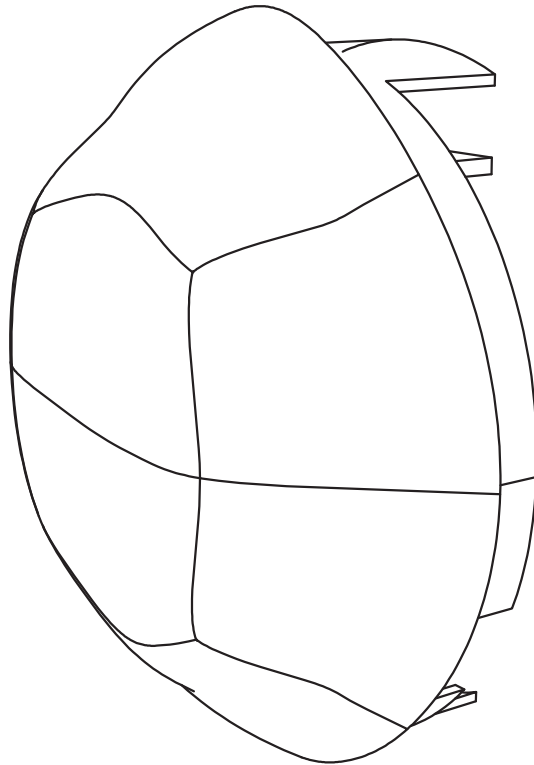
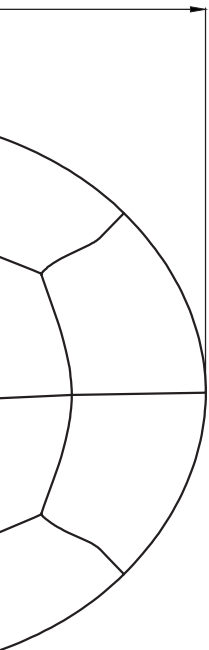
1

2

3



210



A

B

C

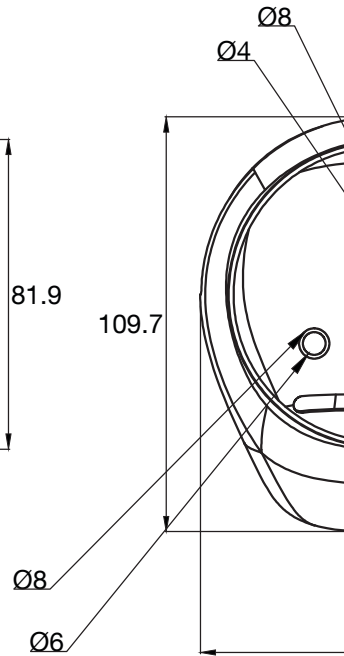
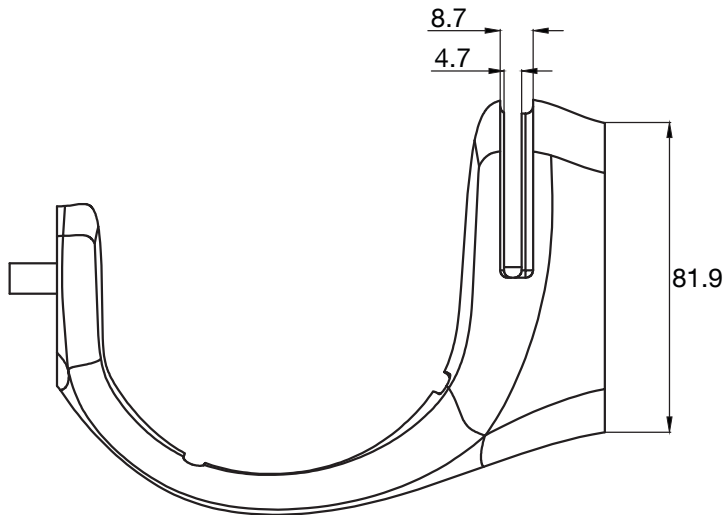
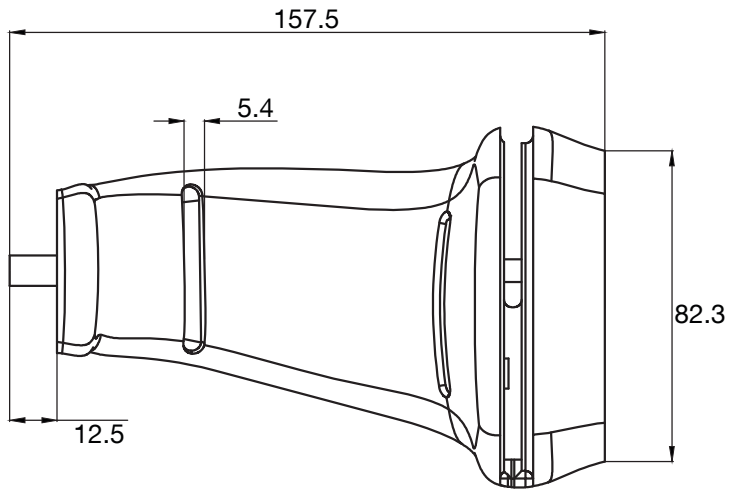
D

José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA	ESC.
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Módulo de Codo - P03		13.03.12	1:1.5
Vistas Generales		carta	
		COTAS mm	31/37

1

2

3



4

5

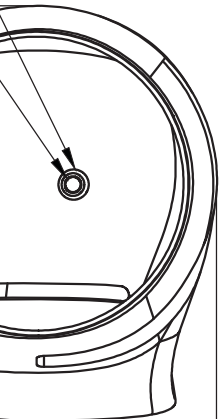
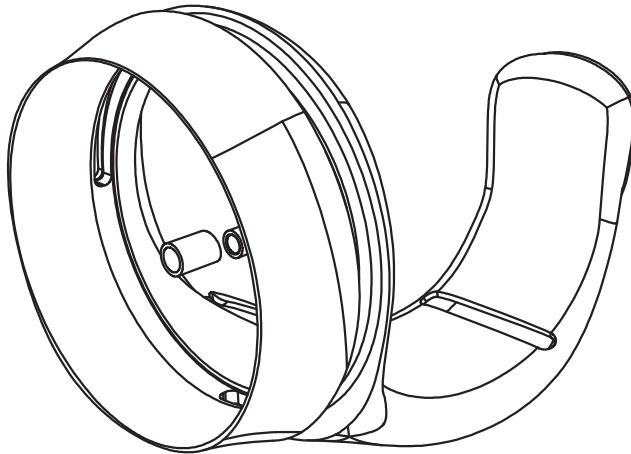
6

A

B

C

D



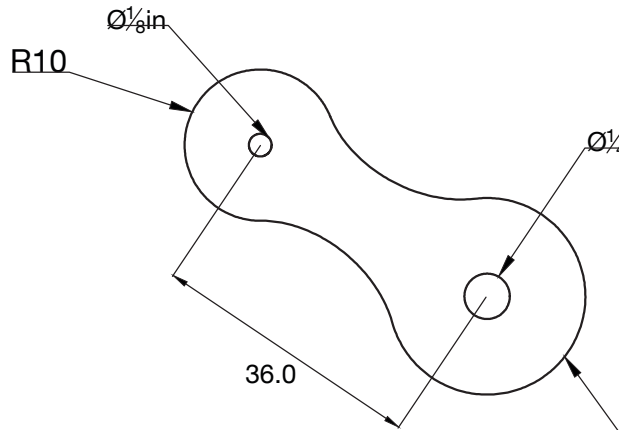
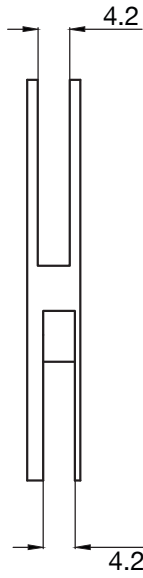
95.3

José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA	ESC.
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Módulo de Codo - F01		13.03.12	1:2
Vistas Generales		carta	
		COTAS mm	32/37

1

2

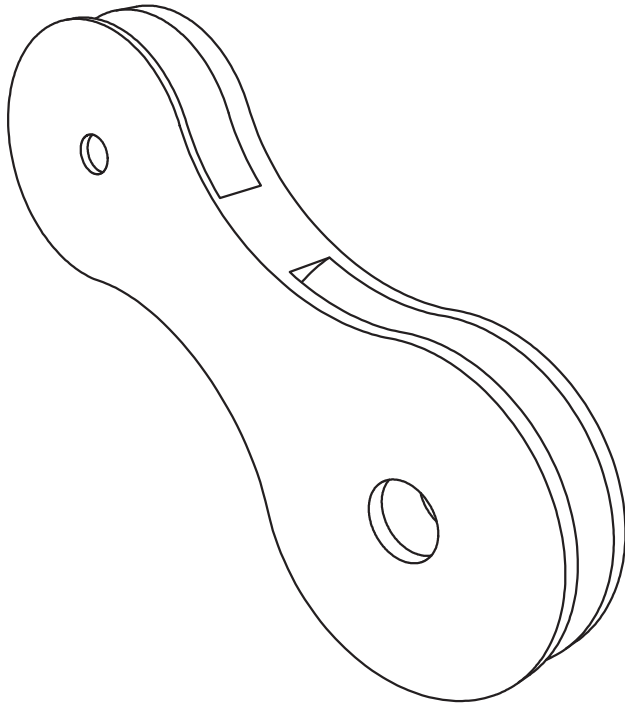
3



4

5

6



A

B

C

D

4in

R13

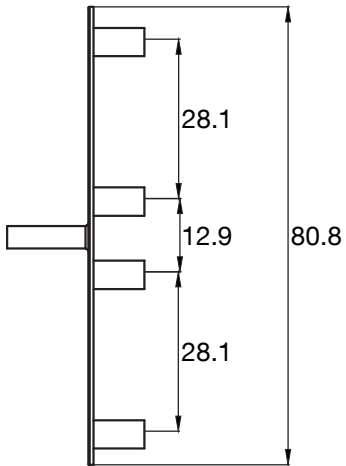
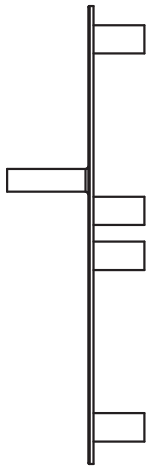
215

José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA 13.03.12	ESC. 1:1
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Módulo de Codo - F02		carta	
Vistas Generales		COTAS mm	33/37

1

2

3



Ø80.8

Ø1/4in

Ø1/8in

Ø28.2

4

5

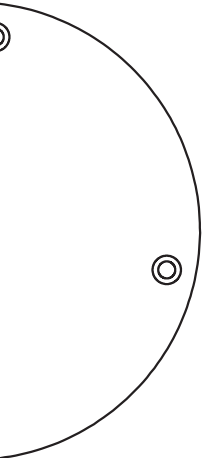
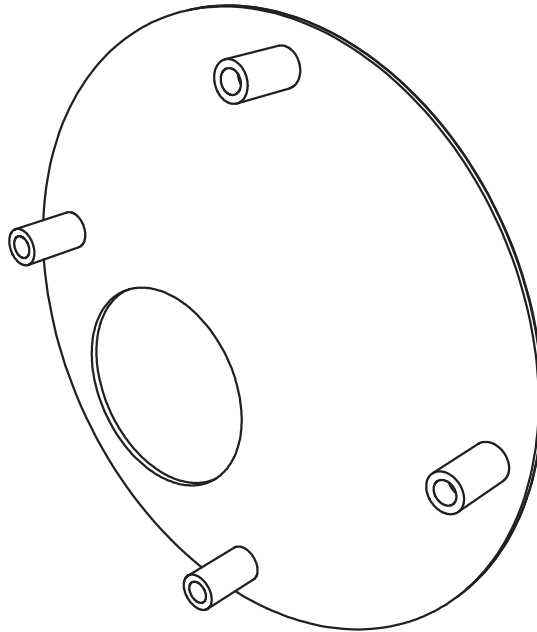
6

A

B

C

D

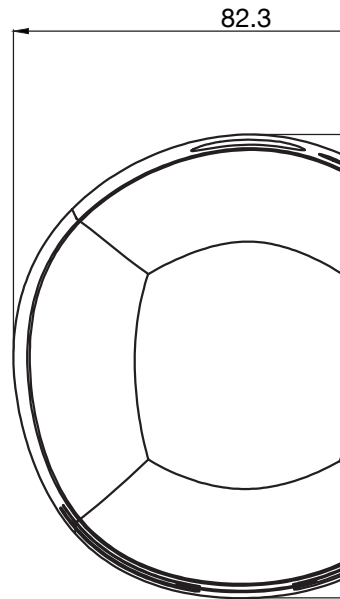
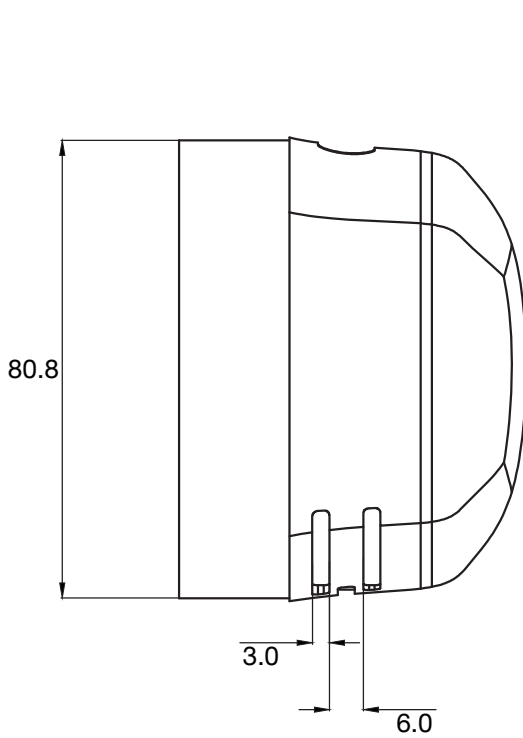
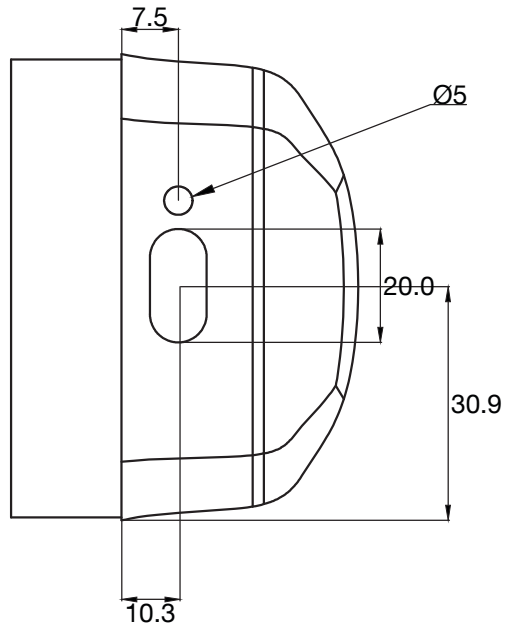


José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA	ESC.
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Módulo de Codo - F03		13.03.12	1:1.5
Vistas Generales		carta	
		COTAS mm	34/37

1

2

3



218

4

5

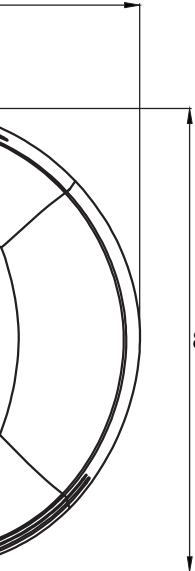
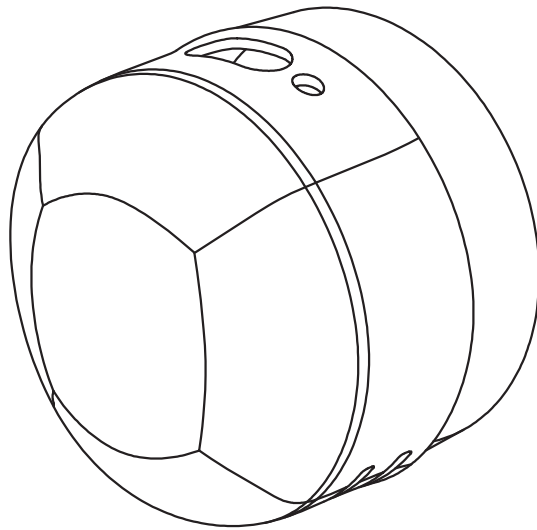
6

A

B

C

D



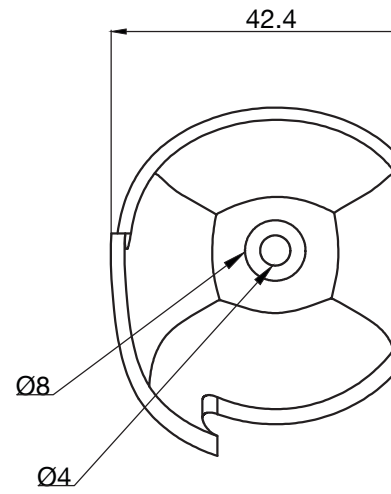
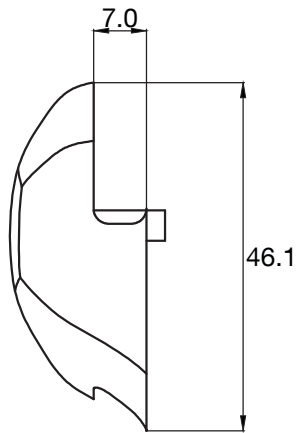
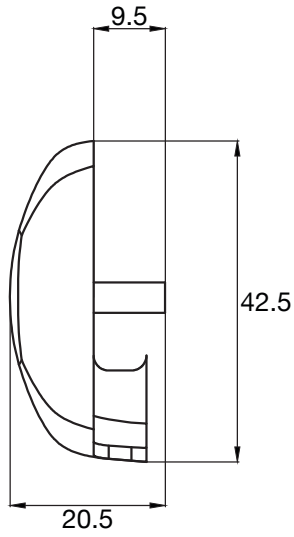
81.7

José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA	ESC.
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Módulo de Codo - F04		13.03.12	1:1.5
Vistas Generales		carta	
		COTAS mm	1/11

1

2

3



4

5

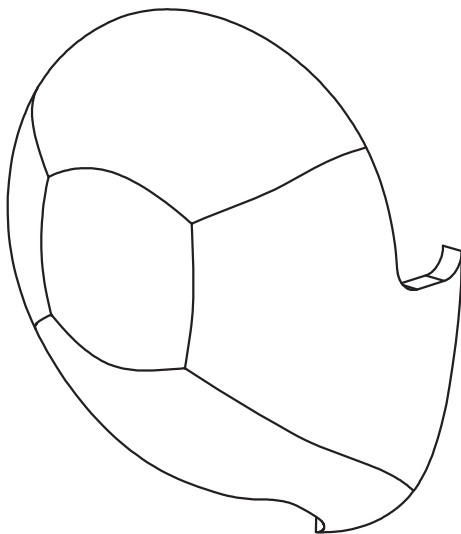
6

A

B

C

D

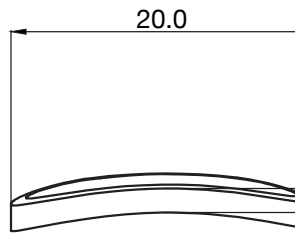
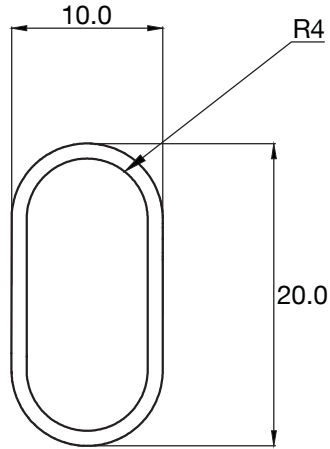


José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA 13.03.12	ESC. 1:1
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Módulo de Codo - F05		carta	
Vistas Generales		COTAS mm	36/37

1

2

3



4

5

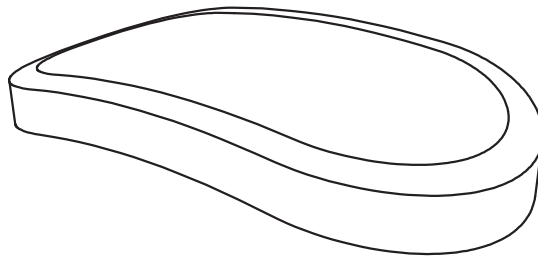
6

A

B

C

D



José Manuel Torner Morales	CIDI UNAM	FECHA	ESC.
Exoesqueleto de Rehabilitación para Miembro Superior - Módulo de Codo - B01		13.03.12	2:1
Vistas Generales		COTAS	
		mm	

REFERENCIAS

- Avila Charaund, Rosario** (2001). *Dimensiones antropométricas de población latinoamericana: México, Cuba, Colombia, Chile*. Guadalajara, Jalisco. Universidad de Guadalajara. Centro de Investigaciones en Ergonomía.
- Bermudez Cristancho, Luis Alexander** (2011). *Pensamiento de Diseño Estratégico* (seminario). CIDI UNAM. Agosto - Octubre.
- Burke, McNeill, Charles, Morrow** (2009). *Serious Games For Upper Limb Rehabilitation Following Stroke*. School of Computing and Information Engineering. University of Ulster PPT.
- Cirio, Juan** (2004) *Stroke: Epidemiología, subtipos, forma de presentación*. Hospital Juan Fernandez, Buenos Aires, Argentina. PDF (Consulta: Mayo 2011).
- Clasificación de Brunnstrom en EVC** (2011). Fuente primaria: Trabajo multidisciplinario con el Laboratorio de Ergonomía del IMSS. PPT.
- DIF** (03 Enero 2008). En México las personas con discapacidad sufren discriminación. Comunicado de Prensa, (Consulta: Mayo 2011)
- Flores Olmedo, Daniel** (2008). *Definición de Parámetros básicos para implementación de Robots en rehabilitación física de brazos*. Tesis de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico, D.F.
- García Diez** (2003). Fisioterapia de la Espasticidad: Técnicas y Métodos. PDF. (Consulta: Mayo 2011).
- INEGI** (2000). *Clasificación de tipo de discapacidad*, INEGI. PDF (Consulta: Mayo 2011).
- INEGI** (2004). *Las personas con discapacidad en México: una visión censal*, INEGI. P.01 - 91. PDF (Consulta: Mayo 2011).
- Jackson, Holt, Culmer, Mokower, Levesley, Richardson, Cozens, Williams and Bhakta** (2006). *Dual Robot System For Upper Limb Rehabilitation After Stroke: The Design Process*. University of Leeds, UK. PDF (Consulta: Mayo 2011)
- Kapandji** (2006). *Fisiología Articular - Tomo I Miembro Superior*, 6a edición. Editorial Médica Panamericana.
- Letier, Pierre** (2011). *SAM: Portable haptic arm exoskeleton upgrade technologies and new application fields*. Space Applications Services. PDF (Consulta julio 2011).
- Lum, Burgar, Shor, Majmundar, Van Der Loss** (2002). *Robot-Assisted Movement Training Compared With Conventional Therapy Techniques For The Rehabilitation Of Upper-Limb Motor Function After Stroke*. American Congress of Rehabilitation Medicine and the American Academy of Physical Medicine and Rehabilitation. PDF (Consulta: Mayo 2011).

- Materialien** (sin fecha) Ottobock Health Care. www. ottobock.de. PDF (Consulta 15.10.10).
- Molero, Olga; Vásquez, Catherine; Lopez, María; Gálvez, Aratxa; García, Rebeca** (2006). *La discapacidad motora*. Universidad e Castilla - La Mancha. DOC (Consulta: Mayo 2011)
- Obaid, Norma** (2007). *Espasticidad: Etiología, Fisiopatología y Características Asociadas*. Santa Fe, Argentina. PDF. (Consulta: Mayo 2011)
- Pedroza Meléndez, Alejandro** (2008). “Historia de las prótesis de mano”. *La reunión*. <http://revistalareunion.blogspot.mx>. (Consulta: Octubre 2010).
- Proyecto CONACYT - IMSS 2004-C1109** (2004). Perfil Antropométrico del Trabajador Mexicano.
- Quiñones, Sandra** (2009). “Espasticidad en Adultos”. *Revista Mexicana de Neurociencia*. P. 112-121. PDF (Consulta: Mayo 2011).
- RAE** (2001) *Diccionario de la Real Academia Española*. 22a Edición. Madrid: Espasa Calpe.
- Rodríguez, Yvet** (24 Agosto 2011). *Equipos Medicos: El Mercado Mundial, Oferta Y Demanda*. <http://www.diariodeciencias.com.ar>. (Consulta: Octubre 2010)
- Rojas Vásquez, Leonardo** (2009) *Diseño de una prótesis de brazo con seis grados de libertad, tesis de ingeniería*. Bogotá, Colombia. Fundación Universidad de América, Facultad de Ingenierías. PDF (Consulta: Mayo 2011).
- Soto Treviño, sofía** (2009). *Apoyo auxiliar para marchas patológicas. Tesis de diseño industrial*. Mexico, D.F. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Vaz Leal, Carrasco, Ángeles** (2009) . *Clasificación de las deficiencias, discapacidades y minusvalías*. PDF. (Consulta: Septiembre 2010)
- Volpe, Krebs, Hogan, Edelstein, Diels, Aisen** (2000). *A Novel Approach To Stroke Rehabilitation - Robot aided sensorimotor stimulation*. American Academy of Neurology. PDF. (Consulta: Octubre 2010)
- World Health Organization** (2011). *Dasability and Health*, factsheet # 352. PDF.(Consulta; mayo 2011).
- World Health Organization** (2011). *New World Report Shows More Than 1 Billion People With Disabilities Face Substantial Barriers In Their Daily Lives*. WHO, República de Malta. PDF (Consulta: Mayo 2011).
- World Health Organization** (2011). *World Report on Disability*. WHO, República de Malta. PDF (Consulta: Mayo 2011)

ANEXOS

ANEXO 1 ENCUESTA INICIAL

Exoesqueleto Hemiplejía
Estudio de Usuarios

Nombre del paciente

Edad

Estatura / Peso

- ¿Cuál fue la causa de la Hemiplejía?

- a) Accidente cerebro vascular
- b) Congénita o de nacimiento

- ¿Quién asiste al paciente en sus actividades?

- a) Familiar
- b) Conocido o amigo
- c) Especialista o Terapeuta
- d) Nadie

- ¿Según las etapas Brunnstron, en qué etapa de la terapia se encuentra el paciente?

1. Flacidez
2. Espasticidad, resistencia a movimientos pasivos.
3. Espasticidad marcada (flexión en manos y piernas.
4. Reducción de espasticidad
5. Disminuye más la espasticidad, pero se mantiene presente con rápidos movimientos
6. Desaparece la Espasticidad (mejora coordinación)
7. Restauración de movimientos complejos con características normales.

- ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por los siguientes conceptos? Tache una respuesta en cada rubro.

CONCEPTO				Otra cantidad
Terapia Física	\$0 a \$200	\$200 a \$500	\$500 o más	
Medicamentos	\$0 a \$200	\$200 a \$500	\$500 o más	
Órtesis	\$0 - \$1000	\$100 a \$3000	\$3000 o más	

- ¿ Con qué se asiste el paciente cuando esta solo?. (puede escoger mas de una respuesta)

- a) Brazo contrario
- b) Piernas
- c) Cadera
- d) Boca
- e) Frente / cara

- ¿Ha usado algún tipo de Órtesis o algún equipo asistente de rehabilitación?

Si

No

- Defina del 1 al 5 el grado de efectividad de las órtesis en cuanto a la rehabilitación, siendo el 1 muy malo y el 5 muy bueno.

1

2

3

4

5

- ¿Toma alguno de estos medicamentos para combatir la espasticidad?

- a) Baclofeno
- b) Tizanidina
- c) Ciclobenzaprina
- d) Inyecciones de Botox
- e) Psicotrópicos
- f) Otro

CIDI - Facultad de Ingeniería
UNAM

Los motivos de esta encuesta son puramente académicos.

ANEXO 2 RESULTADO ENCUESTA Y FUERZAS INICIALES

Paciente	Edad	Estatura (m)	Peso (Kg)	Causa de la Hemiplejía	Persona que asiste al paciente en sus actividades	Etapa de Espasticidad	¿Cuánto estaría dispuesto a pagar?	
							Terapia Física	Medicamento
José Luis	33	1.80	87	Accidente - atropellamiento	Familiar	2. Espasticidad, resistencia a movimientos pasivos.	200 a 500	200 a 500
Beatriz	64	1.55	70	Accidente cerebrovascular	Familiar	2. Espasticidad, resistencia a movimientos pasivos.	200 a 500	200 a 500
Nazaria G.	49	1.45	73	Fractura	Nadie	4. Reducción de espasticidad	0 a 200	0 a 200
?	55	1.76	89	Accidente cerebrovascular	Familiar	1. Flaccidez	200 a 500	200 a 500
Gabriela Hdz.	30	1.60	59	Accidente cerebrovascular	Especialista o terapeuta	3. Espasticidad marcada (flexión en manos y piernas)	200 a 500	
Salustia S. Cruz.	73	-	-	Accidente cerebrovascular	Familiar	6. Desaparece la Espasticidad (mejora coordinación)	200 a 500	500 o más
Ruth Royce	43	1.62	69	Accidente cerebrovascular	Nadie		500 o más	500 o más
Trinidad Varela	59	1.58	63	Fractura	Nadie		0 a 200	0 a 200
Genaro Salvador	73		63	Accidente cerebrovascular	Especialista o terapeuta	4. Reducción de espasticidad	0 a 200	500 o más

Nombre del Paciente	Edad	Estatura (m)	Peso (kg)	Codo			Hombro
				Extensión	Flexión	Lateral Superior	
Andrew Solis Leiva	12	-	51	10	5	8	
José Luis	33	1.80	87	10	12	10	
Beatriz	64	1.55	70	-	11	23	
Nazaria G.	49	1.45	73	30	33	3	
Gabriela Hdz.	30	1.60	59	20	10	60	
Salustia S. Cruz.	73	-	-	20	18	20	
Genaro Salvador	73		63	10	14	20	
					30	30	

Custo a pagar por...		¿Con qué se asiste al paciente cuando está solo?	¿Has usado algún tipo de órtesis o asistente en rehabilitación?	Grado de efectividad de las ortesis o asistentes	Medicamento vs espasticidad	Observaciones
Centos	Órtesis					
200	3000 o más	Brazo contrario	Si	2. Malo		
200	1000 a 3000	Brazo contrario	No		No sabe	
200	0 a 1000	Fierras y brazo contrario	Si	3. Medio	Paracetamol, etc.	
200	1000 a 3000	No se queda solo	Si	3. Medio	Loarte o Proceína, Miltexpor	
	3000 o más	Brazo contrario	No		Ciclobenzaprina	Tel. 53616615
		Brazo contrario	No			Raul Castillo 53001550
	0 a 1000	Brazo contrario	Si	3. Medio	Naproxeno	\$1000 terapia y meds. 1/2 año en terapias. Ortesis cadera, medallón
			No		Finacetamol, diclofenaco, etc.	Gastos cubiertos por seguro
		Brazo contrario	No		Lozartan, citalopran.	

Codo	Muñeca		Dedos				Pronosupinación	Observaciones
	Hacia el Frente	Flexión	Extensión	P	I	M		
		11						Izquierda
		14						Izquierda
		21						Derecha
		25				30		Derecha (fractura)
		10						
		18	20	20				Derecha
		10	20	20				Izquierda
		30			18			Derecha

Muestra de Torque de Miembro Superior en Personas Mexicanas

	Dia	Clave	Sexo	Edad	Estatura	Peso	Min.	Max.	Extension Muneca	From.	Min.	Max.	Promocion
				21	m	Kg	1.81	2.71	1.80	2.26	1.80	2.71	
		Exo 00 Israel	M	27	1.88	62.0	3.84	6.76	5.09	7.69	3.40	6.80	
		Exo1	M	27	1.75	70.0	4.52	8.59	5.09	7.69	3.40	6.80	
		Exo5	M	19	1.75	70.0	4.52	8.59	5.09	7.69	3.40	6.80	
		Exo6	M	28	1.74	71.0	4.63	7.23	11.19	9.40	3.84	6.10	
		Exo7	M	28	1.80	73.0	7.23	11.19	9.40	3.84	6.10	4.52	
		Exo8	F	29	1.57	60.0	4.41	5.54	4.80	4.80	3.18	4.52	
		Exo9	M	30	1.70	89.0	5.43	9.95	7.70	4.83	7.69	4.52	
		Exo10	M	21	1.82	96.0	6.33	10.17	7.90	4.83	5.76	4.75	
		Exo11	F	20	1.64	77.0	4.76	6.22	5.20	2.94	4.19	4.86	
		Exo12	F	21	1.67	61.0	1.47	2.83	2.30	3.16	5.20	2.71	
		Exo13	M	28	1.72	83.0	9.49	11.75	10.60	5.88	8.59	4.52	
		Exo14	F	30	1.60	78.0	4.41	5.43	4.90	3.05	4.52	2.37	
		Exo15	M	20	1.77	67.0	3.28	4.18	3.80	1.36	2.37	2.37	
		Exo16	F	20	1.60	45.0	2.71	4.18	3.10	1.70	2.37	2.37	
		Exo17	F	19	1.62	44.0	0.90	1.47	1.10	1.13	1.81	1.81	
		Exo18	F	21	1.73	80.0	2.37	3.16	2.80	1.92	2.71	2.71	
		Exo19	F	24	1.65	55.0	1.13	2.60	2.00	2.03	2.71	2.71	
		Exo20	M	23	1.81	60.0	6.10	7.12	6.50	3.82	4.75	4.75	
		Exo21	M	23	1.74	69.0	6.78	9.04	7.90	3.84	5.76	4.75	
		Exo22	M	28	1.76	74.0	5.09	6.78	6.00	3.84	6.22	4.86	
		Exo23	M	25	1.76	70.0	8.70	9.95	9.40	4.07	4.86	4.86	
		Exo24	M	28	1.66	58.0	4.18	6.22	5.20	2.71	3.39	3.39	
		Exo25	M	25	1.61	65.0	4.63	7.46	5.90	4.19	6.56	6.56	
		Exo26	F	24	1.58	50.0	3.28	4.52	4.10	2.28	2.83	2.83	
		Exo27	M	19	1.54	54.0	5.99	7.12	6.60	3.84	4.52	4.52	
		Exo28	F	18	1.72	64.0	2.83	4.52	3.70	4.52	6.56	6.56	
		Exo29	M	28	1.58	53.0	2.71	4.07	3.40	2.60	3.16	3.16	
		Exo30	F	28	1.60	73.0	5.43	7.23	6.50	6.44	7.91	7.91	
		Exo31	M	28	1.60	73.0	5.43	7.23	6.50	6.44	7.91	7.91	

ANEXO 2 MUESTRA DE TORQUE EN PERSONAS MEXICANAS PARTE 1

2011 - 2012 Laboratorio de ergonomía Centro Médico Siglo XXI

Supnación		Flexión Codo		Supraespinoso		Deltoides	
Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.

Nm (Newtons Metro)

2.20	0.90	1.70	1.30	1.81	4.07	3.10	16.60	21.14	18.40	2.26	5.43	3.60
4.63	5.65	5.40	26.11	31.76	29.90	11.75	15.37	13.00	20.23	6.56	27.58	24.00
3.73	3.28	3.50	15.15	19.35	16.80	6.78	9.04	7.60	10.06	10.06	8.40	8.40
4.52	4.97	4.70	22.04	28.37	25.10	11.30	13.90	12.60	12.21	15.37	14.00	14.00
6.33	7.12	6.70	21.59	27.01	24.20	11.87	15.03	12.20	12.66	20.57	17.00	17.00
4.41	6.44	5.20	19.21	25.09	21.90	15.48	27.92	22.10	20.01	22.61	21.40	21.40
7.23	10.17	8.80	43.06	46.68	44.20	22.94	25.54	24.00	26.67	36.28	32.20	32.20
6.67	9.04	7.80	28.71	55.95	42.50	20.91	27.58	25.70	14.24	17.63	15.50	15.50
2.71	2.79	3.10	19.78	22.38	21.10	9.61	10.82	10.20	6.76	9.38	7.70	7.70
5.43	6.22	5.90	36.39	45.66	40.90	16.25	19.08	15.30	5.88	13.34	9.00	9.00
6.76	7.57	7.20	41.25	72.00	55.70	17.18	28.84	22.30	21.81	28.03	24.20	24.20
4.07	4.63	4.30	28.37	37.75	33.70	11.75	14.47	12.80	15.15	18.31	16.90	16.90
3.62	4.07	4.00	16.61	24.41	20.80	8.59	10.98	9.70	8.48	11.98	10.50	10.50
5.65	7.01	6.40	45.78	58.32	53.20	20.68	25.32	23.10	11.87	17.57	14.00	14.00
3.05	4.18	3.80	21.14	22.04	21.60	15.37	18.21	17.50	7.69	9.16	8.50	8.50
1.92	3.16	2.40	36.06	49.96	41.30	23.51	8.59	17.30	6.22	11.08	9.00	9.00
2.71	3.50	3.10	7.69	10.85	9.60	10.23	14.02	13.00	2.71	8.25	4.70	4.70
1.81	2.26	2.10	3.16	8.59	5.80	3.96	6.67	5.10	1.47	2.71	2.00	2.00
1.92	2.71	2.40	10.74	12.66	11.60	8.59	14.02	11.00	5.54	8.82	6.80	6.80
2.60	2.94	2.70	5.54	7.60	6.70	2.71	12.21	6.30	3.84	6.67	4.80	4.80
7.12	8.70	7.70	21.59	26.11	24.20	12.77	16.73	15.20	10.62	12.66	11.60	11.60
6.33	7.80	7.40	24.19	34.13	30.70	17.41	23.08	20.10	14.92	20.91	18.10	18.10
6.76	8.59	7.80	27.24	37.52	32.90	12.55	19.08	15.00	6.10	9.95	8.50	8.50
5.59	6.78	6.40	49.84	52.10	51.00	23.06	26.90	24.90	17.63	21.36	19.30	19.30
3.73	4.75	4.40	19.67	26.71	25.50	14.52	19.08	15.00	8.48	11.98	10.20	10.20
5.43	6.78	6.00	39.11	49.51	43.90	18.54	27.15	20.40	18.31	23.96	21.00	21.00
1.82	2.60	2.30	16.28	19.78	17.30	6.33	9.95	8.40	5.88	8.59	6.90	6.90
0.79	1.02	0.90	1.36	3.62	2.40	2.71	7.46	4.90	5.76	7.23	6.40	6.40
3.62	4.85	4.10	32.44	36.06	34.70	13.45	23.08	19.00	8.25	12.77	10.90	10.90
5.31	6.33	5.90	28.37	34.59	30.40	11.75	17.07	14.70	12.21	15.37	14.20	14.20
2.94	3.28	3.10	15.48	16.95	16.20	20.12	24.75	22.70	4.97	9.16	7.10	7.10
6.89	8.70	7.50	36.20	45.44	42.20	8.14	13.11	10.60	22.61	26.45	24.80	24.80

Muestra de Torque de Miembro Superior en Personas Mexicanas

Dia	Clave	Sexo	Edad	Estatura	Peso	Extension Muñeca			Pronac		
						Min.	Max.	Prom.	Min.	Max/prom.	
				m	Kg						
	Exo 00 Israel	M	21			1.36	2.26	1.80	1.81	2.712.20	
V	20/01/2012	Exo32	F			6.56	7.80	7.30	3.16	5.20	
		Exo33	M	27	1.79	70.0	7.80	9.04	8.30	4.93	7.23
		Exo34	F	30	1.60	55.0	0.57	1.81	1.20	1.58	2.94
		Exo35	M	28	1.68	73.0	3.16	4.07	3.60	3.39	3.84
		Exo36	F	28	1.56	58.0	3.50	4.41	3.80	3.05	3.84
		Exo37	F	28	1.56	61.0	3.50	4.07	3.30	2.93	2.94
		Exo38	F	27	1.69	68.0	4.07	4.75	4.40	2.08	3.16
		Exo39	M	28	1.73	80.0	8.36	11.75	9.80	6.22	9.72
		Exo40	F	28	1.70	94.0	4.75	5.65	5.30	2.26	3.95
		Exo41	F	28	1.60	57.0	5.63	7.12	5.60	2.83	4.97
		Exo42	F				1.81	2.71	2.30	2.26	2.71
		Exo43	F	28	1.66	63.0	2.26	2.94	2.60	2.26	3.16
		Exo44	F	29	1.51	53.0	1.70	2.15	1.90	1.47	2.26
V	27/01/2012	Exo45	F	28	1.58	65.0	5.43	6.56	6.00	2.26	3.28

ANEXO 2 MUESTRA DE TORQUE EN PERSONAS MEXICANAS PARTE 2

1 - 2012 Laboratorio de ergonomía Centro Médico Siglo XXI

Supinación			Flexión Codo			Supraespinoso			Deltoides			
Min.	Max.	Prom.	Min.	Max.	Prom.	Min.	Max.	Prom.	Min.	Max.	Prom.	
Nm (Newtons Metro)												
0.90	1.70	1.30	1.81	4.07	3.10	16.60	21.14	18.40	2.26	5.43	3.60	
4.20	4.16	6.14	6.20	50.30	53.69	52.10	31.42	37.19	34.70	28.03	30.86	29.30
5.20	3.73	5.54	4.60	28.93	33.68	30.90	14.69	17.07	15.60	7.23	23.06	11.30
2.00	2.60	2.71	2.60	9.95	13.11	12.10	3.39	7.91	5.50	2.15	6.78	3.70
3.50	5.43	6.89	6.10	19.78	21.25	20.40	19.78	25.54	22.20	15.48	18.76	16.50
3.50	2.60	4.52	3.40	23.96	28.48	26.10	11.30	13.45	12.10	4.07	7.01	5.30
2.90	4.63	5.31	5.10	22.71	27.92	25.90	5.88	8.14	7.40	4.29	6.14	6.00
2.60	4.07	5.09	4.70	11.30	14.02	13.10	7.01	11.30	8.00	7.69	10.06	8.50
2.80	3.84	5.09	4.80	40.35	54.25	48.20	30.74	41.03	35.10	20.46	25.66	24.40
3.00	2.71	3.73	3.30	21.93	26.67	24.70	7.01	11.75	8.90	6.78	9.04	7.70
4.10	4.07	4.52	4.20	12.21	20.34	16.80	6.14	10.85	9.20	5.20	7.12	6.10
2.40	2.37	2.71	2.50	13.56	16.88	15.50	6.10	12.66	8.60	6.67	7.23	7.00
2.80	3.16	4.07	3.70	14.47	18.20	15.70	8.82	11.30	10.20	7.46	11.08	9.40
1.80	1.81	2.26	2.10	11.19	15.26	12.90	2.71	6.14	5.60	3.73	7.46	5.80
2.50	3.16	3.62	3.40	9.61	14.35	12.00	6.14	19.21	13.20	8.70	10.74	9.80

ANEXO 3 ENCUESTA REALIZADA PARA EVALUACION DE SIMULADORES

EDAD:

ESTATURA:

PESO:

- Instrucción: Ponerse el soporte A y B por separado en el brazo dominante mientras se realiza una pequeña entrevista y observación del proceso.

Observaciones	Soporte Posterior	Soporte Lateral

- En una escala del 1 al 5 (donde **1 es muy malo y 5 muy bueno**) evalúa los siguiente.
Rellena la casilla o asigna color rojo a los números.
1. Modelos A y B.

CONCEPTO	A (Soporte Posterior)					B (Soporte Lateral)				
Comodidad	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Dificultad para ponérselo	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Posición	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Ajuste Tamaño	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Sistema de Sujeción (cintas)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Seguridad	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

2. ¿Cuánto tiempo estarías dispuesto a traer puesto el modelo A?

<5 minutos.

10 - 20 minutos.

1/2 hora.

1 hora.

3. Modelos A, B y C para el bíceps.

CONCEPTO	A (Rígido)					B (Semirrígido)					C (Suave)				
Comodidad	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Dificultad para ponérselo	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Posición	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Sistema de sujeción (cintas)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Estética	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

4. En términos generales, ¿cuál de las 3 piezas anteriores te pareció más adecuada?

A(Rígido)

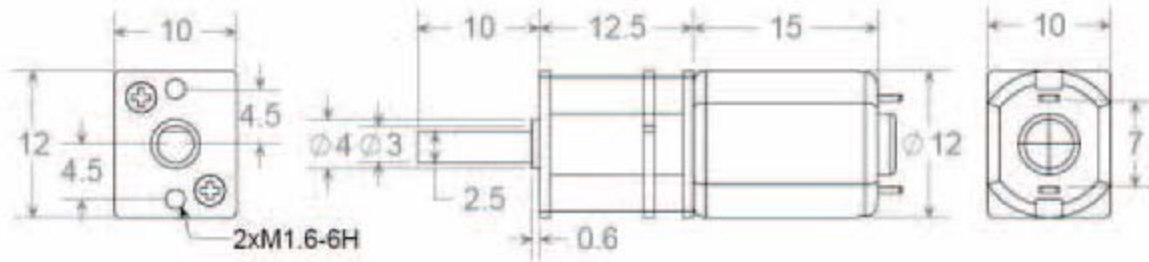
B (Semirrígido)

C (Suave)

5. Da una opinion o sugerencia breve de lo siguiente

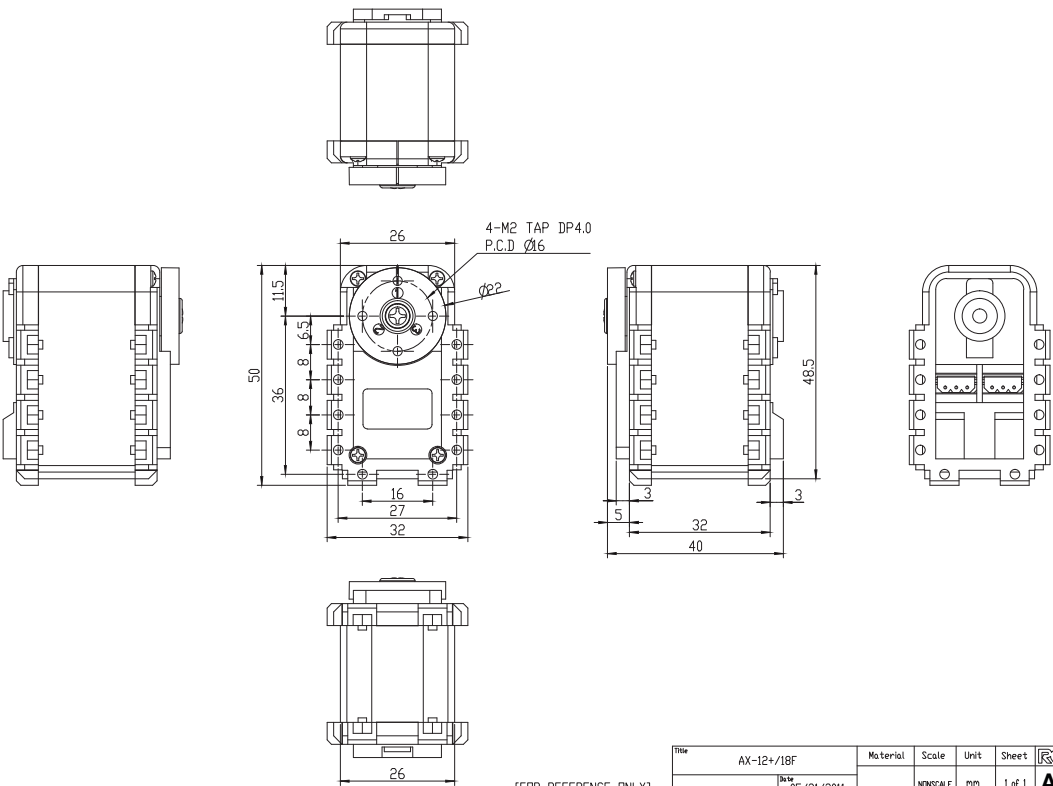
Sistemas de sujeción	
Puntos de apoyo (posición de los elementos)	
Materiales	
Ajuste de Tamaño	

**ANEXO 4 MOTOR EXTENSOR DE DEDOS
POLOLU 1595**



1000:1 micro metal gearmotor dimensions (units in mm).

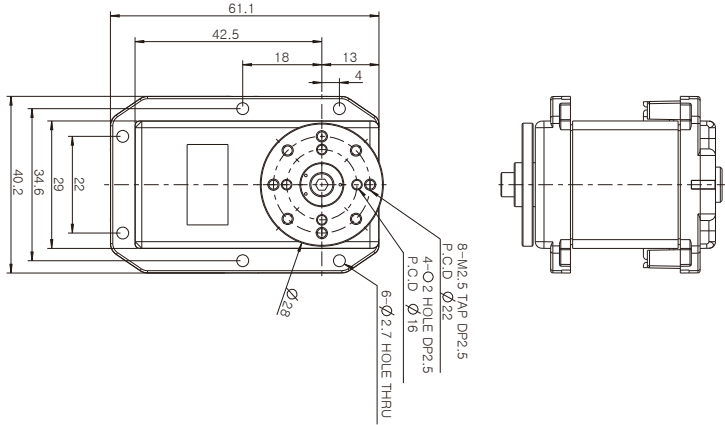
ANEXO 5 MOTOR DE MÓDULO DE MUÑECA ROBOTIS DINAMIXEL AX-18A



(FOR REFERENCE ONLY)

Title	Material	Scale	Unit	Sheet	ROBOTIS
AX-12+/18F		NONSCALE	mm	1 of 1	A4
05/31/2011					

ANEXO 6 MOTOR DE MÓDULO DE CODO ROBOTIS DINAMIXEL MX-64



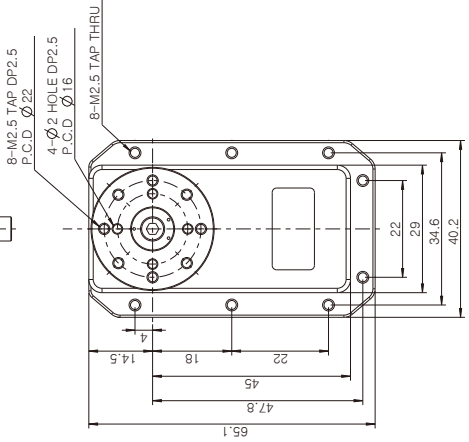
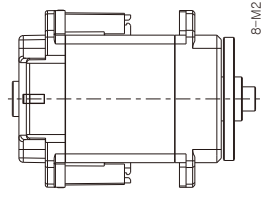
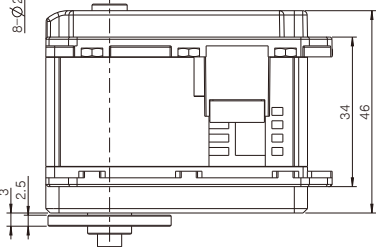
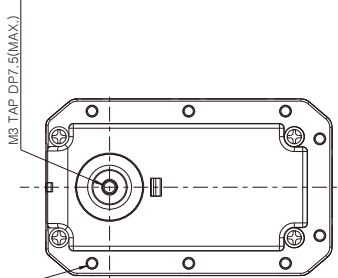
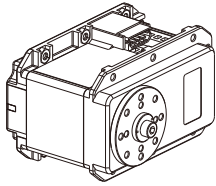
[FOR REFERENCE ONLY]

Part No.	RX-64	Material	Scale	Unit	Sheet
Rev.	1	WORK/PCB	mm	1 of 3	A4
Date	12/21/2009				



ANEXO 7 MOTOR DE MÓDULO DE CODO ROBOTIS DINAMIXEL MX-106

REV.	DESCRIPTION	CHK	DATE



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED		ROBOTIS Co., Ltd.		MODEL		DC08_B	
UNIT	mm	APPROVAL	J.W.	PART NAME	DC08_B	QTY	
0.1	0.05	CHECKED	L.J.H				
0.25	0.1	DATE	J.W.	11/09/2009	SIZE	DWG NO.	PART NO.
0.5	0.2	DRAWN		A4		SCALE	
1.0	0.5	IN WHOLE WRITTEN CONSENT OF ROBOTIS CO., LTD.					
2.0	1.0	IT CONTAINS SHALL NOT BE COPIED					
3.0	1.5	MATERIAL					
4.0	2.0	FINISH					
5.0	2.5	1/1 SHEET					
6.0	3.0	1 of 3					

**ANEXO 8 CUADRO DE ANÁLISIS Y
ESTRUCTURA DE PROYECTO (AGO - NOV 2011)**

**(INCLUIDO EN EL SOBRE ANEXO A
CONTRAPORTADA)**