

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ARQUITECTURA

Exoesqueleto de miembro inferior para pacientes con paraplejia

Reporte de investigación que para obtener el título de diseñador industrial presentan:

Gonzalo Hernández Ramírez en colaboración con Bruno Valente Chávez Lozano

Con la dirección de :

D.I. Hector López Aguado Aguilar

Y la asesoría de:

M. en I. Serafín Castañeda Cedeño

D.I. Sergio Torres Muñoz

M.D.I. Mauricio Moyssen Chávez

M.D.I. Lucila Mercado Colín

Ciudad Universitaria, Cd. Mx.

Agosto 2016

Declaramos que este proyecto es totalmente de nuestra autoría y que no ha sido presentado previamente en ninguna otra institución educativa. Y autorizamos a la UNAM para que publique este documento por los medios que considere pertinentes.





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

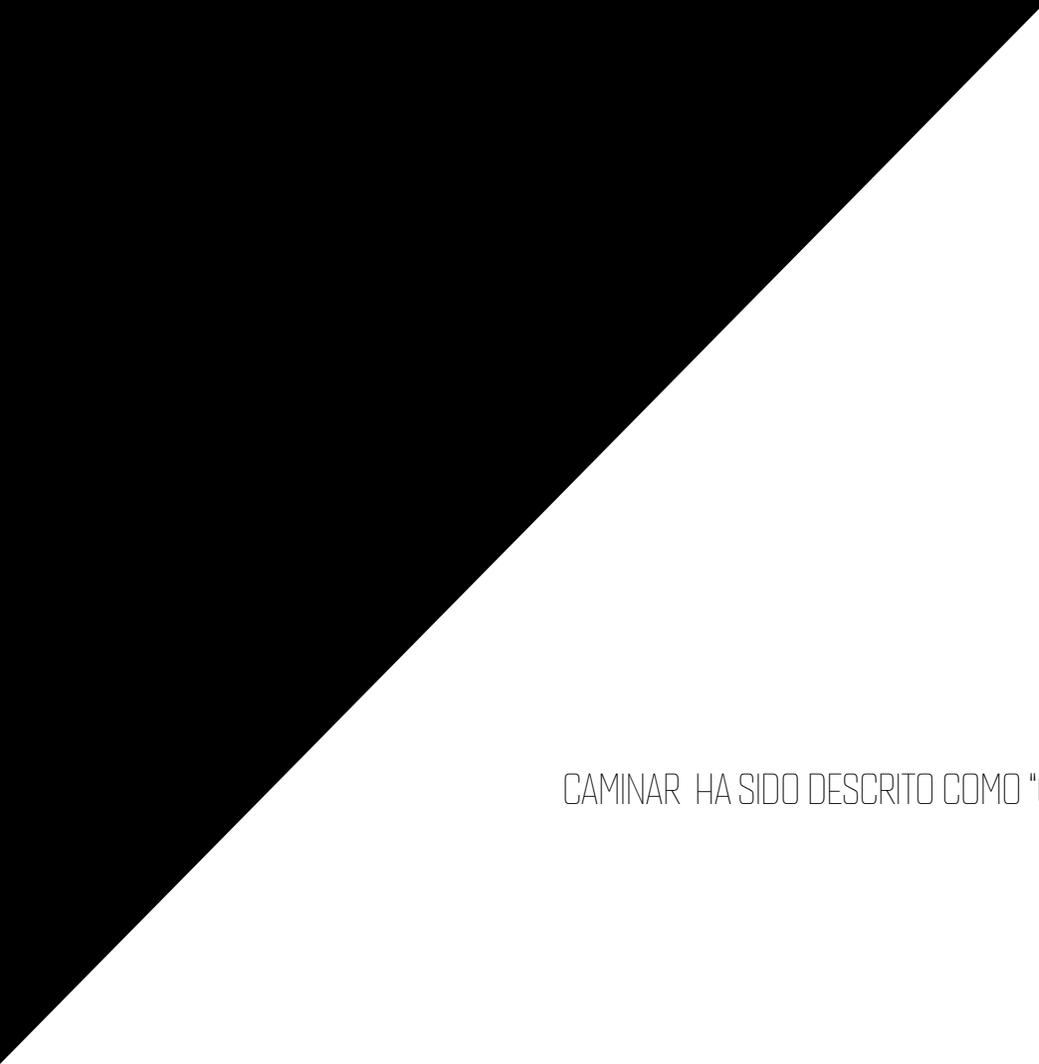
DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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.

LENU8

EXOSQUELETON



CAMINAR HA SIDO DESCRITO COMO "CAER DE FORMA CONTROLADA"

Dr. Gene Emmer



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Coordinación 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 **HERNANDEZ RAMIREZ GONZALO** No. DE CUENTA **308313886**

NOMBRE TESIS **EXOESQUELETO DE MIEMBRO INFERIOR PARA PACIENTES CON PARAPLEJIA**

OPCION DE TITULACION **(PROYECTO DOCUMENTADO)**

Consideran que el nivel de complejidad y de calidad de LA TESIS, 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 _____ a las _____ hrs.

Para obtener el título de **DISEÑADOR INDUSTRIAL**

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Ciudad Universitaria, D.F. a 7 junio 2016

NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE D.I. HECTOR LOPEZ AGUADO AGUILAR	
VOCAL D.I. SERGIO TORRES MUNOZ	
SECRETARIO M. EN I. SERAFIN CASTANEDA CEDENO	
PRIMER SUPLENTE M.D.I. MAURICIO MOYSSEN CHAVEZ	
SEGUNDO SUPLENTE M.D.I. LUCILA MERCADO COLIN	

ARQ. MARCOS MAZARI HIRIART
Vo. Bo. del Director de la Facultad



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

EP01 Certificado de aprobación de
impresión de Tesis.

Coordinación de Exámenes Profesionales
Facultad de Arquitectura, UNAM
PRESENTE

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

NOMBRE CHAVEZ LOZANO BRUNO VALENTE No. DE CUENTA 308601253

NOMBRE TESIS EXOSQUELETO DE MIEMBRO INFERIOR PARA PACIENTES CON PARAPLEJIA

OPCION DE TITULACION (PROYECTO DOCUMENTADO)

Consideran que el nivel de complejidad y de calidad de LA TESIS, 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 a las hrs.

Para obtener el título de DISEÑADOR INDUSTRIAL

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Ciudad Universitaria, D.F. a 7 junio 2016

NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE D.I. HECTOR LOPEZ AGUADO AGUILAR	
VOCAL D.I. SERGIO TORRES MUNOZ	
SECRETARIO M. EN I. SERAFIN CASTANEDA CEDENO	
PRIMER SUPLENTE M.D.I. MAURICIO MOYSEN CHAVEZ	
SEGUNDO SUPLENTE M.D.I. LUCILA MERCADO COLIN	

ARQ. MARCOS MAZARI HIRIART
Vo. Bo. del Director de la Facultad

AGRADECIMIENTOS

POR SU APOYO:

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica por el apoyo brindado a la realización de la tesis y al proyecto PAPIIT IT102014 'Exoesqueleto de Miembro Inferior para Pacientes con Paraplejía'.

A los maestros Julián Covarrubias, Gloria Mendoza e Iroel Heredia del posgrado de Diseño Industrial de la UNAM, quienes fueron imprescindibles en la toma de medidas antropométricas.

Al M.D.I. Mauricio Enrique Reyes Castillo del Centro de Investigaciones en Diseño Industrial de la UNAM por el apoyo y recursos otorgados para la impresión 3D del modelo físico de presentación del exoesqueleto.

A la D.I. María Fernanda Del Río Crispín por su enorme paciencia y habilidades gráficas en el diseño editorial del documento.

BRUNO

A mi familia:

Por enseñarme tantas cosas y a siempre ver lo
bueno en la vida " Lo Pago! "

A mis amigos:

Por todas las aventuras y recuerden
" Que conveniente... "

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Bruno', with a stylized, cursive script.

GONZALO

Para mis padres, mi hermano, mi familia.
Y para todos aquellos que creyeron en mi
e hicieron esto posible.

Gracias.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Gonzalo', written in a cursive style with a large initial 'G'.

CONTENIDO

00 INTRODUCCIÓN
Resumen
Objetivo

01 TEMAS INTRODUCTORIOS
Paraplejía
Exoesqueleto
Cybathlon

02 ORDEN DE TRABAJO
Objetivos y alcances del
proyecto de tesis.

03

ETAPA 1 PROTOTIPO CYBATHLON 2016

- Antecedentes
- Equipo de trabajo Cyathlon 2016
- Diseño general
- Simuladores
- Prototipo
 - Producción
 - Función
 - Ergonomía
 - Estética
- Conclusión

04

ETAPA 2 PROPUESTA FINAL

- Conceptos
- Ventajas e Innovación
- Estructura
- Sujeción
- Confort
- Bastones
- Secuencia de uso

05

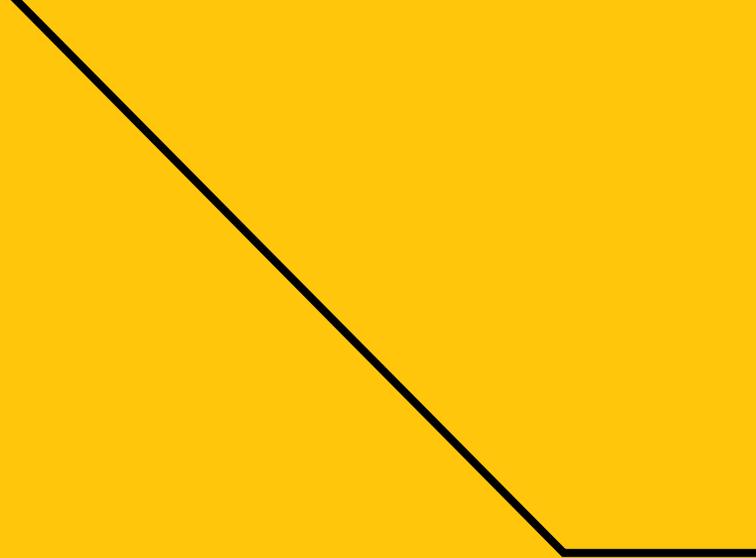
ETAPA 3 DESARROLLO A FUTURO

- Seguimiento
- Conclusiones

06

ANEXOS

- Planos Etapa 1
- Planos Etapa 2
- Glosario
- Bibliografía



INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 00



RESUMEN

El proyecto de tesis nace a partir de la invitación del M. en I. Serafin Castañeda de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (U.N.A.M.) para formar parte de un equipo encargado de diseñar y producir el prototipo de un exoesqueleto destinado a tratar la condición de la paraplejía para competir en el paralímpico *Cyathlon 2016* en nombre de la universidad.

La paraplejía es una condición que afecta al ser humano haciéndole perder, entre otras cosas, su capacidad de desplazarse. "Es importante generar una propuesta que ayude a mejorar esta condición en el paciente ya que se estima que en el Distrito Federal existe una incidencia de lesión medular traumática de 18.1 por millón de habitantes al año. El Centro Nacional de Rehabilitación (CNR) tiene una población de lesionados medulares de 200, y se ha estimado que recibe unos 100 nuevos casos al año." Ing. Diana Alicia Gayol Mérida - 2004

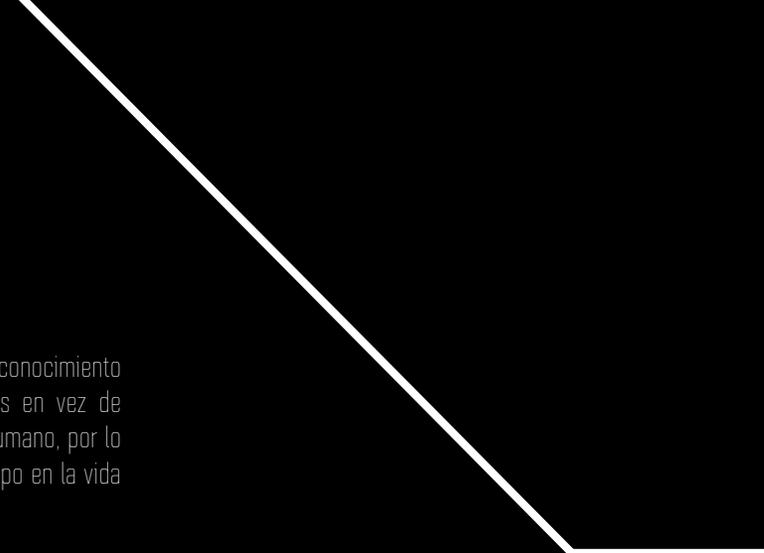
Para ayudar a la comprensión del documento la definición de todas las palabras subrayadas se encuentran en un glosario en la sección de anexos.



OBJETIVO

Trabajar en colaboración con alumnos y docentes de la Facultad de Ingeniería para diseñar y manufacturar un exoesqueleto respetando las reglas del *Cyathlon* 2016, donde será pilotado por un paciente con lesión medular grado A Completa, por lo que se requerirá la realización de simuladores, así como reproducciones físicas de dos de las pruebas más complejas que se tendrán en la competencia para verificar ideas y teorías del diseño, como funcionalidad de elementos mecánicos y ergonómicos, con el fin de fundamentar las ideas propuestas por el equipo.

Posteriormente, basándose en los conocimientos obtenidos, se generará y presentará una propuesta de diseño con la finalidad de complementar aspectos ergonómicos, funcionales y estéticos al anterior resultado del equipo, buscando proveerle al usuario la capacidad de cuidar de sí mismo mejorando su calidad de vida.



A lo largo de la historia, el ser humano ha enfocado parte de su conocimiento y determinación en superar adversidades, buscando accesorios en vez de soluciones que afecten directamente el rendimiento del cuerpo humano, por lo tanto, podríamos decir que el empleo de objetos externos al cuerpo en la vida diaria es mucho más común de lo que creemos.

Por otro lado, el poder desplazarse usando únicamente nuestro cuerpo es indispensable para la vida diaria, por lo que al haber un factor que dificulta el realizar dicha actividad conlleva una disminución en la calidad de vida. Esto ocasiona el desarrollo de herramientas y tecnologías que permitan equilibrar la pérdida de posibilidades.

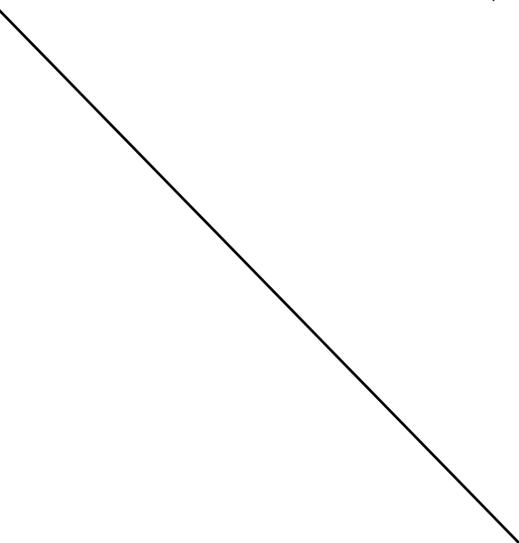
Una sociedad como la nuestra que enaltece la belleza, la juventud, el vigor y la salud, puede amplificar el golpe que para la imagen corporal supone una discapacidad, por lo que el paciente puede sentirse incómodo en público independientemente de la merma funcional sufrida.

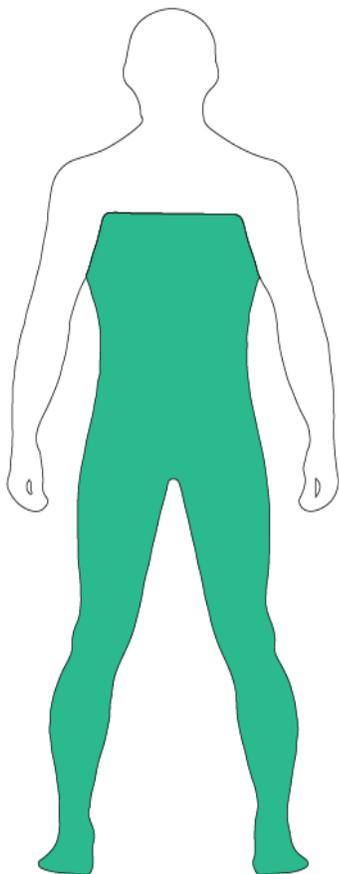
TEMAS INTRODUCTORIOS

CAPÍTULO 01

PARAPLEJÍA

El ser humano siempre lucha por ir más allá de lo que la naturaleza le impide.





¿QUÉ ES?

La paraplejía es una condición médica en la que la parte inferior del cuerpo se encuentra total o parcialmente paralizada perdiendo funcionalidad tanto motora como sensitiva y autónoma.

Cuando los miembros superiores también se ven afectados se conoce como tetraplejía o cuadriplejía.

¿CÓMO SE GENERA?

Es principalmente consecuencia de una lesión medular (LM) causada por traumatismo por debajo de las cervicales, sin embargo también puede ser causada por enfermedades del sistema nervioso, tales como la esclerosis múltiple o la esclerosis lateral amiotrófica (Enfermedad de Lou Gehrig).

Entre las principales causas de esta condición se encuentran accidentes como choques automovilísticos, caídas o lesiones al practicar deportes.

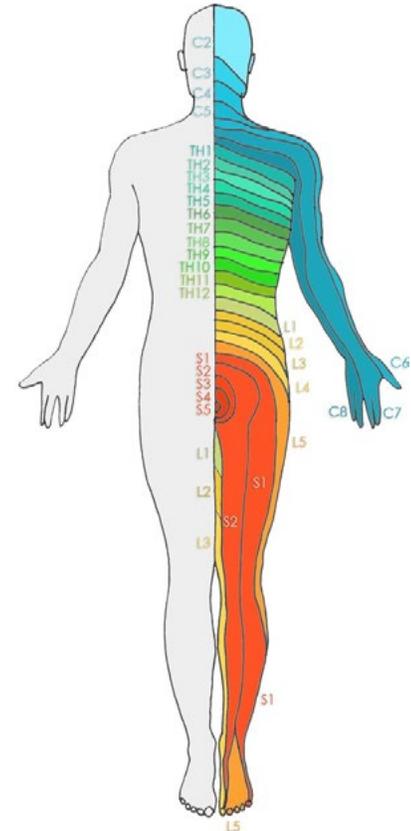
Esquema del área afectada por la paraplejía.

NIVELES DE LESIÓN

Dentro de la paraplejía existen dos tipos de lesiones: incompleta y completa. De acuerdo a la lesión que presente el paciente, dependerán las características y el nivel de la condición a tratar. Una lesión incompleta se refiere a que la capacidad que tiene la médula espinal de transmitir mensajes hacia y desde el cerebro, no se ha perdido por completo. A diferencia de ésta, una lesión completa está indicada por la ausencia total de función sensorial y motora por debajo del nivel de la lesión.

La paraplejía se diagnostica a partir de distintos tipos y niveles de lesión indicadas en la Escala de Discapacidad ASIA (American Spinal Injury Association).

Es importante mencionar que a pesar de que existe la medición de escalas ASIA, ningún paciente presenta las mismas características que otro, por lo que ésta debe utilizarse únicamente como referencia.



La herramienta de diagnóstico estándar usada en la medicina es la Escala de Discapacidad ASIA (por las iniciales de la American Spinal Injury Association) donde unicamente se trabajara con los grados A y B

A	COMPLETA	No hay preservación de función sensitiva ni motora por debajo del nivel de la lesión, abarca a los segmentos sacros S4 y S5.
B	INCOMPLETA	Hay preservación de función sensitiva, pero no motora, por debajo del nivel neurológico y se conserva cierta sensación en los segmentos sacros S4 y S5.
C	INCOMPLETA	Hay preservación de la función motora por debajo del nivel neurológico, sin embargo, más de la mitad de los músculos claves por debajo del nivel neurológico tienen una fuerza muscular menor de 3 (esto quiere decir, que no son lo suficientemente fuertes para moverse contra la gravedad).
D	INCOMPLETA	Hay preservación de la función motora por debajo del nivel neurológico y, por lo menos, la mitad de los músculos claves por debajo del nivel neurológico tienen una fuerza muscular 3 o mayor (esto quiere decir, que las articulaciones pueden moverse contra la gravedad).
E	NORMAL	Las funciones sensitivas y motoras son normales.

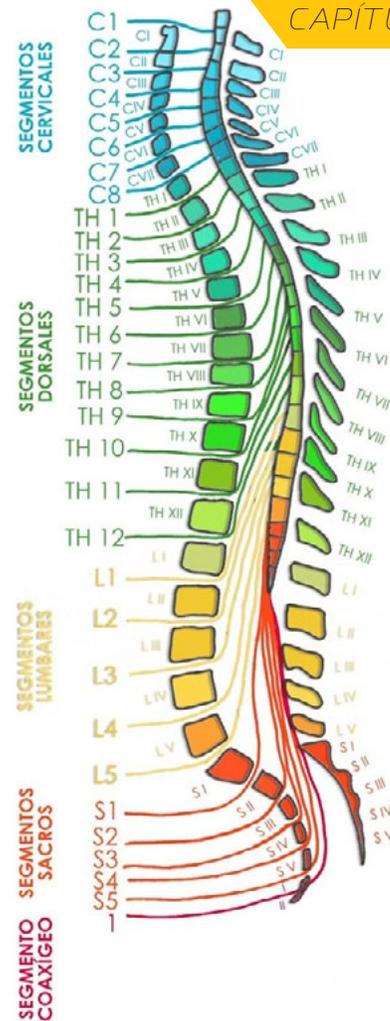
COMPLICACIONES

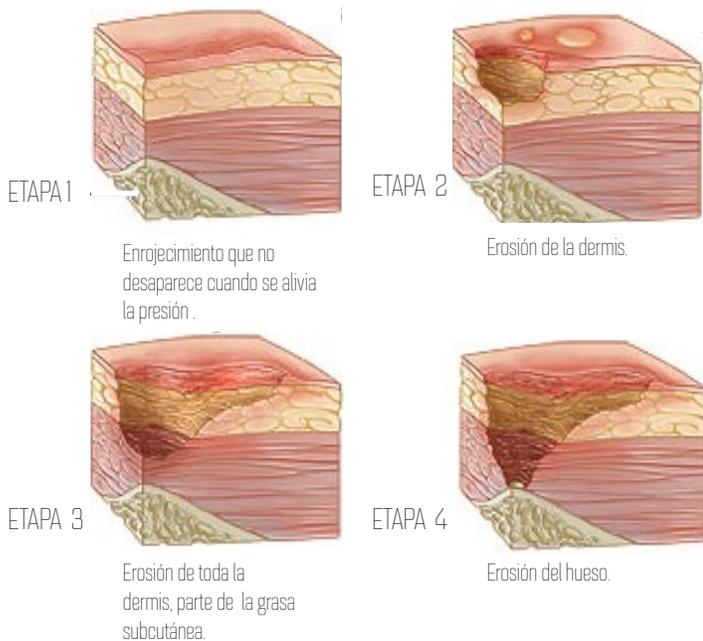
El padecer paraplejía implica distintas complicaciones sensitivas, tales como la alteración o pérdida (por debajo del nivel de lesión) de la sensibilidad termoalgésica, del dolor, del tacto, y de la propiocepción. Por otro lado, también se se presentan otro tipo de complicaciones autónomas, como son las alteraciones cardiovasculares.

Con la meta de aprender a cuidar de sí mismo tanto como sea posible, el paciente con LM suele tratar algunas de estas complicaciones a través de la rehabilitación, donde le enseñan a desplazarse y a realizar actividades básicas de su vida diaria, como vestirse o bañarse.

Una de las complicaciones más relevantes en un paciente con paraplejía son las úlceras de presión. "De la población total atendida en el CNR el 95% ha presentado úlceras por presión lo cual ha retrasado de forma importante su proceso de rehabilitación, en algunos casos la estancia en hospitalización se ha prolongado por más 100 días."

- Ing. Diana Alicia Gayol Mérida - 2004.





ÚLCERAS POR PRESIÓN

Son lesiones que se desarrollan en partes de la piel sometidas a presión a causa de permanecer en cama, en silla de ruedas, o estar inmovilizado por un periodo largo de tiempo.

Las personas que sufren una LM tienen un alto riesgo a sufrir esta complicación por las alteraciones en la sensibilidad y movilidad que presentan.

De igual manera la integridad de la piel se ve expuesta a diversos factores que pueden dañarla. Una LM puede hacerla más frágil; principalmente por alteraciones vasculares y nerviosas.

Etapas de deterioro de la piel por presión.

PROBLEMAS SOCIALES

Un paciente con LM, tiene un alto riesgo de ser excluido socialmente debido a los valores y estándares de belleza que se manejan en la sociedad actual. Su necesidad básica de ser respetado y valorado dentro de ésta, se puede ver amenazada a causa de su condición física; esto genera un sentimiento de exclusión e incomodidad en el paciente.

En la mayoría de los casos, este tipo de pacientes padece de segregación social que se manifiesta en la negación de servicios, empleos e infraestructura adecuada para su condición, provocando que se aislen dentro de casa y presenten complicaciones relacionadas al sedentarismo.

Es por lo anterior que consideramos que la propuesta de diseño deberá ser un objeto que le permita al usuario recuperar su capacidad de autosuficiencia y que además presente rasgos estéticos que ayuden al mismo a integrarse al contexto físico y social.



EXOESQUELETO

Exoesqueleto - sustantivo. m. - Una dura capa externa que cubre, soporta, y protege el cuerpo de un animal invertebrado, como un insecto o un crustáceo.

Definición por el Diccionario del Aprendiz Avanzado de Cambridge 2015

¿QUÉ ES?

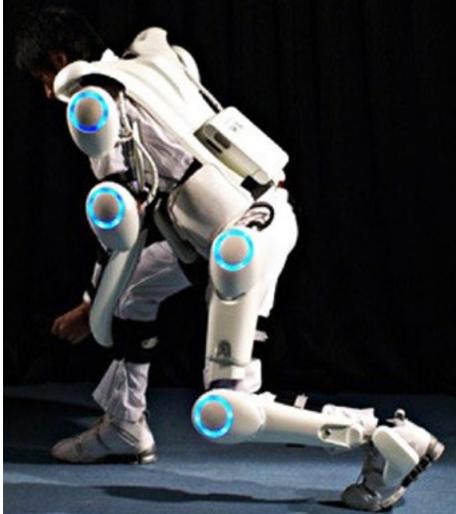
Existen distintas soluciones al problema de la Paraplejía, entre las que figuran los exoesqueletos, debido a las características del proyecto, nos concentraremos únicamente en ellos , en su función y características.

Un exoesqueleto es un armazón ergonómico que le permite al usuario ejecutar actividades y movimientos que de otra manera le serían imposibles o significarían la realización de un gran esfuerzo. A partir de un acoplamiento a las extremidades del cuerpo, el exoesqueleto potencializa la fuerza de las mismas y les ayudará a generar el movimiento; Cuando el usuario carece de cualquier capacidad motora, el exoesqueleto será el encargado de proporcionar la totalidad de fuerza, esfuerzo y velocidad.

Al ser su función principal la de mejorar el desempeño motriz del usuario, están ligados al surgimiento e implementación de nuevas tecnologías. Por otro lado los materiales con los que son producidos , responden al uso al que serán destinados y al confort y requerimientos del usuario.

Arriba: concepto de 'Perseus'
del artista Francis Goeltner
Abajo: Ekso de Ekso Bionics.





USOS

Existen diferentes usos que se le dan a los exoesqueletos, los dos más representativos son el campo militar y el campo médico.

En el militar, son empleados para ayudar a los soldados a transportar cargas pesadas en largas distancias en menos tiempo y reducir el esfuerzo físico que dicha actividad representa. Un ejemplo es el HULC de Lockheed Martin. En el campo médico se emplean para mejorar la calidad de vida de pacientes con alguna discapacidad física. Un ejemplo es el caso de Cyberdyne Inc., empresa dedicada al desarrollo de exoesqueletos, que son utilizados en la rehabilitación de pacientes. Un ejemplo de estos son el modelo HAL 3 y el HAL 5, éste último ha sido empleado también en el campo de la construcción y en operaciones de respuesta a desastres.

Arriba: HULC de Lockheed Martin
Abajo: HAL de Cyberdyne Inc.

COMPONENTES

Estructura: 

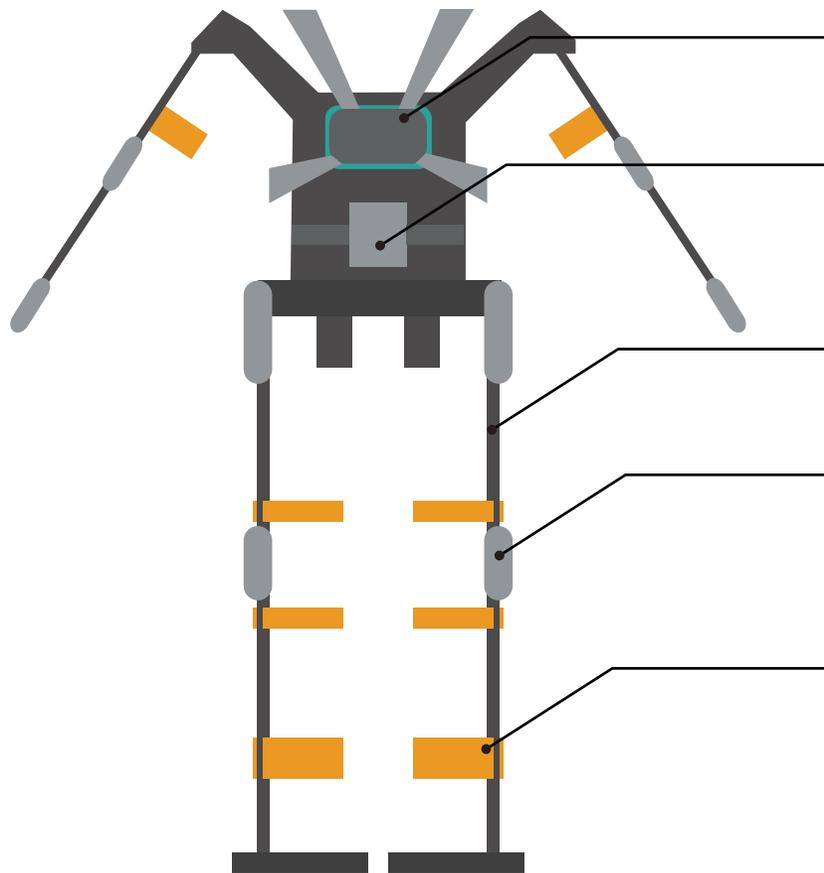
Usualmente hecha de materiales ligeros, debe imitar las secciones y movimientos del cuerpo y ser lo suficientemente fuerte para sostener el peso del mismo y de los otros componentes del exoesqueleto.

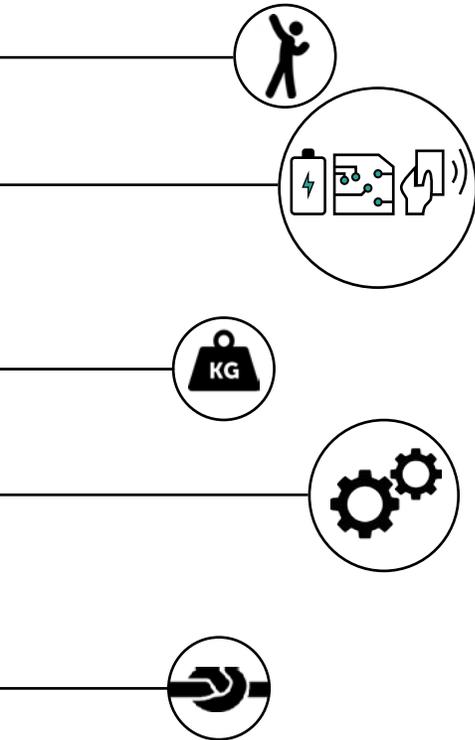
Sujeciones: 

Mantienen el exoesqueleto unido al usuario, por lo que deben colocarse en puntos específicos para evitar que éste resbale. De igual manera deben distribuir las cargas eficientemente para que sea lo más cómodo posible al usarse. Suelen ser de materiales textiles, aunque también pueden fabricarse con espumas o de plásticos flexibles para tener más rigidez.

Fuente de alimentación (baterías): 

Es la fuente de poder para los elementos electrónicos. Se busca que sean ligeras y pequeñas para reducir el peso y volumen del exoesqueleto.





Sensores: 

Capturan la información sobre cómo el usuario desea moverse. Los sensores pueden ser manuales, como una palanca, o pueden ser eléctricos y detectar los impulsos fisiológicos generados por el cuerpo. La información capturada por los sensores es enviada a la computadora para ser analizada.

Controlador: 

Actúa como el cerebro del dispositivo, el controlador es una computadora a bordo del exoesqueleto, la cual toma la información capturada por los sensores y coordina a los distintos actuadores.

Actuadores: 

Tomando energía de las baterías y la información de los controladores ejercen la fuerza necesaria para generar cada movimiento, funcionando como los músculos del exoesqueleto.

Control de balance y paso: 

Ya que no llegan a imitar los movimientos de marcha de un humano, los exoesqueletos actuales requieren que el usuario tenga suficiente fuerza en la parte superior del cuerpo y/o sean controlados con el uso de muletas para que tanto el exoesqueleto como el usuario no caigan al suelo. Caminar ha sido descrito como el "caer hacia delante de manera controlada". En cada paso, se lanza el cuerpo hacia delante y se desplaza el pie contrario, reciba al cuerpo y evite que caiga al suelo.

EN LA CIENCIA FICCIÓN

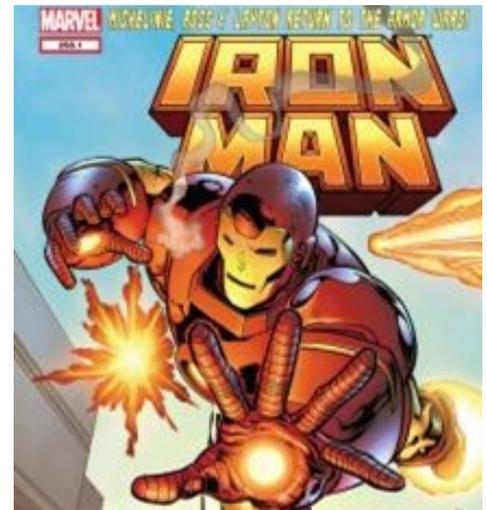
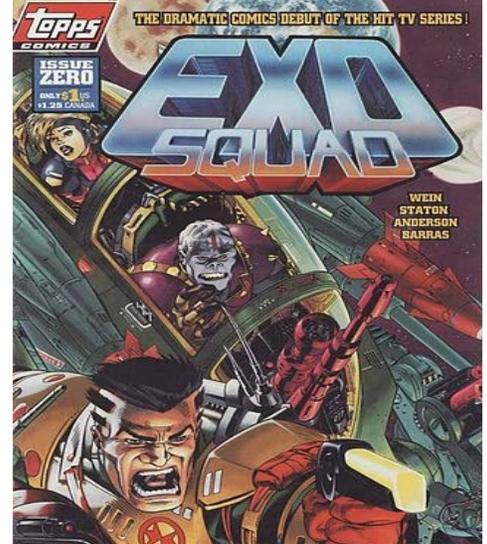
"La fantasía es lo imposible hecho probable. La ciencia ficción es lo improbable hecho posible".

- Isaac Asimov -

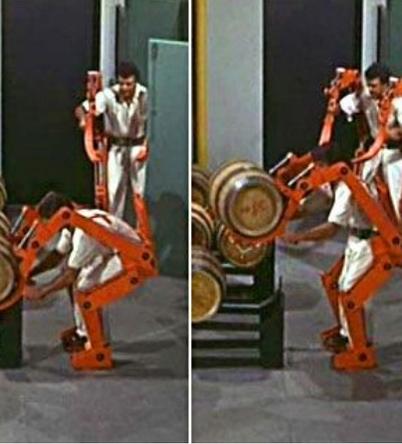
La ciencia ficción a través de historietas, películas, literatura, o imaginaria popular nos permite imaginar lo imposible, cuestionando los límites de la ciencia y creando una realidad de lo que "podría ser".

A lo largo de la historia han hecho aparición una gran cantidad de exoesqueletos que han echo famosos por si mismos o por su franquicia, siendo numerosas las propuestas gráficas que pueden dar fundamento al proyecto permitiendo generar una aceptación en el público retomando elementos de estas.

Para ejemplificar que incluso en la ciencia ficción, los principales factores que se consideran en las propuestas de los exoesqueletos son qué propósito tendrá y el factor humano, a continuación se enlistan algunos de los exoesqueletos más conocidos en el cine.



Arriba: Exosquad serie por Will Meugniot
Abajo: Iron Man, Marvel comics.



01 Emboscada a Matt Helm
"The Ambushers" 1987

02 Aliens (El Regreso)
"Aliens" 1986

03 Elysium 2013

04 Iron Man 2008

CYBATHLON

El objetivo principal del *Cyathlon* es proveer una plataforma para el desarrollo de tecnologías de asistencia novedosas que sean útiles para la vida diaria. A través de la organización del *Cyathlon* queremos ayudar a remover barreras entre el público, las personas con discapacidades y la ciencia.

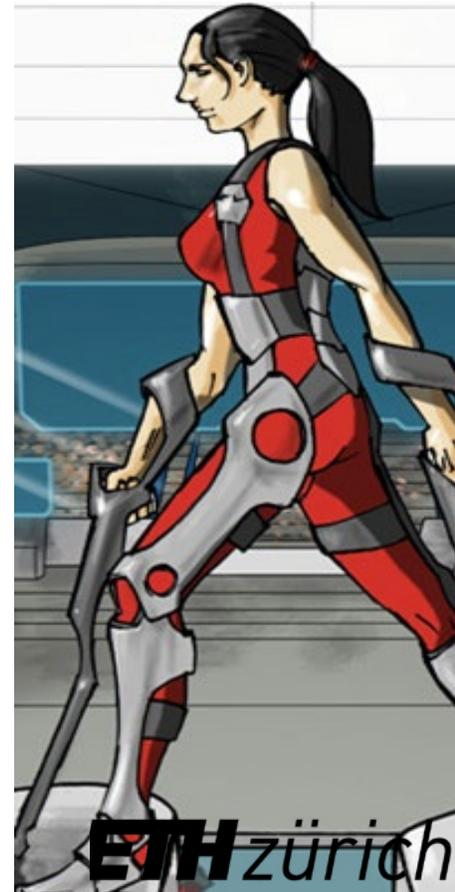
- *Cyathlon* 2015 -

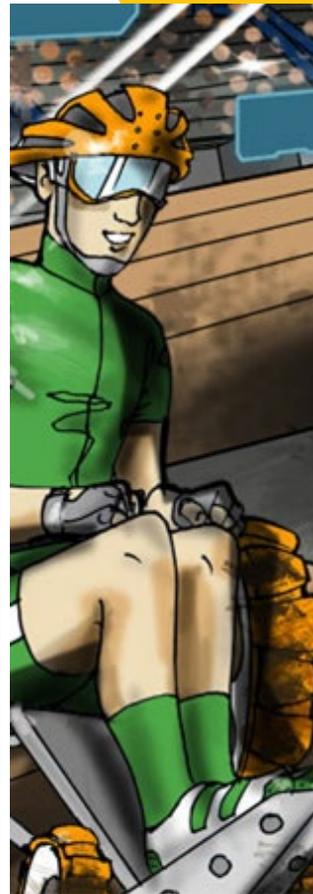
¿QUÉ ES?

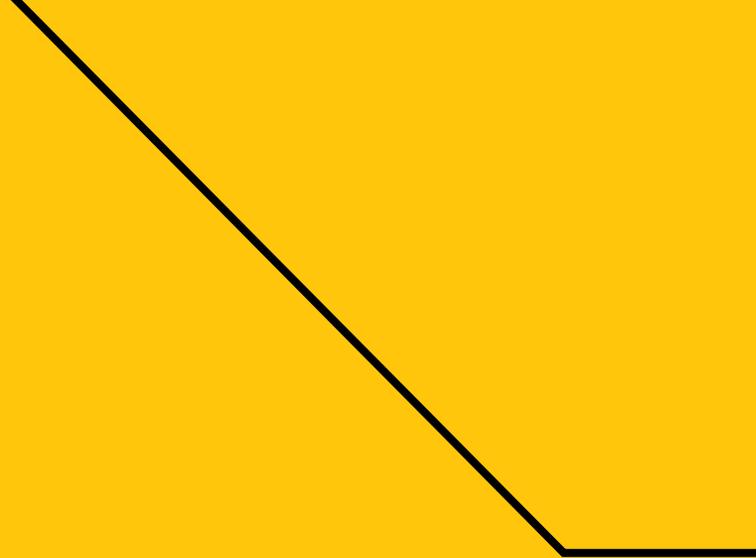
Dentro de las organizaciones que promueven el desarrollo de tecnologías como son los exoesqueletos se retoma especialmente el Cybathlon que es una competencia que genera prototipos para pilotos con discapacidades (paratletas) que usan dispositivos avanzados de asistencia que incluyan tecnologías robóticas.

- ▶ Los pilotos pueden competir en carreras de las siguientes disciplinas:
- ▶ Powered Exoskeleton Race (Exoesqueleto Mecánico)
- ▶ Brain-Computer Interface Race (Interfaz Cerebro-Computadora)
- ▶ Functional Electrical Stimulation Bike Race (Bicicleta por estimulación eléctrica)
- ▶ Powered Arm Prosthetics Race (Prótesis Mecánica de Brazo)
- ▶ Powered Leg Prosthetics Race (Prótesis Mecánica de Pierna)
- ▶ Powered Wheelchair Race (Silla de Ruedas Mecánica)

Los dispositivos de asistencia pueden incluir productos comerciales provistos por compañías, pero igualmente prototipos desarrollados por laboratorios de investigación. Se otorgarán dos medallas por cada competencia, una para el piloto, que maneja el dispositivo, y otra para el proveedor del dispositivo. El evento está organizado por ETH Zürich (Swiss Federal Institute of Technology).







ORDEN DE TRABAJO

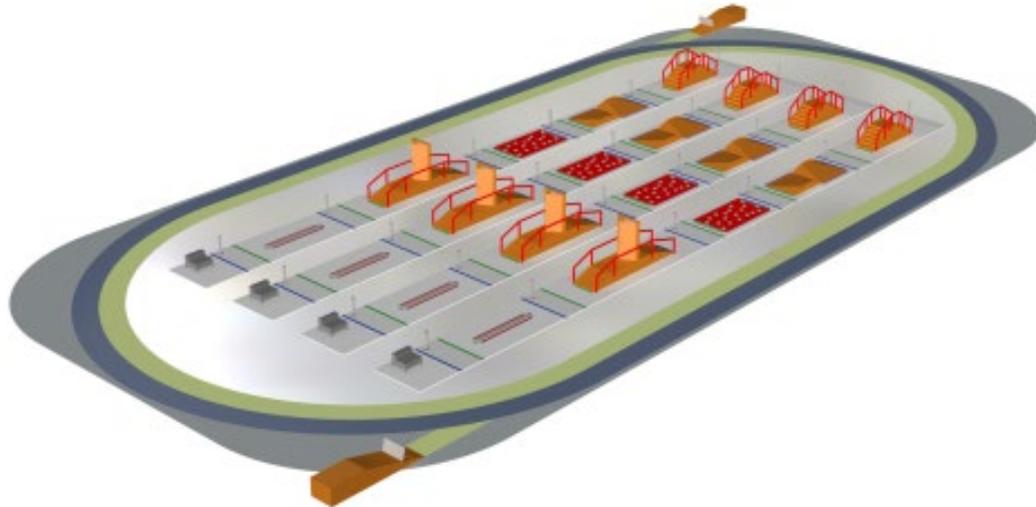
CAPÍTULO 02

ODT ETAPA 1

Diseño y manufactura de un exoesqueleto mecanizado para ser manejado por un piloto con lesión medular grado A o B (según la clasificación ASIA) para la Powered Exoskeleton Race del *CYBATHLON* en el 2016, donde recorrerá un circuito comprendido por diferentes pruebas.

ODT / Powered Exoskeleton Race

La propuesta de la Etapa 1 de esta tesis debe resolver la necesidad de que un piloto, con lesiones torácicas completas o lesiones medulares lumbares, equipado con un exoesqueleto realice la mayor cantidad de tareas en un lapso de tiempo. Las tareas se componen por obstáculos comunes en la vida diaria.



CRITERIOS PARA EL PILOTO

Los pilotos participantes necesitarán cumplir completamente los siguientes criterios de inclusión:

Pilotos con lesión medular serán aceptados, que tengan una lesión torácica o lumbar que conduzca a parálisis en los miembros inferiores.

ASIA A o B, con pérdida completa de la función motora. Los pilotos tendrán que dar testimonio sobre la totalidad de su lesión. Una prueba con simulador será aplicada para confirmar la totalidad de la misma.

La lesión puede ser espástica o no espástica.

Los pilotos tendrán que tener suficiente control de sus miembros superiores como para ser capaces de mantener el tronco y la cabeza vertical, y usar los brazos para sujetar muletas.

Los pilotos deberán de tener por lo menos 18 años.

CRITERIOS PARA TECNOLOGÍA

El dispositivo debe usarse y controlarse por el piloto (por cualquier tipo de dispositivo o estrategia de detección de intenciones).

La actuación será libre; dispositivos pasivos también serán permitidos (ej. aquellos que trabajen con resortes pasivos o cables, que puedan usarse para que trabaje el sistema y almacenar energía cinética).

El peso máximo del exoesqueleto (excluyendo al piloto) está limitado a 75 kg.

Estimulación eléctrica funcional puede usarse para crear un exoesqueleto híbrido. Tecnologías de estimulación superficial e implantadas están permitidas.

No estará permitido cambiar o dar mantenimiento al dispositivo o partes de este durante y entre las pruebas.

Las muletas o bastones están permitidos.

La fuente de alimentación y el controlador deben usarse por el piloto o integrarse al exoesqueleto. Cualquier conexión inalámbrica a los miembros del equipo estará prohibida.

REGLAS ESPECÍFICAS

El uso de un casco es obligatorio.

Si alguno de los pasamanos es tocado, la tarea será invalidada. Los pasamanos sólo están por razones de seguridad.

Tocar el suelo fuera de las líneas marcadas con alguna parte del cuerpo o del dispositivo, (con excepción de las muletas) no está permitido.

No está permitido columpiarse en las muletas. Al menos una de las piernas debe permanecer en el suelo en todo momento cuando las muletas o bastones esté en uso.



Las tareas a realizar por el piloto se enlistan a continuación en el orden que serán realizadas:

Asiento

El piloto se debe sentar y parar una vez, con todo el peso del cuerpo en un asiento con dimensiones de 900 mm x 450 mm x 600 mm. El uso de las manos y brazos está permitido.

Viga

El piloto debe cruzar una viga de extremo a extremo con dimensiones de 300 mm x 3500 mm y no está permitido tocar el suelo fuera de la viga, con excepción de las muletas.

Rampa y puerta

El piloto debe subir por una rampa de 1350 mm con 20° de inclinación, posteriormente abrir, atravesar y cerrar una puerta, y bajar por una rampa de 880 mm con 15°.

Piedras

El piloto debe completar un recorrido con pilotes de Ø250 mm con 450 mm de separación entre ellos y 300 mm de desfase lateral teniendo que pisar con al menos un pie cada una

Camino inclinado

El piloto debe atravesar un camino inclinado formado por dos secciones de 2000 mm x 2500 mm con inclinaciones de 18°.

Escaleras

El piloto debe subir y bajar unas escaleras de 1250 mm de ancho y 4050 mm de distancia total, de 12 escalones con 280 mm de huella y 170 mm de peralte. Los pilotos tienen permitido tener ambos pies en un escalón y no se les permite omitirlos o saltarlos. Por lo tanto, cada escalón debe ser tocado con un pie.

OBJETIVO ETAPA 2

Usar la investigación y los conocimientos adquiridos en la Etapa 1, que consiste en el desarrollo del proyecto con avances hasta Octubre 2015, para plantear una propuesta de mejora al prototipo diseñado por el equipo de trabajo del proyecto PAPIIT IT102014. En donde se deberán retomar y mejorar los aspectos de producción, función, ergonomía, y estética que se trabajaron durante la primera etapa.

FUNCIÓN

ERGONOMÍA

PRODUCCIÓN

ESTÉTICA

JERARQUÍA DE FACTORES

Para este proyecto se da principal prioridad a la funcionalidad del prototipo, sin embargo, ya que el factor ergonómico del exoesqueleto es indispensable para que este funcione, la ergonomía y la función van a la par en importancia.

En cuanto a la producción, para la primera etapa, el traje debía ser personalizado para cada paciente. Ya que no sería ajustable, se consideran materiales y procesos de baja producción, tomando en cuenta sólo la accesibilidad y/o facilidad de usar el proceso. Para la segunda etapa se planea que el traje, como dispositivo médico, sea producible de una forma más estandarizada y universal. De esta forma, la producción queda en segundo lugar de relevancia.

Finalmente, la estética debe tomarse en cuenta en el prototipo, ya que parte del objetivo es sobresalir de los demás, no solo por su funcionalidad, sino también por su apariencia.

ALCANCES

- ▶ El diseño de un exoesqueleto mecanizado para ser manejado por un paciente con lesión medular grado A o B.
- ▶ El desarrollo del prototipo que será probado en la competencia *Cyathlon* en el 2016.
- ▶ Una propuesta conceptual desarrollada posteriormente con base en dicho prototipo.
- ▶ Los documentos y planos que justifiquen el diseño.
- ▶ Un modelo a escala 1:5 demostrando el concepto.
- ▶ Al ser únicamente conceptual, el desarrollo de un prototipo no es posible dado que aún son necesarias pruebas mecánicas para asegurar la eficiencia del sistema.





ETAPA 1 PROTOTIPO CYBATHLON 2016

CAPÍTULO 03

Castañeda,
ltad de
cabeza



ANTECEDENTES

ACADEMIA

Uno de los primeros modelos del país

Exoesqueleto ayuda a caminar a lesionados

Serafín Castañeda,
de la Facultad de
Ingeniería, encabeza
el proyecto

- Gaceta UNAM - 2014-07-12

El desarrollo.
Foto: Fernando
Velázquez.



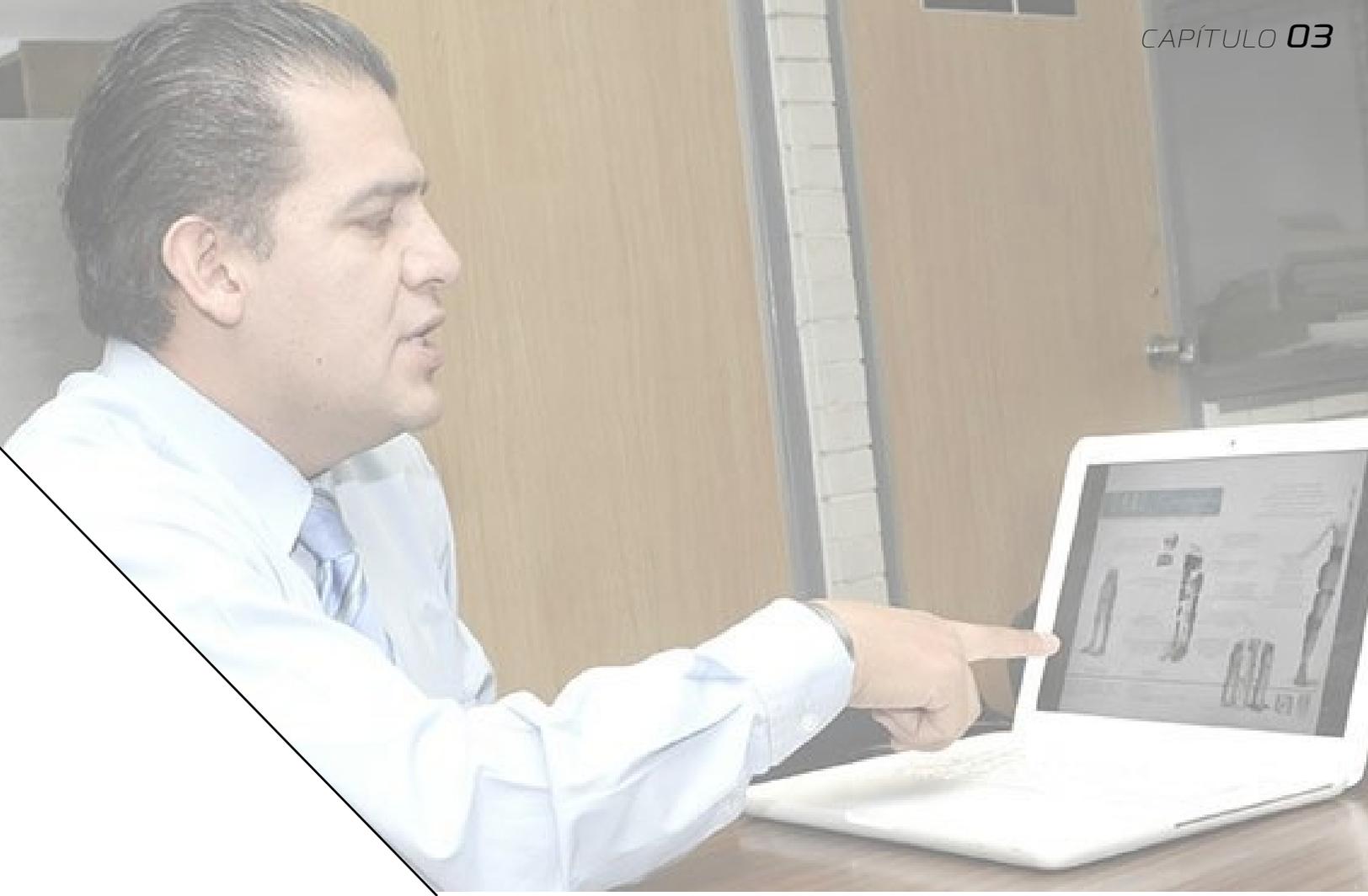
PRIMER PROTOTIPO

"Diseña UNAM exoesqueleto; ayudará a caminar a personas con lesión medular"
-Crónica- 2014-07-12

Se inicia un desarrollo en la Facultad de Ingeniería liderado por Serafin Castañeda Cedeño, responsable del Laboratorio de Proyectos en Mecatrónica, donde también participan estudiantes de maestría y licenciatura, con recursos del PAPIIT IT102014, apoyados por especialistas del INR, entre ellos la M. en C. Ivett Quiñones, responsable del Laboratorio de Análisis de Movimiento; con el fin de manufacturar uno de los primeros prototipos de exoesqueletos en el país, con miras a producirse como una solución no invasiva para pacientes con lesión medular ya que ésta les permitirá mantenerse erguidos y realizar marchas/desplazamientos en dicha posición.



EQUIPO DE TRABAJO CYBATHLON 2016



EQUIPO DE TRABAJO CYBATHLON

Aquí se presenta el equipo con el que se desarrolló la Etapa 1, que se tomó como base para el desarrollo proyectos de tesis de diferentes grados de estudio.

- ▶ M. en I. Serafin Castañeda Cedeño: Líder del proyecto
Tesis de Doctorado (Estabilidad en la marcha de exoesqueletos de miembro inferior).
- ▶ Ing. Juan Carlos Hernández Ramírez: (Coordinador de instrumentación)
- ▶ Ing. Rubi Pinto Palmero: Tesis de Maestría (Diseño mecánico y selección de materiales)
- ▶ Ing. Cristhian Gómez González: Tesis de Maestría (Articulación de rodilla)
- ▶ Bruno V. Chávez Lozano: Tesis de Licenciatura (Estética, Materiales y ergonomía)
- ▶ Gonzalo Hernández Ramírez: Tesis de Licenciatura (Estética, Materiales y ergonomía)
- ▶ Jorge Marroquín Rivera: Tesis de Licenciatura (Diseño mecánico del tobillo)
- ▶ Andrés Rodríguez López: Tesis de Licenciatura (Diseño mecánico rodilla-cadera)
- ▶ Martín Luna Jurado: Tesis de Licenciatura (Diseño mecánico rodilla-cadera)
- ▶ Aída Fuentes Manzanero: Tesis de Licenciatura (Diseño mecánico rodilla-cadera)
- ▶ Nelly Romero Jaimes: Servicio Social (Bastones para la operación del exo)



USUARIO

Jaime Solís Macías Valadez

El piloto para la competencia debe cumplir con los requisitos de la misma por lo que se busco un paciente que cumpliera con dichas características.

Jaime sufrió un choque automovilístico ocasionandole una lesión medular y haciéndole perder la habilidad de caminar. Por medio de rehabilitación y actividades físicas regulares, Jaime ha sido capaz de aumentar su calidad de vida y bienestar.

A pesar de tener una lesión de alto nivel, Jaime fue seleccionado para pilotar el prototipo para el *Cyathlon* 2016 por su alto nivel de confianza en sí mismo y por tener la fuerza para salir adelante.

VALORACIÓN DE DISCAPACIDAD

La siguiente valoración sirve para comprender las capacidades y dificultades físicas del usuario a partir de la facilidad con la que desempeña tareas de la vida diaria. Esto permite tomar decisiones respecto a los diferentes sistemas del traje con base en su nivel de independencia.

Índice de autocuidado	Independencia	Con ayuda	Dependencia persona	Dependencia objeto
Beber de un vaso	x			
Comer	x			
Vestirse de cintura para arriba	x			
Vestirse de cintura para abajo		x		
Aseo personal		x		
Lavarse o bañarse		x		
Control orina				x
Control heces				x
Índice de movilidad				x
Sentarse y levantarse de la silla			x	
Sentarse y levantarse del retrete	x			
Andar 50 metros sin desnivel				x
Subir y bajar un tramo de escaleras			x	x
Entrar y salir de la ducha		x		
Si no anda: mueve la silla de ruedas	x			

TABLAS ANTROPOMÉTRICAS

Con ayuda de los maestros Julián Covarrubias, Gloria Mendoza e Iroel Heredia se tomaron medidas antropométricas para diseñar el traje al cuerpo de Jaime.

Nombre:	Jaime Solís Macías Valadez		
Edad:	30	Fecha de nacimiento:	02/04/1985
Peso:	68 Kg	Altura:	1.84 m
Ocupación:	Trabajo en oficina		
Tipo de lesión:	A Completa		
Causa de lesión:	Accidente automovilístico		
Tiempo con lesión:	6 años - Abril del 2009		
Actividades que desarrolla:	Nadar – 1 hora Tenis – 1 hora Gimnasio – 2 horas Rodar – 10 Km		

Nombre:	Jaime Solís Macías Valadez		
Sexo:	H	F.Nac:	2/04/85
Edad:	30	Peso:	68 Kg
Alturas Erguido			
Cabeza	1840		
Hombros	1600		
Cadera (Centro de rotación)	977		
Puño (Con tubo de 3.3mm)	Izq. 954	Der.	912
Dactilión (dedo medio)	Izq. 805	Der.	791
Cresta	Izq. 1086	Der.	1085
Rodilla (Interno)	Izq. 574	Der.	573
Rodilla (Externo)	Izq. 564	Der.	562
Tobillo (Interno)	Izq. 139	Der.	139
Tobillo (Externo)	Izq. 123	Der.	123.5
Longitudes Erguido			
Hombro-Codo	Izq. 369	Der.	364
Codo-Muñeca	Izq. 295	Der.	297
Muñeca-Nudillo Medio	Izq. 95	Der.	94
Pezón - Cadera	449		
Escápula - Cadera	520		
Cadera - Rodilla	520		

Observaciones:

Todas las alturas se toman con referencia al suelo.

Todas las medidas se encuentran en milímetros.

Las alturas se tomaron con calzado mientras que las medidas del pie se tomaron descalzo.

Nombre: Jaime Solís Macías Valadez			
Sexo: H	F.Nac: 2/04/85	Edad: 30	Peso: 68 Kg
Rodilla-Tobillo	Izq. 446	Der. 448	
Talón-Enfranque (Interno)	Izq. 198	Der. 198	
Talón-Enfranque (Externo)	Izq. 190	Der. 183	
Talón-Punta de Pie	Izq. 255	Der. 256	
Anchuras Erguido			
Hombros	346		
A ultima costilla torácica	Ins. 308	Asp. 293	
Cresta	277		
Cadera	344		
Rodillas	Int. 59	Ext. 290	
Tobillo	Int. 119	Ext. 266	
<u>Enfranque</u>	Izq. 95	Der. 99	
Profundidades Erguido			
Esternón - Espalda	Ins. 220	Esp. 195	
Abdomen - Lumbar	Ins. 248	Esp. 230	
Cadera	230		
Muslo (eje X)	Izq.	Der.	
Muslo (eje Z)	Izq.	Der.	

Observaciones:

Todas las medidas se encuentran en milímetros.

Las medidas del pie se tomaron descalzo.

Las medidas se tomaron con la separación de pies recomendada de 15cm desde la mitad del pie.

Nombre: Jaime Solís Macías Valadez			
Sexo: H	F.Nac: 2/04/85	Edad: 30	Peso: 68 Kg
Pantorrilla (eje X)	Izq.	Der.	
Pantorrilla (eje Z)	Izq.	Der.	
Tobillo	Izq. 88	Der. 90	
Perímetros Erguido			
Escapula	Ins. 98	Esp. 96.7	
Abdomen (Max. dilatación)	100.5		
Cadera	89		
Antebrazo (Max.)	Izq. 25	Der. 25.5	
Antebrazo (Min.)	Izq. 18	Der. 21	
Muñeca	Izq. 17	Der. 17	
Muslo (Max.)	Izq. 40.1	Der. 40	
Muslo (Min.)	Izq. 29.8	Der. 30	
Rodilla	Izq. 34.5	Der. 35	
Pantorrilla (Max.)	Izq. 27	Der. 25	
Pantorrilla (Min.)	Izq. 21.1	Der. 21	

Observaciones:

Los perímetros se encuentran en centímetros. El resto de las medidas se encuentran en milímetros.

Las medidas se tomaron con la separación de pies recomendada de 15cm desde la mitad del pie.

Nombre: Jaime Solís Macías Valadez			
Sexo: H	F.Nac: 2/04/85	Edad: 30	Peso: 68 Kg
Alturas Sentado			
Cabeza	1387		
Hombros	1079		
Escapula	905		
Codo	Izq. 729	Der. 696	
Longitudes Sentado			
Nalga – Poplíteo	Izq. 510	Der. 506	
Nalga - Rotula	Izq. 644	Der. 640	
Rotula - Tobillo	Izq. 470	Der. 472	
Anchuras Sentado			
Rodilla	Int. 12	Ext. 30	
Pies	Int. 12	Ext. 31	
Profundidades Sentado			
Esternón - Espalda	Ins. 223	Esp. 198	
Abdomen - Lumbar	Ins. 264	Esp. 235	
Cadera	241		
Muslo (eje X)	Izq.	Der.	
Muslo (eje Z)	Izq.	Der.	

Observaciones:

Todas las alturas se toman con referencia al suelo, sentado en su silla de ruedas.
Todas las medidas se encuentran en milímetros.

Nombre: Jaime Solís Macías Valadez			
Sexo: H	F.Nac: 2/04/85	Edad: 30	Peso: 68 Kg
Esternón - Espalda	Ins.	Esp.	
Perímetros Sentado			
Muslo (Max.)	Izq. 45.1	Der. 45	
Muslo (Min.)	Izq. 34.8	Der. 35	
Rodilla	Izq. 39.5	Der. 40	
Pantorrilla (Max.)	Izq. 32	Der. 30 32 bajo rodilla	
Pantorrilla (Min.)	Izq. 21.1	Der. 21	

Observaciones:

Los perímetros se encuentran en centímetros.

DISEÑO CONCEPTUAL

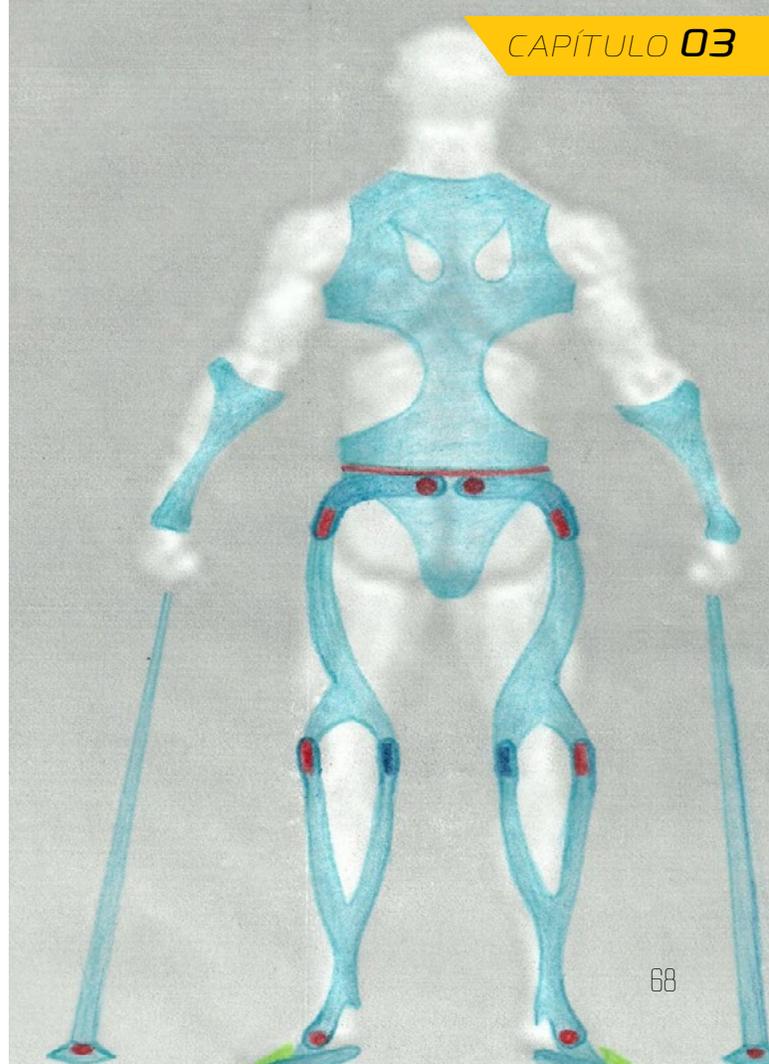
El proceso de diseño del traje se inició con una distribución de elementos mecánicos, estructurales y de sujeción; para posteriormente realizar propuestas de diseño que se adaptarán a la anatomía y requisitos del proyecto basados en el análisis de análogos.



DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS

Una vez analizados los exoesqueletos en el mercado se hace una primera propuesta, considerando la ubicación de los ejes de rotación, ya sean actuadores (en rojo) o articulaciones (en azul); y una idea general de cómo luciría el traje, dividiéndolo en zonas azules, de material rígido estructural, y secciones verdes para materiales de sujeción.

En todo momento se busca que el traje por sí solo tenga una estética atractiva, ya que en muchas otras propuestas y exoesqueletos existentes se recurre al uso de carcasas con fines estéticos.

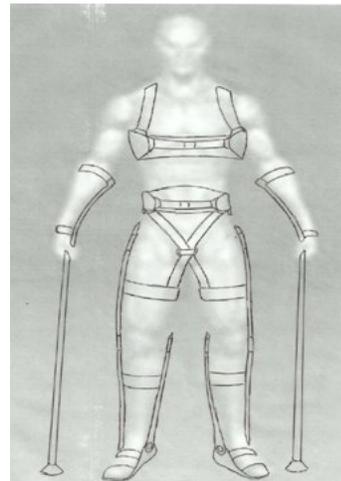
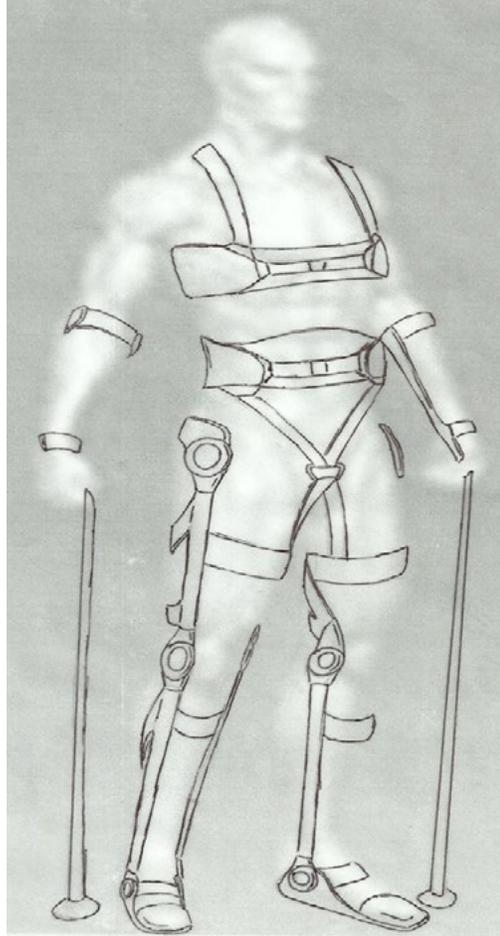


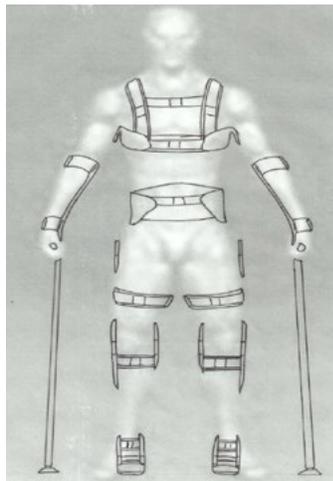
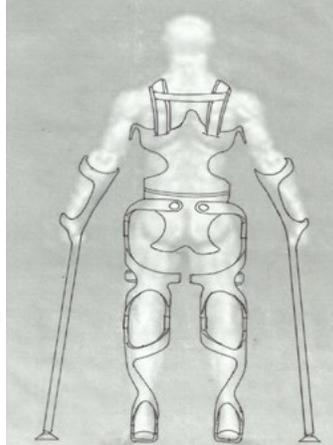
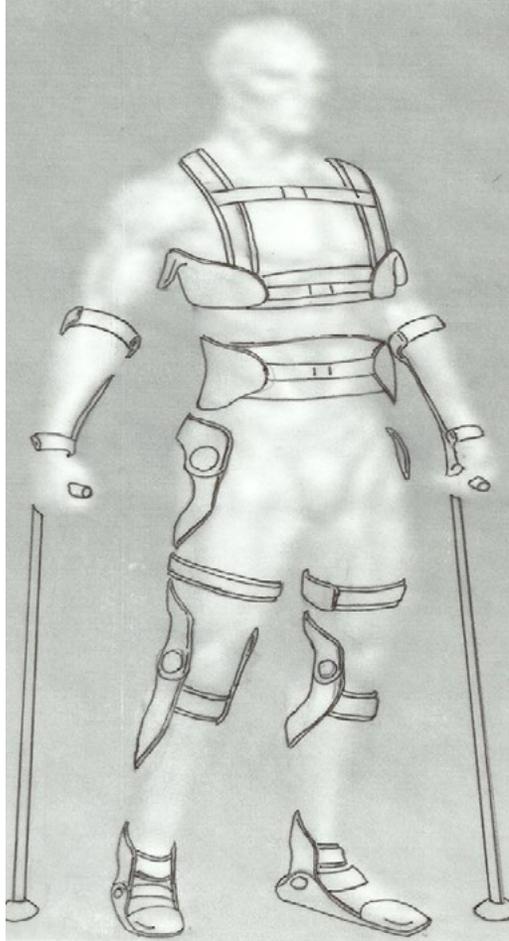
CONCEPTO 1

Desarrollo

Se trabaja con base en el concepto de distribución de elementos, respetando los ejes de giro y aquellos elementos que son importantes, proponiendo nuevas opciones de sujeción para los elementos del traje.

En esta propuesta se trabaja un concepto de presentación agregando mayor detalle a los elementos, tales como espesor y diferenciación de materiales a las piezas.





CONCEPTO 2

Configuración-estructura

Para la segunda propuesta se rediseña principalmente la sección de las piernas. Sin realizar análisis funcionales, se presenta una propuesta con una posible configuración general que limpia la sección lateral de las piernas, así como el reemplazo del arnés por un soporte inferior rígido. De igual manera se rediseña los soportes de la espalda y las correas que sujetan el torso.

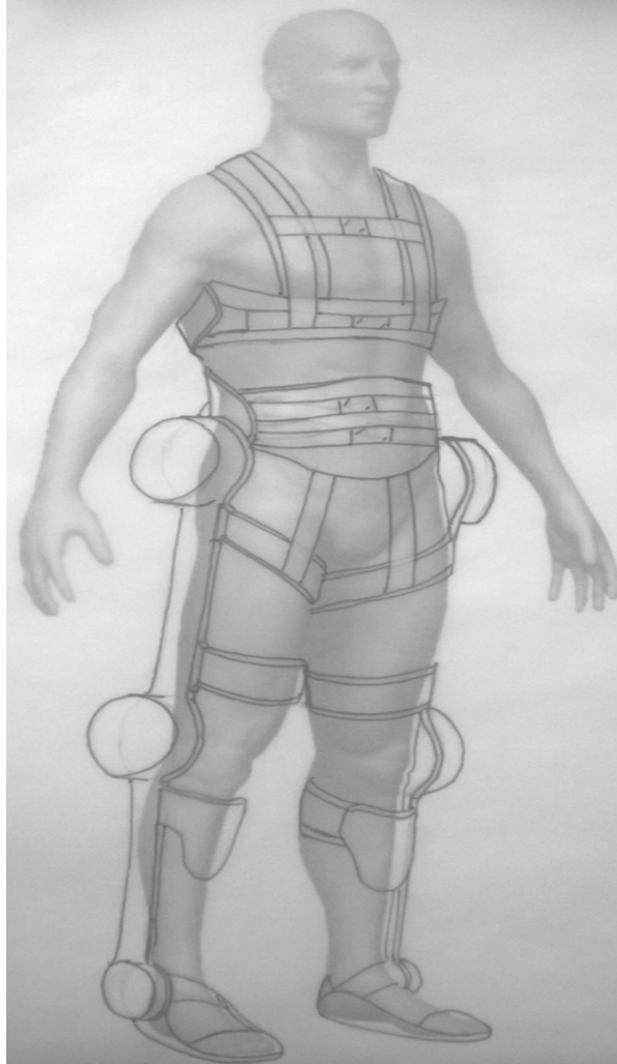
Este concepto se usa como base para comenzar el CAD y realizar análisis de elemento finito.

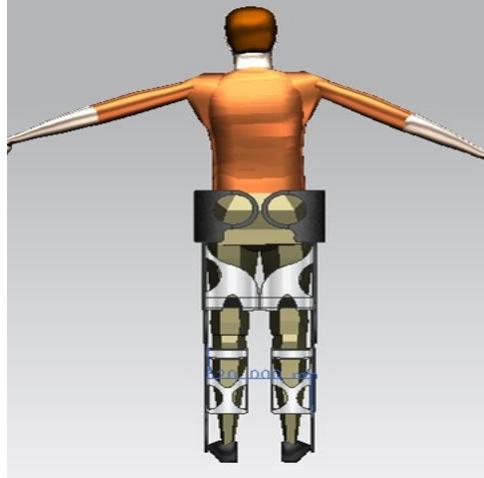
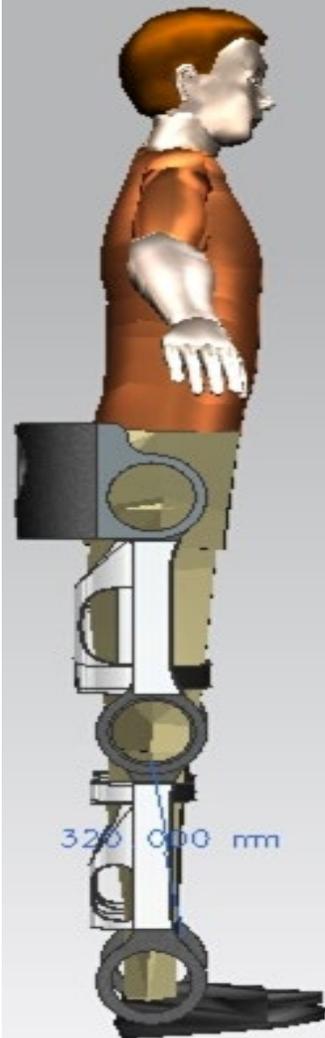
CONCEPTO 3

Rediseño estructural

Se plantea otro concepto con base en la información al momento, que es principalmente la distribución de los elementos de las piernas, donde se agrega la estructura y se le da volumen a los sistemas gracias a que en este punto se cuenta con las dimensiones reales de los sistemas mecánicos.

Se retoma la idea de un arnés para las piernas y se simplifica la pieza de la espalda, ya que algunos elementos de ésta no son necesarios y repercuten directamente en el bienestar del piloto.

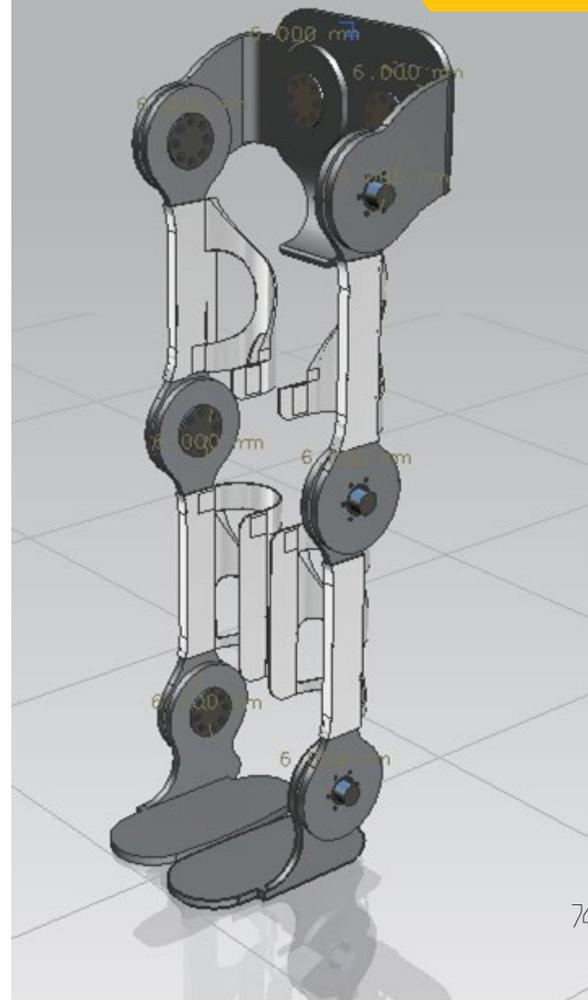
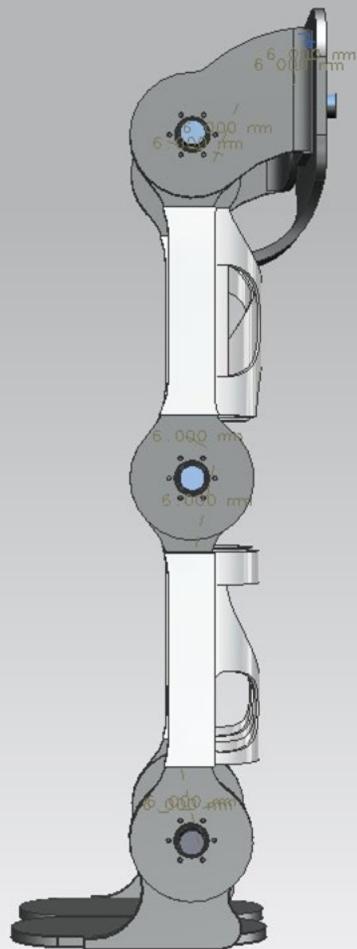




CAD PIERNAS

Una vez realizados los análisis mecánicos por el sistema encargado y consideradas las medidas de los componentes que se usan para el prototipo se concluye que es necesaria una estructura lateral de aluminio que soporte tanto el peso del cuerpo como los esfuerzos obtenidos al usar el traje, dejando el volumen posterior, planteado en fibra de carbono, sólo como soporte al mover las piernas. Se seleccionan estos materiales por sus características mecánicas y su peso.

En este punto únicamente se concluye el diseño de las piernas, ya que el tobillo, la cadera y la espalda aún se encuentran en desarrollo.



SIMULADORES

Simulador del exoesqueleto escala 1:1, pruebas de sujeción, sujetadores y elemento finito; para comprobar dimensiones, así como restricción de movimientos y áreas de sujeción necesarias, sometiéndolos a las acciones que se desarrollarán en las pruebas de la competencia.



SIMULADOR

Para detectar diferentes problemas motrices ya sean del usuario o del traje, se genera un simulador de la estructura de las piernas, así como del soporte del pie, articulando el prototipo de manera que se asemeje al modelo de trabajo en cuestión, con la posibilidad de ajustar el eje de giro tanto en la rodilla como en la cadera, para corroborar que las medidas propuestas en el traje sean las correctas.

Posteriormente se usa el simulador con un sujeto con medidas similares al usuario final y se le pide que camine sobre una superficie plana, tomando fotografías para poder analizar con el resto del equipo su marcha y tomar desiciones respecto a las ideas propuestas.

VERSIÓN 1

Esta versión incluye únicamente la estructura exterior de las piernas y el soporte del pie para observar el comportamiento del simulador con relación a los movimientos del sujeto y verificar la necesidad de tener soportes internos en las piernas.

Observaciones:

El prototipo se resbala hacia abajo aún contando con numerosas sujeciones.

El piloto necesita un elemento antiderrapante en ambas caras de la sección del pie para mejorar la fricción y en consecuencia la marcha.



CAMINATA POSTERIOR

En esta vista se denota como el modelo tiende a inclinarse hacia un lado contrario al de la marcha buscando equilibrio para dar el paso. Lo que a su vez se dificulta debido a la superficie plana en la suela del soporte del pie.

Observaciones:

El prototipo al tener una suela plana no crea la suficiente fricción en el piso para permitir una caminata estable.

Es necesario considerar la extensión de los metatarsos necesaria en la marcha.



La inclinación máxima que se produce en cada paso es de 15° con relación a la vertical. Esto ocasiona un oscilamiento en la marcha que se considera como factor de riesgo para el piloto ya que lo correcto, en comparación a una marcha sin el simulador, es una inclinación no mayor a 5° .

Dicho riesgo disminuye con el uso de muletas, bastones, o la implementación de una ligera curvatura moldeable en la suela del traje, la cual permitiría contrarrestar dicho movimiento.



SENTADO

Con el simulador se puede realizar la acción de sentarse, ya que éste no presenta obstáculos para el usuario al abatirse y sigue el movimiento del mismo. Siendo la sección que sobresale de la cadera lo que interfiere con el respaldo de la silla.

Observaciones:

La sujeción a la altura del muslo debe considerar que el usuario se sentará, por lo que es necesaria una superficie adecuada para evitar lesiones. Las sujeciones tengan la versatilidad de sujetar al piloto y de la misma manera permitir que tenga movilidad y no sufra lesiones al maniobrar el exoesqueleto



DESPENDIMIENTO - FRENTE

En esta vista se muestra como el usuario debe flexionar todo el tronco (movimiento imposible en el caso del piloto) para tener acceso de la rodilla hacia abajo.

Observaciones:

El tiempo promedio en que el sujeto puede desprenderse del simulador sin ayuda externa son entre 5 y 7 minutos.

Tanto para la sujeción como el desprendimiento del traje es necesario encontrarse sentado, lo cual se debe considerar en etapas posteriores.



DESPRENDIMIENTO - LATERAL

Esta vista ejemplifica la complejidad del desprendimiento: ya que el simulador no cuenta con los elementos para mantener el traje rígido, el desprendimiento se torna complicado y en ocasiones se puede requerir más de una persona para realizarlo.

Observaciones:

Las correas al momento de ser desprendidas se vuelven a juntar al mínimo contacto debido a que están echas de velcro, por lo que se requiere que la sujeción una vez suelta se mantenga así.

Ya que el piloto no registra la presión ejercida en sus miembros inferiores es necesario que la sujeción pueda calibrarse una sola vez para que no tenga que realizarse cada vez que se coloque el traje.



VERSIÓN 2

Se modifica el primer simulador adicionando un soporte extra en la parte interior tanto del muslo como de la pantorrilla, buscando aportar mayor estructura y soporte al piloto. Estos elementos están propuestos únicamente como soporte ya que en el eje únicamente se planea tener un rodamiento para facilitar el giro.

El soporte interior está unido a la estructura principal en el área del tobillo y por medio de las sujeciones al cuerpo.



CAMINATA LATERAL

El agregar el refuerzo interno mejora la restricción del ángulo de deformación con respecto al tobillo, sin embargo se mantiene la necesidad de impulsar el cuerpo lateralmente mientras se desplaza.

Observaciones:

Aún cuando el soporte interno está sujeto al cuerpo, no sigue sus movimientos y al moverse en diferente ritmo produce un factor de riesgo para el usuario.

Ambas piezas representan un aumento tanto de peso como en complejidad de armado y manufactura por lo que es necesario considerar la relevancia de su existencia.



VERSIÓN 3

Se decide modificar los soportes interiores, eliminando los de la sección del muslo. Esta decisión se toma basándose en el estudio de cargas donde se encuentra que los soportes en esta area son innecesarios para la estructura, sin embargo en la altura más cercana al tobillo supone un refuerzo para ayudar a distribuir el peso de todo el traje en un área más amplia.

Observaciones:

Es necesario que el soporte interno sobresalga lo mínimo en el área del tobillo ya que al caminar estas secciones comúnmente se rozan entre sí.



CAMINATA POSTERIOR

Como se comentó anteriormente la implementación del refuerzo en la sección de la pantorrilla disminuye el exceso de fuerza en el tobillo y mantiene un ángulo seguro entre el tobillo y el resto de la pierna.

Observaciones:

Al no tener una pieza que sujete los laterales, la estructura interna se deforma a la altura de las rodillas.

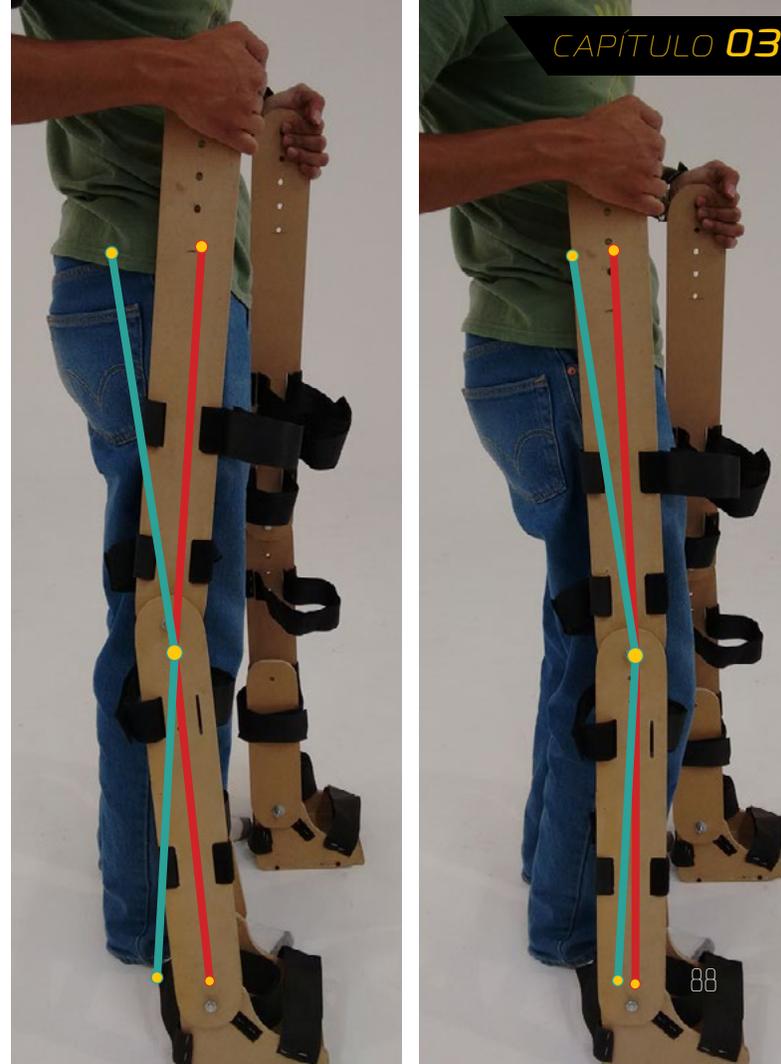


SIMULADOR 3 POSTURA

Cuando el usuario se encuentra en una postura totalmente erguida la estructura es forzada a realizar una hiperextensión para que los miembros inferiores se encuentren en una pose de descanso, de manera que si la estructura toma una posición recta el usuario se ve obligado a flexionar las rodillas ligeramente.

Observaciones:

Ya que el piloto no puede mantenerse de pie, se sugiere una sujeción rígida por debajo de la rodilla, lo que permite beneficiarse de la posición que se genera recargando su peso en ésta.



ACERCAMIENTO AL PILOTO

Surgen dudas en cuanto a las capacidades físicas del piloto, principalmente la capacidad motriz de sus manos. Puesto que son requeridas para el manejo de los controladores del traje y la sujeción del mismo se le pide a Jaime realizar acciones similares a las que tendrá que hacer en la competencia con la finalidad de sustentar propuestas sobre el diseño de los elementos.

Observaciones:

Los dedos de la mano no tienen movilidad, Jaime maneja todo con los nudillos.

Al levantarse utilizando únicamente los tríceps, toda la presión la ejerce en la palma de la mano.

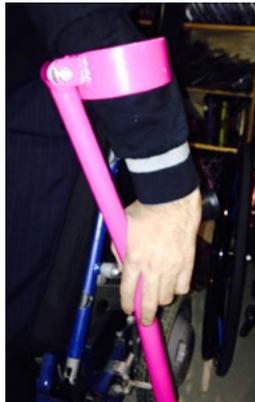


Auxiliándose con un bipedestador para simular la posición erguida que deberá mantener con el exoesqueleto, se realizan pruebas utilizando una muleta comercial tipo "canadiense" para simular la sujeción que se tendría en las muletas del traje, permitiendo así obtener resultados más cercanos a la realidad.

Observaciones:

Ya que en la competencia se tendrán que accionar diversos controladores ubicados en las muletas y que el área de los nudillos es donde Jaime tiene mayor control, se propone una empuñadura con forma de "U" que envuelva esta sección permitiéndole manipular los botones.

Jaime, al sentirse mas seguro, requiere que el apoyo (que comúnmente se encuentra en el lado posterior de las muletas) se ubique al frente de las mismas.



PRUEBAS DE SUJECIÓN

Se le dan a Jaime distintos objetos que varían en su peso y dimensión, aun sin tener fuerza en los dedos, sujeta objetos mayores a los 3 cm utilizando el peso del objeto y el dedo pulgar para detenerlo, para objetos más delgados utiliza sus dedos índice y anular.

Observaciones:

El peso máximo que puede cargar Jaime en una sola mano es de 1 a 3 Kg dependiendo del músculo con el que cargue.

Es necesario que en cualquier elemento en el que Jaime requiera sostenerse debe contar con una superficie antiderrapante.



SUJETADORES

Para el desarrollo de las propuestas de sujeción se realizan pruebas con diferentes opciones de seguros para usar en el traje, entre los que se encuentran: broches tradicionales de metal, hebillas para cinturones sin perforaciones, y seguros de cinturones de aviones y automóvil.

Se le pide a Jaime que las ajuste por arriba de la rodilla y trate de desabrocharlas, de esta forma se elegirá qué tipo de sujeción es la más indicada en función a sus habilidades.

Observaciones:

Ya que Jaime no cuenta con fuerza en los dedos, utiliza la presión del brazo entero para generar esfuerzos.

El mantener una pieza fija mejora notablemente el desempeño que Jaime tiene en el control de los objetos



En estas pruebas se evalúa la eficiencia del sistema de sujeción considerando las dificultades de Jaime en el manejo del objeto. En este caso, se muestra una réplica de un cinturón de avión, el cual se acciona levantando la cara principal del mismo, liberando así el seguro.

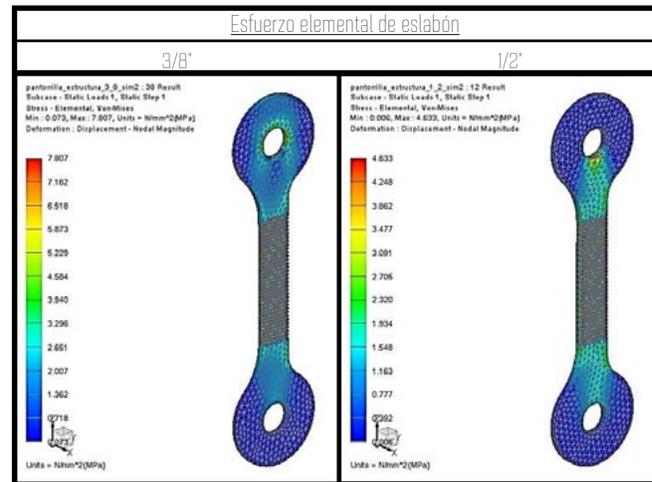
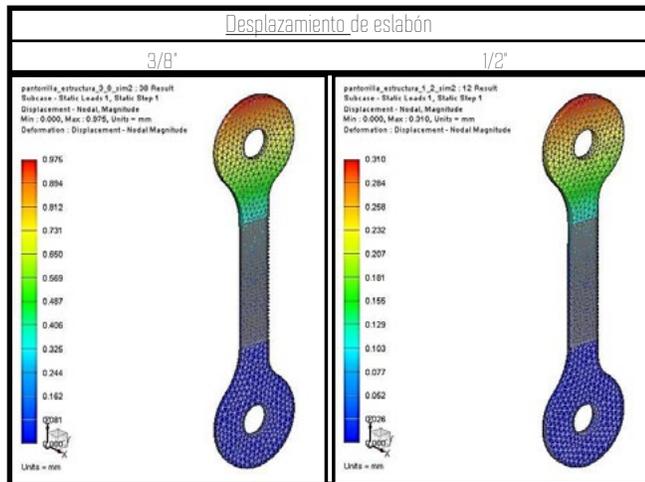
Observaciones:

Ésta es la propuesta en la que mejor se desempeñó, por ser un objeto más grande y por ser mínima la fuerza necesaria para accionarla. Sin embargo, ya que la cara se levanta hacia el lado contrario al que se separan las piezas del cinturón, se dificulta la acción de desprenderlo. Ésto se puede corregir invirtiendo el sentido al que se acciona el seguro.

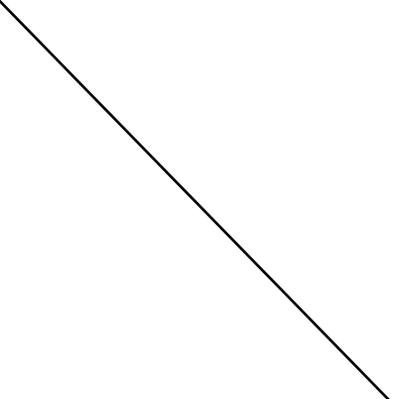


ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO

Con el fin de evaluar los esfuerzos y las cargas a las que será sometido el exoesqueleto y poder seleccionar el material y el espesor más adecuado, se realiza, por parte de los miembros de ingeniería, un análisis de elemento finito sobre los elementos críticos del sistema, llegando a la conclusión de que el aluminio 6061 T6 de 3/8 de pulgada es el más óptimo.



PROTOTIPO CYBATHLON 2016



PROTOTIPO

Basado en el análisis de las pruebas, se fabrica un prototipo con los materiales finales. A Octubre del 2015 (Etapa 1) se cuenta con los siguientes avances.

	Diseño	CAD	Manufactura
Sistemas Mecánicos	x	x	x
Estructura miembros inf.	x	x	x
Soporte miembros inf.	x	x	
Sujeción miembros inf.	x		
Soporte pie	x	x	
Estructura tronco.	x		
Sujeción tronco.	x		
Bastones	x		





Producción

Elementos estructurales:

Fabricados en aluminio 6061 T6 de $\frac{1}{2}$ " de espesor, cortados con chorro de agua y maquinados con fresadora CNC.

Las conexiones de la cadera son cortadas y posteriormente unidas con soldadura TIG. Esto para facilitar la producción, ya que la forja en frío puede romper o debilitar mucho la pieza; y la forja en caliente es un proceso con un costo considerablemente mayor.

Los elementos laterales cuentan con un estriado para permitir que las piezas de fibra de carbono se adhieran firmemente, sin desplazarse de su lugar.



Elementos de soporte:

Propuestos en fibra de carbono, de 3mm de espesor, unidas a la estructura principal envolviendo la pieza de aluminio en la recta vertical.

Elementos de sujeción:

Propuestos en cinta de nylon acolchada con espuma de poliuretano.

Para los broches se usarán piezas comerciales.

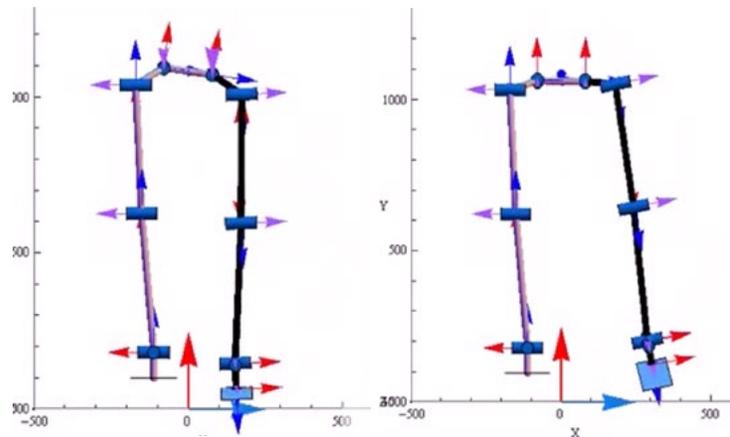
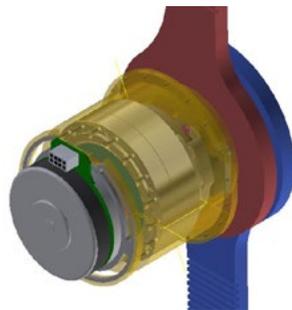
Función

La principal función del exoesqueleto es la marcha, que se genera gracias a los sistemas mecánicos del mismo.

Para la tracción se usan motores Maxon EC 90 Flat de 90 Watts.

Se realizan tanto pruebas físicas con simuladores, como simulaciones virtuales con diferentes programas de ingeniería especializada para poder determinar, prever y corregir anomalías y problemas que se tengan en la marcha.

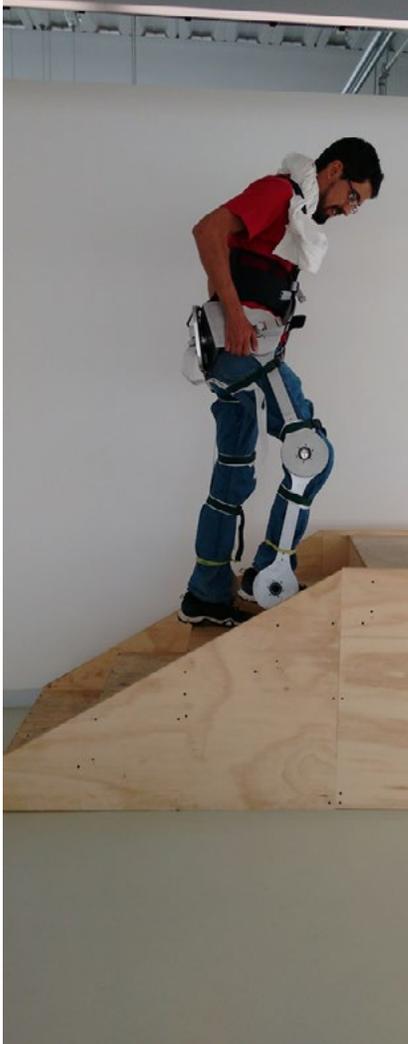
De esta forma, el riesgo creado por el ángulo que se genera al balancear el peso cuando se camina en línea recta puede disminuir controlando la velocidad y el torque en cada una de las articulaciones, así como ayudándose con muletas.



PRUEBAS *CYBATHLON*

En la competencia el exoesqueleto será sometido a numerosas tareas en las cuales tanto el tiempo como el número de intentos serán factor de evaluación de desempeño del prototipo, por lo que es de vital importancia someter al traje a dichas tareas previamente. Para esto, se construyen réplicas de dos de las pruebas utilizando los planos oficiales de la competencia.





Escaleras

Estas pruebas consisten en cuestionar la capacidad del usuario y el traje para enfrentarse a retos de la vida diaria. En este caso, subir y bajar escaleras.

Observaciones:

La inclinación necesaria para desplazarse en una marcha lineal se ve aumentada considerablemente al subir las escaleras, lo cual supone un riesgo para Jaime.

Sin embargo, con el uso de muletas aumenta la estabilidad al momento de subir.



Silla

En esta prueba se requiere que Jaime soporte un porcentaje del peso total de su cuerpo y el traje, ya que se le pedirá que se siente y se levante de un sillón.

Observaciones:

Ya que esta prueba es el momento máximo en el desplazamiento de todas las articulaciones, es necesario considerar la reacción a estos movimientos con respecto a la sujeción y elementos rígidos, ya que pueden provocar lesiones.

Al tener descansabrazos, los ejes laterales a la altura de la cadera interfirieren con el movimiento al realizar la acción, lo que indica que este movimiento debe poder ser interrumpido en cualquier momento por el usuario para prevenir un posible accidente.

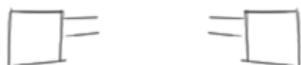
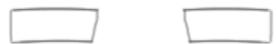
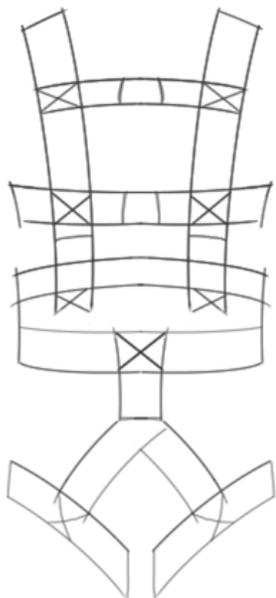
Ergonomía

Como límite para la sección inferior, se consideran 25 Kg, ya que si fuera muy pesado y al sumar los componentes restantes, el traje llegaría a pesar demasiado para usarse de forma segura.

Los elementos estructurales pesan un total de 12.5 Kg, mientras que los elementos de soporte tienen un peso de 1.4 Kg.

A pesar de que la suma total no se acerca al límite establecido, no se recomienda para un uso continuo y cómodo, por lo que se hace énfasis en el acojinado adecuado de las correas, especialmente las de los hombros.

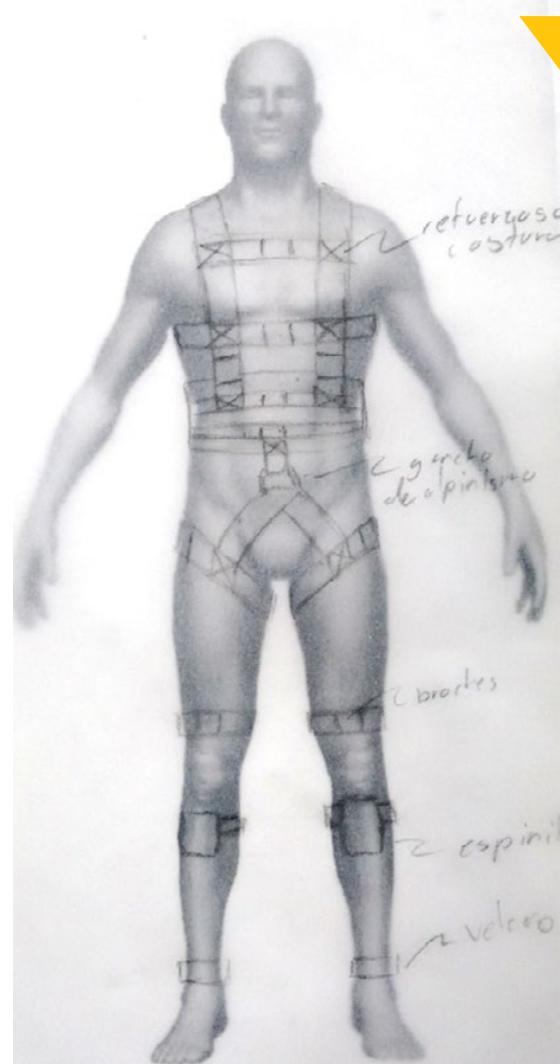
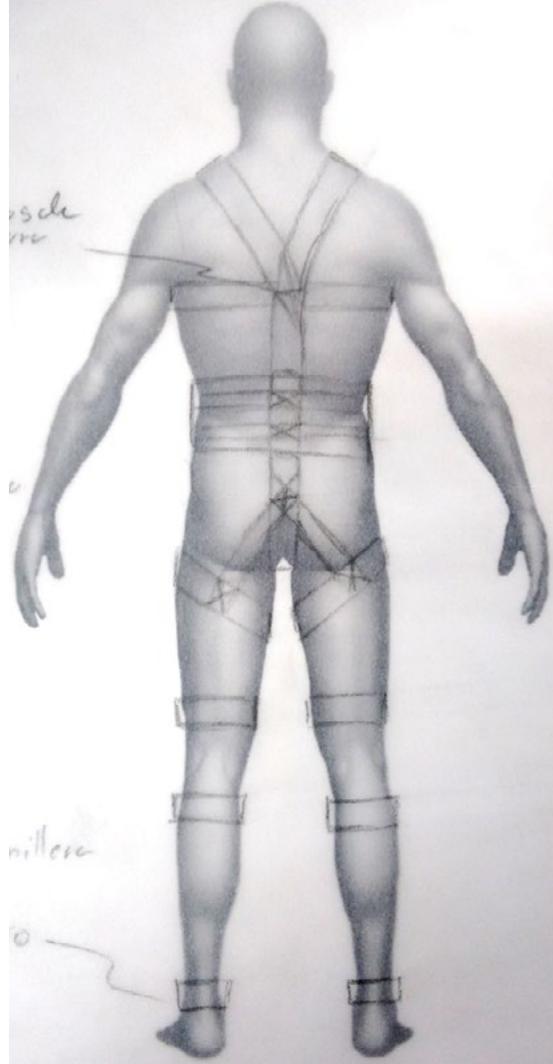




Amarre

Con ayuda de una fisioterapeuta y de la experiencia propia del paciente, se trabajan diferentes propuestas de sujeción, hasta llegar a una configuración que no ponga en riesgo el bienestar del piloto.

Ya que se tiene la configuración deseada se pone a prueba la idea con elementos similares a los propuestos, donde se encuentran problemas y se realizan ajustes para una mejor distribución de cargas con base en la funcionalidad y a la fuerza del piloto.





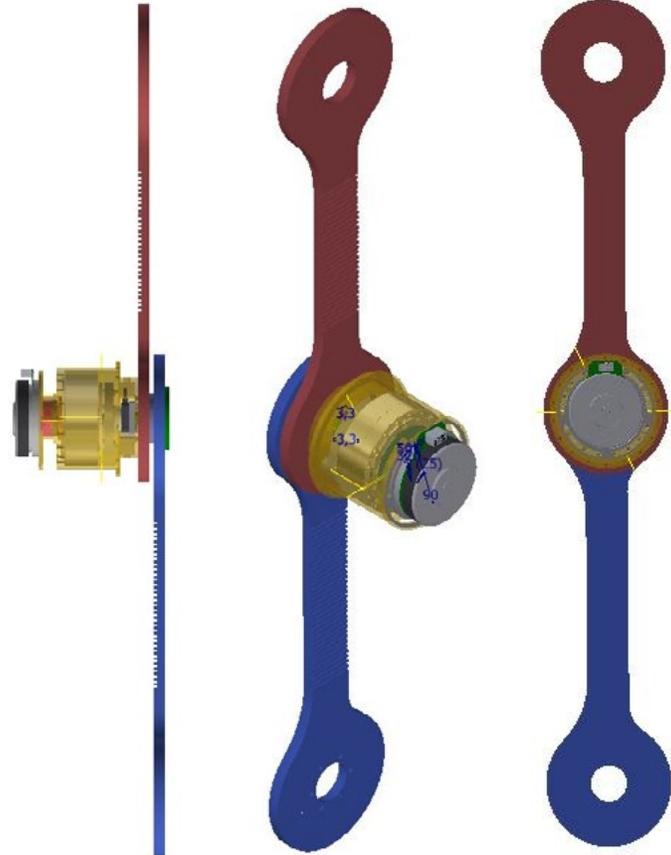
Estética

La Etapa 1 sigue principalmente a la función del exoesqueleto. Por esta razón las secciones laterales aumentan su volumen en las uniones con los elementos mecánicos y se adelgazan conforme se alejan de ellos, de esta manera la estructura se reduce a los elementos estrictamente necesarios.

La pieza de la cadera está diseñada contemplando exclusivamente la función, por lo que los aspectos estéticos restantes como tal no se trabajan.

Elementos mecánicos

Los elementos mecánicos sobresalen de la estructura, rompiendo con la vertical que crea la misma.
El exoesqueleto en su totalidad tiene una estética regida principalmente por la función de cada pieza, por lo que el traje no cuenta con un lenguaje uniforme.



CONCLUSIÓN ETAPA 1

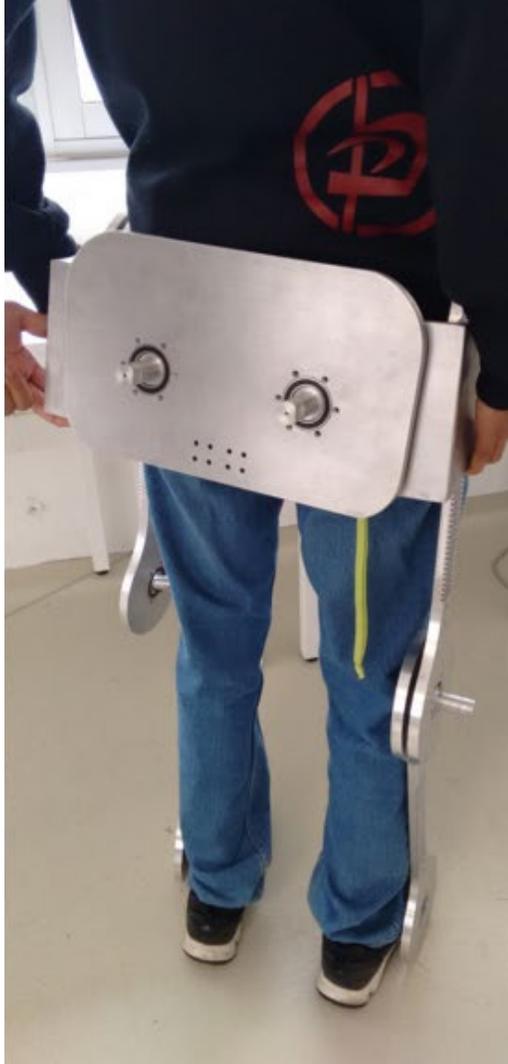
Para esta etapa inicial se trabajaron:

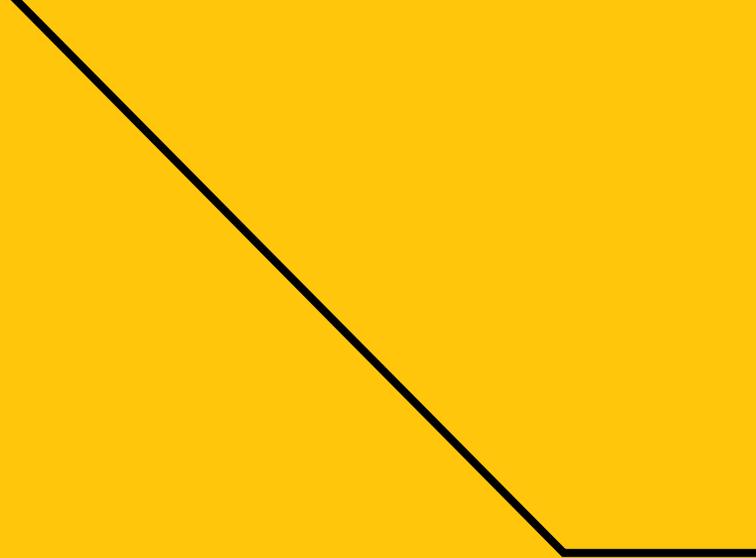
- Conceptos iniciales del proyecto.
- Simuladores para realizar pruebas de sujeción y funcionamiento.
- Manufactura de 2 de las pruebas que habrá en la competencia.
- Toma de medidas antropométricas del paciente.

CONCLUSIONES

- ▶ Estructura general y diseño base del traje.
- ▶ Se encuentran problemas de distribución de peso en las propuestas de los arneses.
- ▶ Se comprueban los movimientos de marcha del exoesqueleto detectados en las pruebas con simuladores.
- ▶ El número de grados de libertad propuestos son suficientes para realizar la marcha aún siendo ésta poco estable.
- ▶ El prototipo cumple con las pruebas a las que fue sometido (estructurales y funcionales).







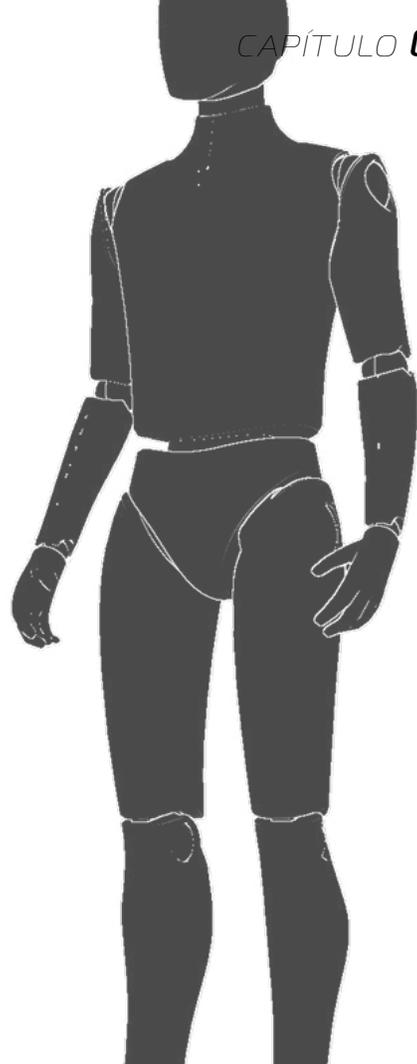
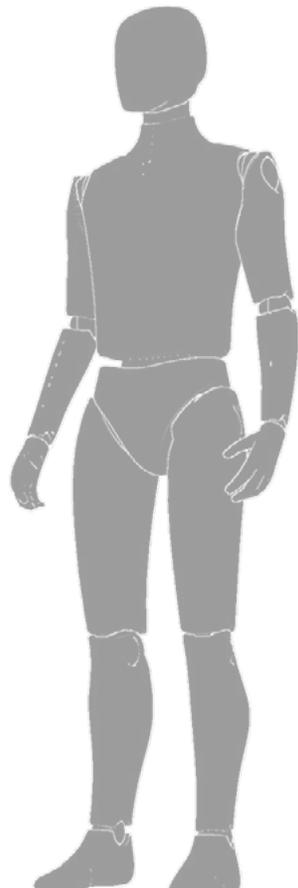
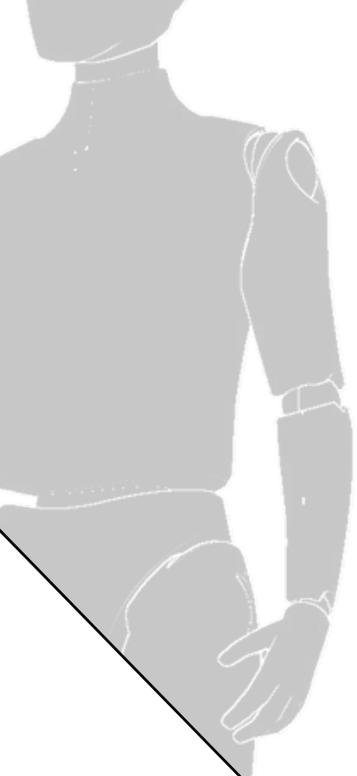
ETAPA 2 PROPUESTA FINAL

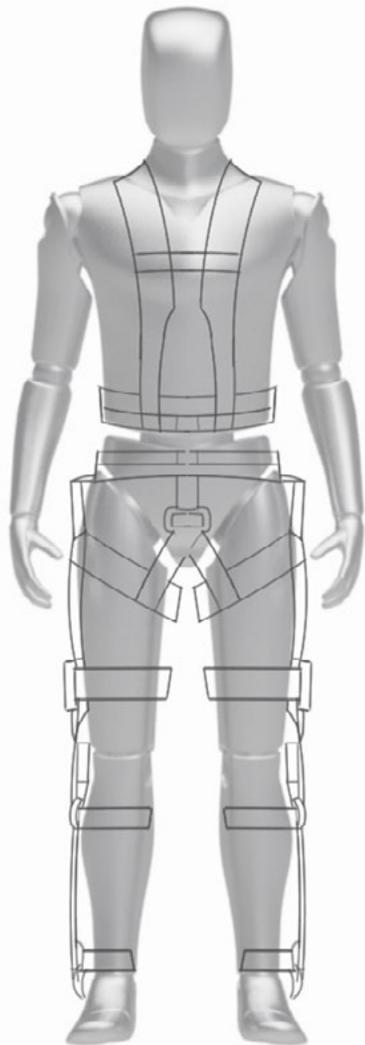
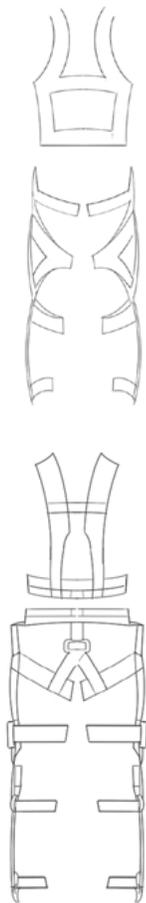
CAPÍTULO 04

PERFIL DE DISEÑO DE PRODUCTO

Conceptos







CONCEPTO 1

Distribución General

En esta propuesta se trabajan las uniones de la estructura principal con las sujeciones, de manera que se forme un sistema y no sólo piezas por separado.

Observaciones:

El elemento superior está formado únicamente por una estructura flexible.

La unión entre la sección superior e inferior se encuentra sin definir.

CONCEPTO 2

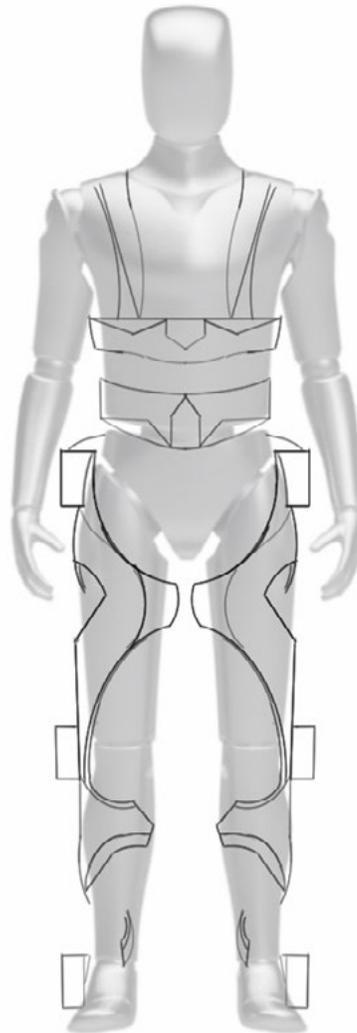
Envolvente

Esta propuesta une los elementos de la estructura con los de sujeción generando una envolvente en torno al usuario de una manera orgánica .

Observaciones:

En esta propuesta el elemento superior proporciona tanto estructura como sujeción al piloto ya que cuenta con elementos que se adaptan a los movimientos del usuario.

La unión entre la sección superior e inferior se encuentra sin definir.





CONCEPTO 3

Piernas

Este concepto presenta únicamente las piernas, con una combinación de las propuestas anteriores, de elementos rectos y planos que envuelven al usuario.

Observaciones:

Las uniones del tobillo, rodilla y cadera tienen medidas reducidas, ya que en este punto se desconocen las medidas de los motores, lo que posteriormente influiría en la forma.

CONCEPTO 4

CAD Piernas

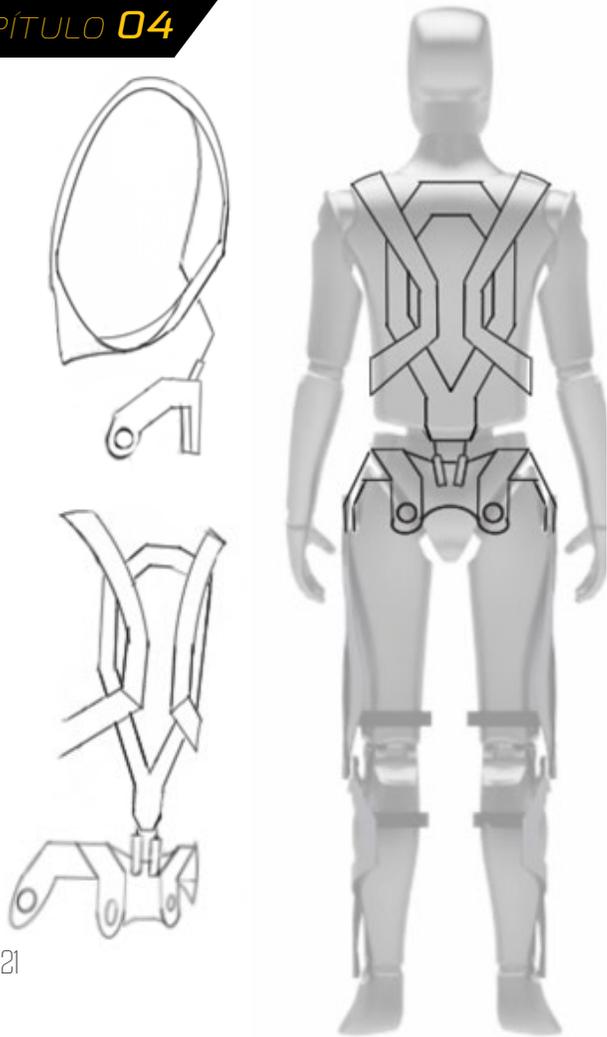
Las formas de la propuesta anterior se desarrollan en 3D, reduciendo la envoltura de la estructura para facilitar la colocación.

Se mantienen elementos envolventes al frente del traje para usarse como soporte de la espinilla.

Observaciones:

Las correas de sujeción carecen del lenguaje del resto del traje.





CONCEPTO 5

Espalda 1

La sección superior se separa de la espalda para brindar espacio a los elementos electrónicos que se cargarán en esta sección.

Se propone el uso de pistones para unir las secciones superior e inferior.

Observaciones:

Es necesaria una interfaz que separe la espalda de los elementos electrónicos.

La sección de los pies aún no se trabaja.

CONCEPTO 6

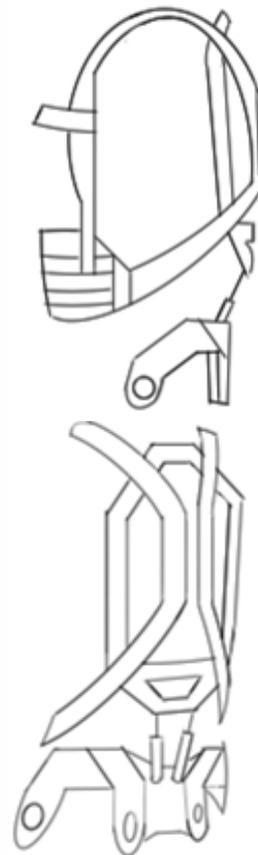
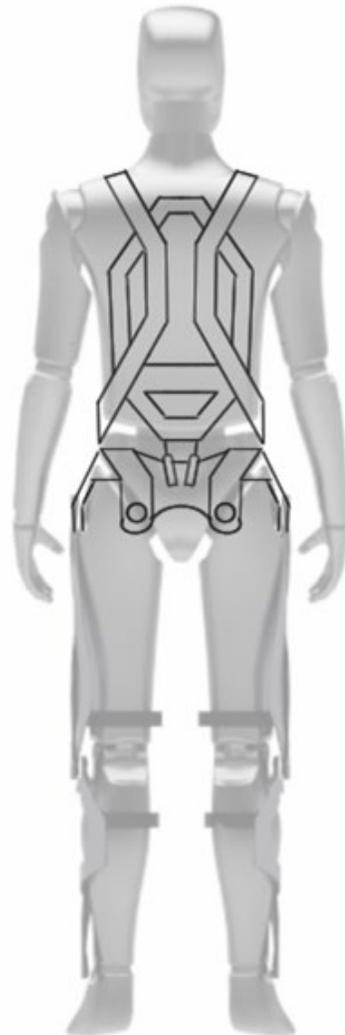
Espalda 2

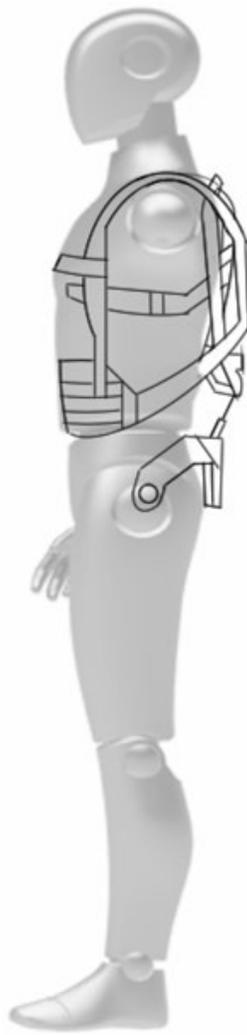
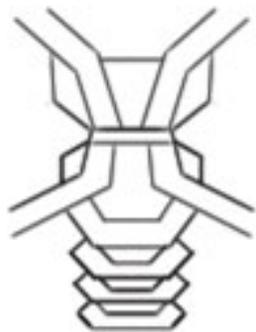
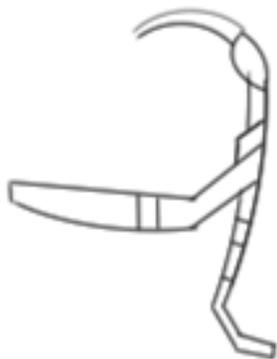
Se propone dividir la estructura de la espalda en un elemento interno, que proteja al usuario, y uno externo, que proteja a los elementos electrónicos.

Se detallan las sujeciones frontales así como la unión de la cadera con los miembros inferiores, y de la cadera a la espalda por medio de pistones; las sujeciones frontales, y se le da volumen a los elementos de la espalda.

Observaciones:

Los elementos de sujeción aún carecen del lenguaje del traje.
La sección de los pies aún no se trabaja.





La sección interna, basada en chalecos protectores de motocross, se compone de elementos independientes unidos entre sí para permitir un libre movimiento del torso.

Se une a la sección externa por la zona lumbar, mientras que la sección interna rodea al usuario a la altura del pecho y por los hombros se sujeta junto con la sección externa.

Observaciones:

Aún no se plantea una distribución específica de los elementos electrónicos.

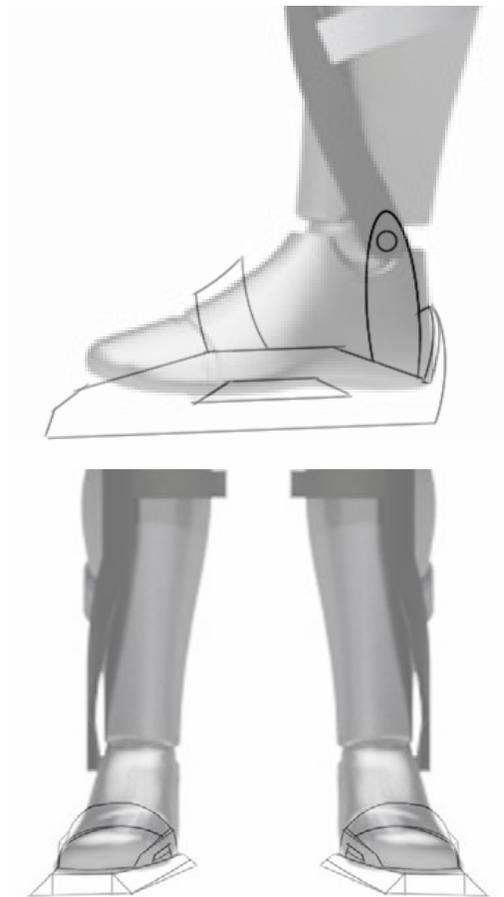
CONCEPTO 7

Pies

El área de huella que entra en contacto con el suelo es mayor que la que entra en contacto con el usuario mejorando la estabilidad. Se une con la sección de las piernas por el lado exterior a la altura del tobillo, liberando el espacio interno

Observaciones:

En la unión entre los pies y las piernas son necesarios elementos mecánicos que soporten el traje en su totalidad





CONCEPTO 8

CAD Pies

Propuesta en 3D de la sección de los pies donde la pieza del talón es rígida y se separa de la base para darle soporte al usuario.

El elemento que sujeta la parte superior del pie es de material flexible para adaptarse a la forma de este.

Observaciones:

Se considera el uso de un calzado al emplear el traje.

CONCEPTO 9

CAD Cadera

La cadera es la unión entre la espalda y los miembros inferiores así como eje de giro de las piernas en el plano coronal.

La sección de la cadera mantiene los rasgos estéticos y formales trabajados en el diseño.

Observaciones:

El elemento estructural de la cadera funge como tope físico del recorrido que tiene el eje de giro de las piernas.





CONCEPTO 10

CAD Espalda Interna

La sección interna de la espalda se compone por elementos independientes unidos entre sí con materiales elásticos, permitiendo el libre movimiento del usuario.

Cuenta con correas en los hombros y por la parte media del tronco, debajo del pecho, para sujetarse al usuario .

Observaciones:

Aún no se diseñan los soportes para los elementos controladores.

CONCEPTO 11

Espalda Externa

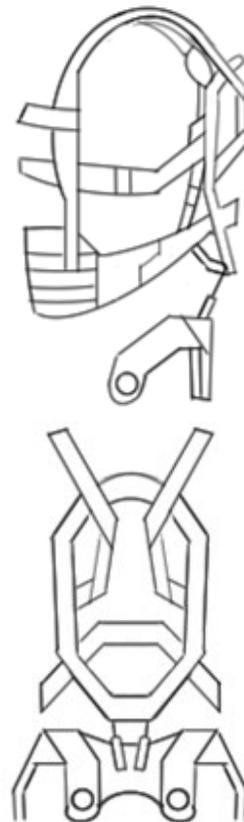
Propuesta de la espalda externa, manteniendo todos los elementos previamente modelados en CAD.

Se divide en cuatro elementos: dos laterales superiores, uno inferior, y uno estructural en la periferia de la espalda.

Observaciones:

La distribución de los elementos textiles de las correas aún no se precisa.

La unión de la espalda externa con la interna no está definida.





CONCEPTO 12

CAD Espalda Externa

Se reduce el número de cinturones en el abdomen a uno solo, y se agregan broches para unir estos con las correas de los hombros.

La unión entre ambos elementos de la espalda está resuelta por medio de una hebilla en la parte superior y una pieza rígida en la sección inferior de ambos elementos.

Se cambian los broches propuestos en la Etapa 1 por unos de diseño propio, manteniendo un mecanismo de fácil liberación.



PROPUESTA FINAL

LENIVS

Dios celta de la sanación asociado con el
dios griego Ares



CONCEPTO 13: Lenus

Se agregan todas las uniones entre los elementos por medio de la inclusion de los ejes mecanicos (excluyendo el ensamble de los actuadores).

Las correas se diseñan con base a la geometria del exoesqueleto.

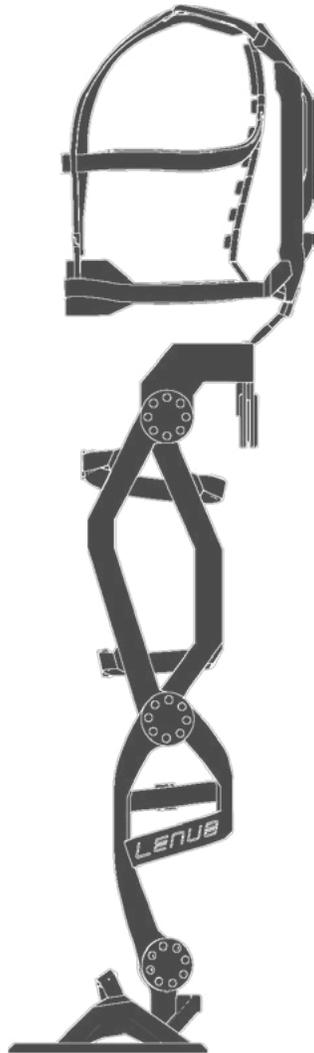
Se cambia casi por completo el diseño del elemento de la cadera, ensanchando la seccion de los ejes y adaptandose a la union con la espalda.

Se diseña una interfaz entre la espalda y la cadera de tal forma que se pueda usar la misma pieza para sujetar los pistones a ambas secciones traseras.

Ya que los broches convencionales no concuerdan con la estética del exoesqueleto se diseña un broche totalmente nuevo.



VENTAJAS E INNOVACIÓN

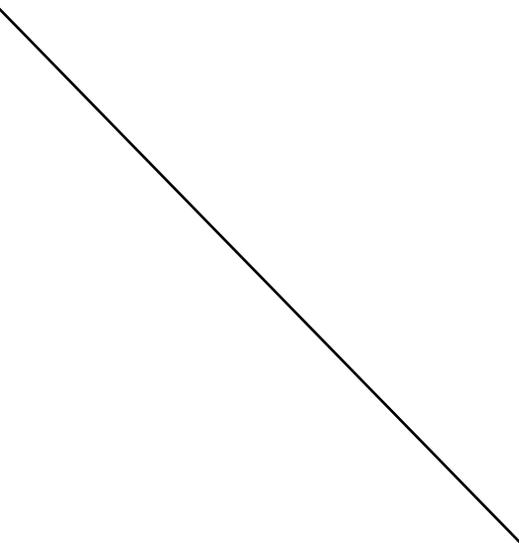
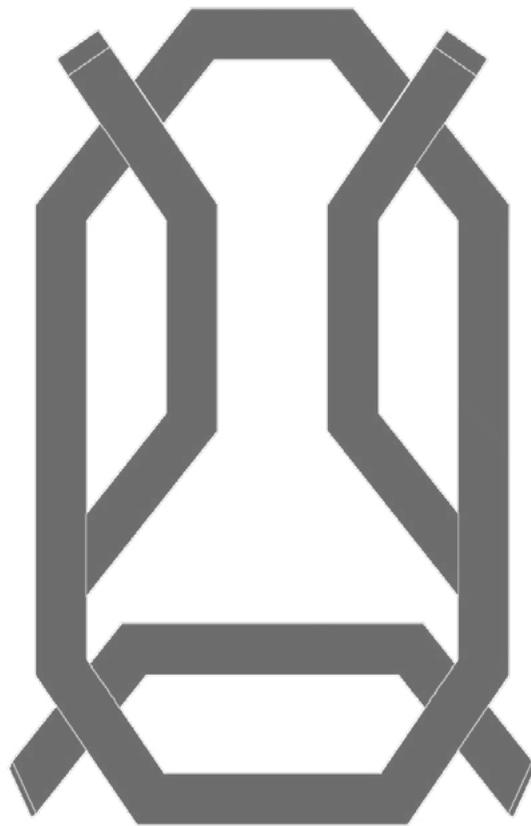


VENTAJAS E INNOVACIÓN

A diferencia de los exoesqueletos de rehabilitación, Lenus esta dirigido a un uso diario, por lo cual la estética está planteada para suprimir la sensación de estar utilizando un equipo médico, ya que la estructura mantiene una forma agradable a la vista y poco invasiva formando una envolvente en el usuario, asegurándolo y proveyéndole el soporte necesario para realizar las actividades diarias.



ESTRUCTURA





ESTRUCTURA

Dividida en cuatro secciones generales que componen todo el sistema de soporte del traje: pies, piernas, cadera y espalda.

Diseñada tomando en cuenta factores de peso y resistencia, la estructura combina materiales como el aluminio, la fibra de carbono, espumas y textiles para lograr así una mayor eficiencia.

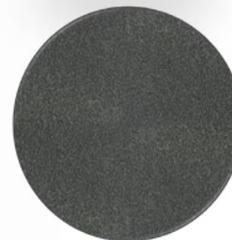
Con la meta de no rebasar los 25 Kg y de mantener la resistencia necesaria a las torsiones a las que será sometida, es necesario realizar pruebas estructurales para así verificar su eficiencia.

Producción

Fabricada en aluminio 6061 T6 de $\frac{1}{2}$ " de espesor, cortado con chorro de agua, fresado en CNC y posteriormente forjado en frío para recibir su forma final.

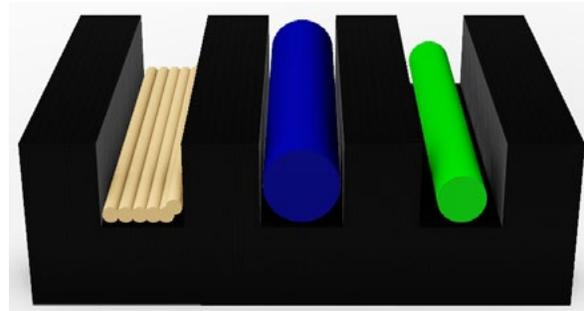
Algunas secciones cuentan con un proceso posterior, de fibra de carbono envolviendo las piezas de aluminio en su interior.

Las suelas, unidas a la estructura del pie, se fabrican con caucho de grado automotriz inyectado a presión.





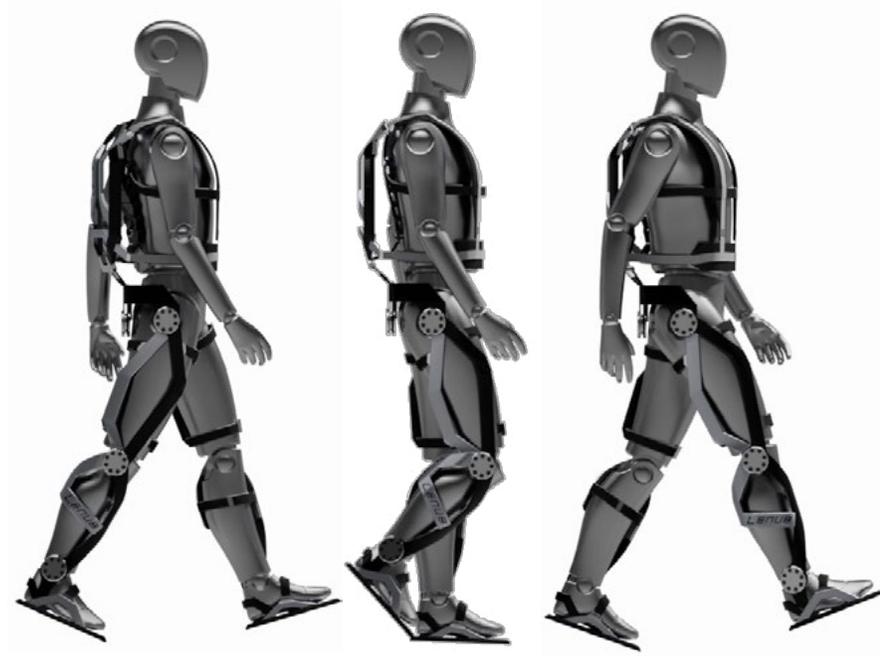
Las piezas de fibra de carbono de los miembros inferiores se fabrican con un sistema de costillas para brindarles estructura y que a la vez funjan como canales por dónde se sujeta el cableado, manteniéndose oculto a la vista.



Función

La estructura es la que envuelve, soporta y protege al usuario. De igual manera, los elementos mecánicos se acoplan a ésta en los ejes de giro, por lo que debe resistir los esfuerzos generados por los motores y el peso del usuario.

Los elementos mecánicos usados en la Etapa I serán los mismos usados en ésta, sin embargo para fines de visualización únicamente se han usado los ejes diseñados por el equipo de ingeniería.





En las secciones de los pies, piernas y cadera se mantienen los ocho grados de libertad de la Etapa 1, ya que son suficientes para realizar la marcha sin peligro.

La sección de la espalda permite un libre movimiento con relación a la cadera, gracias a que se encuentra unida a esta mediante pistones, permitiendo desplazamientos en todos los planos.

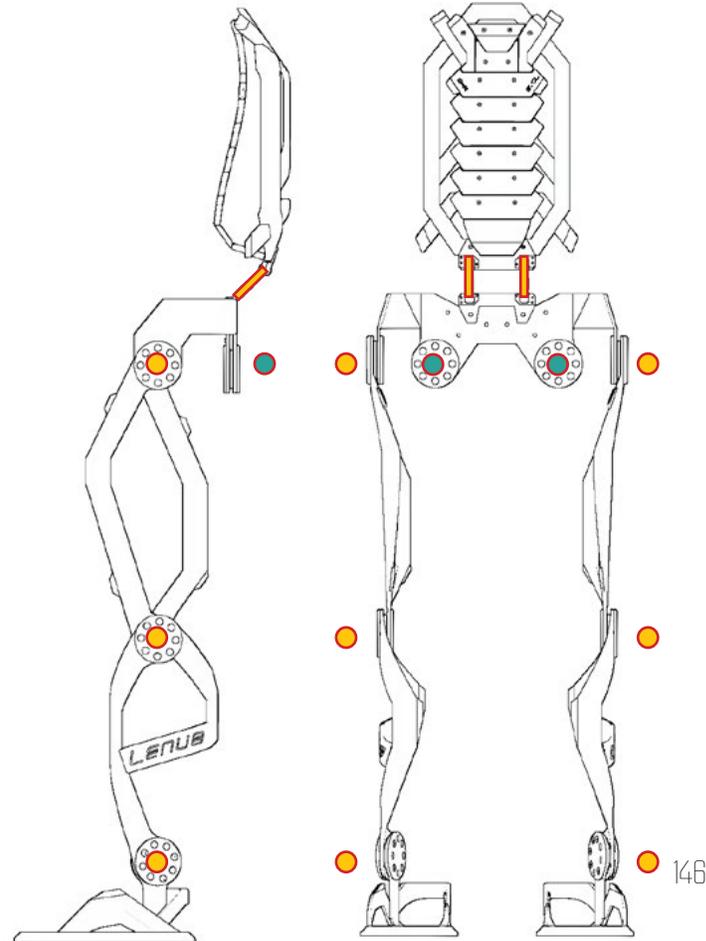
Ergonomía

Sigue a la función.

Cuenta con ocho grados de libertad actuados, seis en el plano sagital y dos en el plano coronal.

Ya que es para uso de pacientes con paraplejía, los pistones en la unión del traje con la cadera no están actuados sino que permiten realizar y se adaptan a los movimientos del usuario.

En conjunto con los acojinados envuelve al usuario proveyéndole soporte y seguridad mediante una estructura capaz de recibir los impactos en vez del usuario.





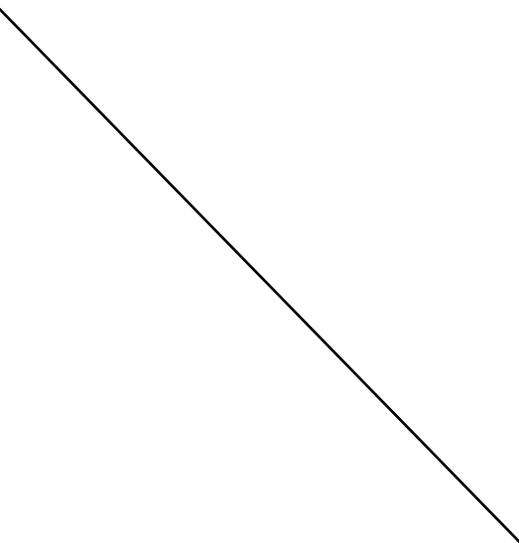
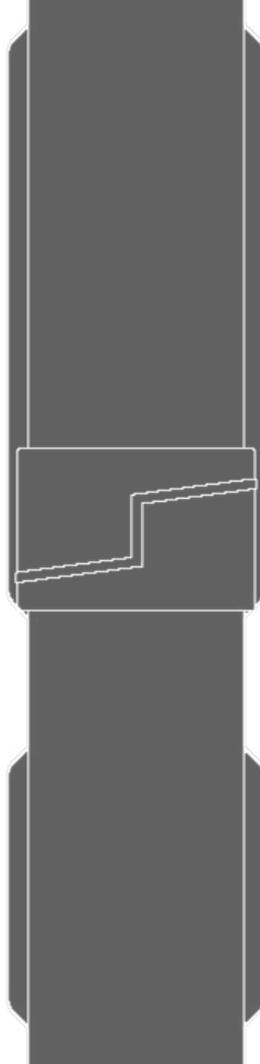
Estética

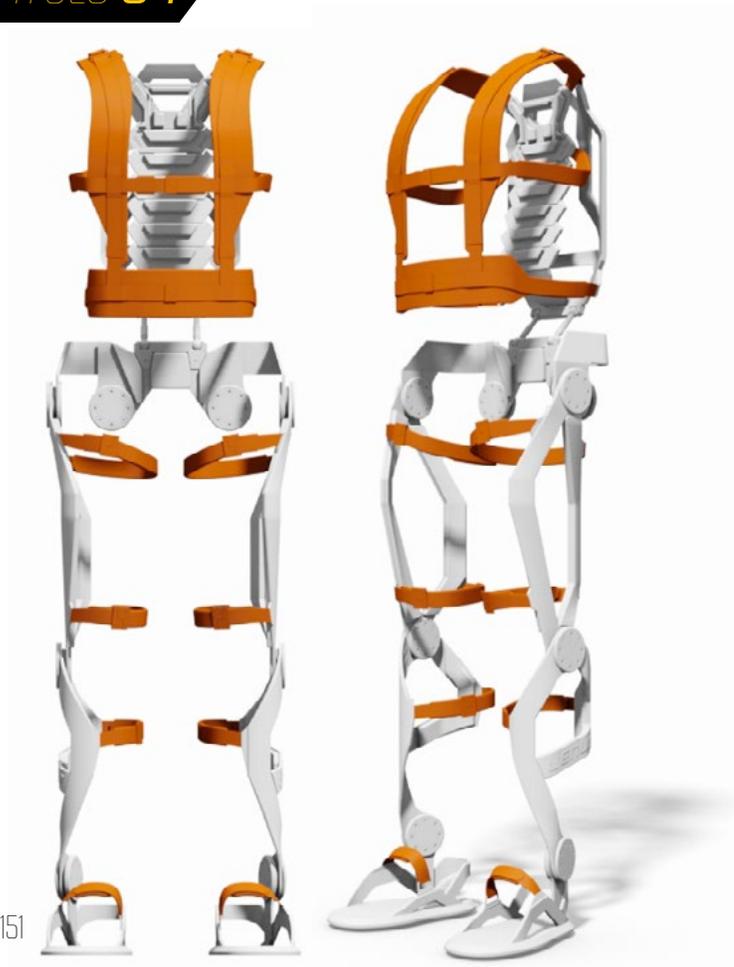
Siguiendo principalmente a la función, los ensambles en los ejes de giro deben ser lo suficientemente grandes como para soportar y permitir un funcionamiento adecuado de los motores.

La estructura mantiene un único lenguaje, de colores neutros, diseñado con líneas rectas y fuertes, que le dan dinamismo al traje y a la vez lo hacen ver agresivo; buscando romper la estética habitual y las verticales envolventes de los exoesqueletos comerciales que asemejan dispositivos médicos, ya que este traje se planea para un uso cotidiano.



SUJECCIONES





SUJECIONES

Se componen por tres elementos: correas con espumado, correas de soporte y broches.

Ambos tipos de correas se cosen entre sí, dándole forma a la correa principal que se usara en todas las sujeciones del traje, doce en total.

Las correas deben ser suficientemente fuertes como para soportar al usuario, manteniéndolo en su lugar sin que este se desplace, pero acolchadas para disminuir la fatiga por cargar el traje, así como para adaptarse a sus movimientos.

Producción

Correas con espumado:
Espuma de poliuretano forrada.
60 mm de ancho.

Correas de soporte:
Cinta de nylon de 1" de ancho.

Broches:
Fundición de acero con acabado cromado.

Las correas de soporte se cosen a las de espuma para darles resistencia, ya que son estas las que cargarán mayor parte del peso.





Función

Envuelve al usuario y lo mantiene unido a la estructura de manera cómoda.

Las correas del tronco son las que cargan casi completamente el peso total del exoesqueleto, por lo que están diseñadas para distribuirlo de manera que reduzca las molestias ocasionadas por el peso del traje.

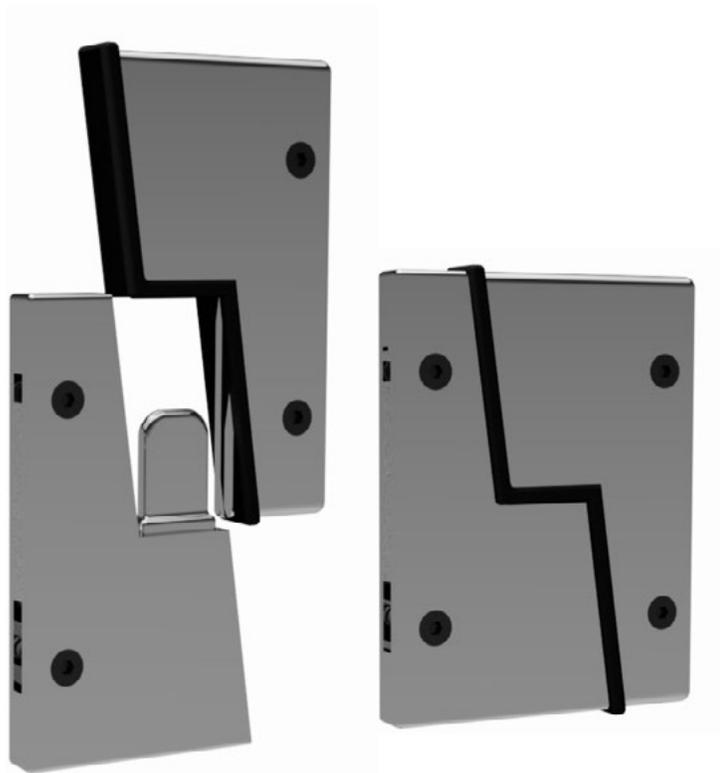
Ergonomía

Mantienen al usuario unido al traje, evitando que caiga fuera de este.

Cuentan con la posibilidad de ajustarse para permitir una sujeción firme, sin embargo, sólo es necesario ajustarlas una vez, ya que el usuario será el mismo.

El espumado sirve como colchón si es que se ajusta demasiado para así no cortar la circulación sanguínea del usuario.



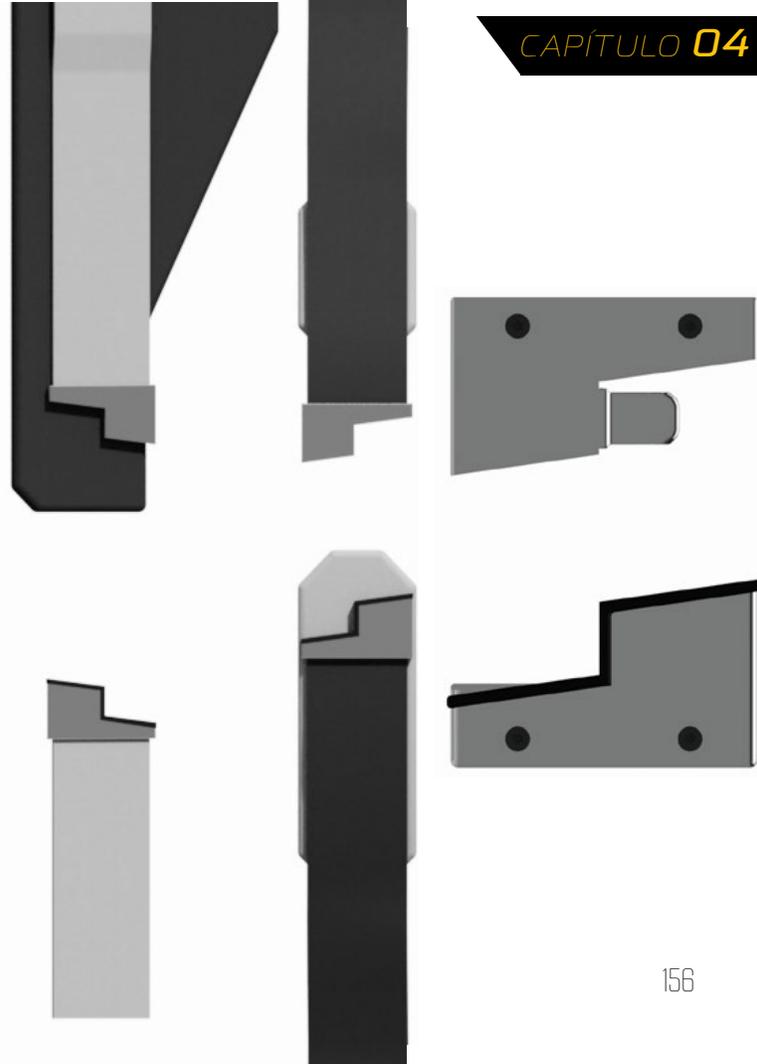


En caso de que sea necesario desprenderse del traje a causa de accidentes o problemas mecánicos, los broches permiten una fácil y rápida liberación con una sola mano gracias al canal y al imán, que ayudan a guiar al broche ofreciendo un montaje mas rápido.

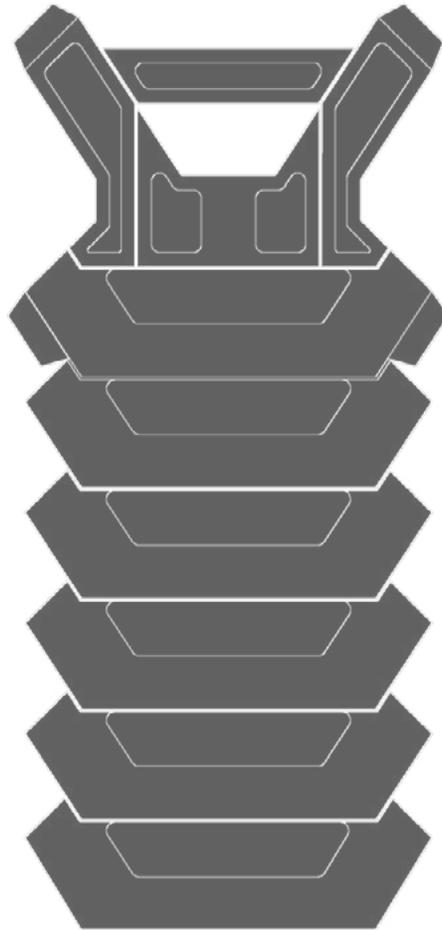
Estética

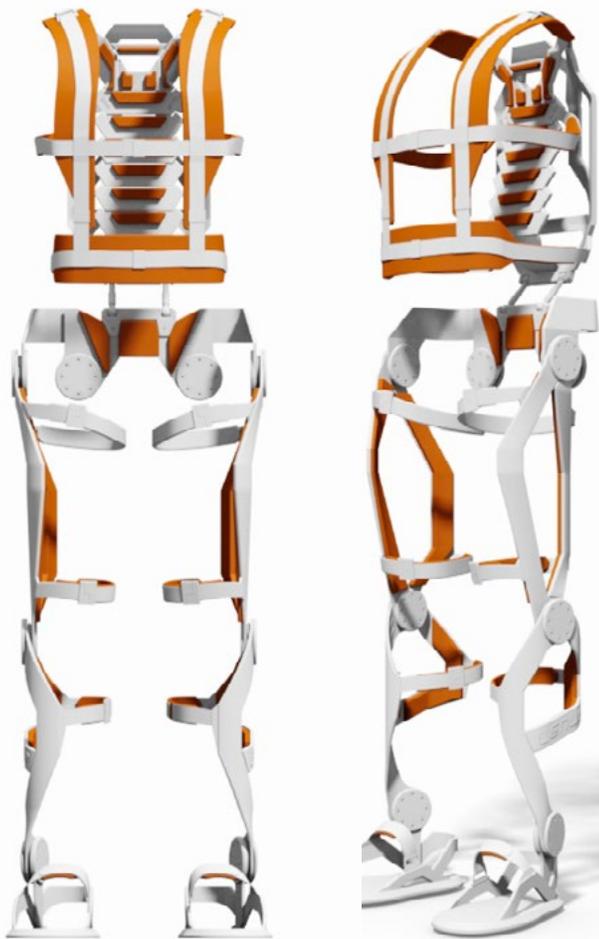
Teniendo todas una misma distribución se trabajan cortes diagonales en las correas acolchadas para mantener un lenguaje similar al de la estructura, al mismo tiempo que se usan combinaciones de colores neutros como en el resto del traje.

Se usan broches de diseño propio ya que de esta forma se pueden trabajar geometrías que no se encuentran en las piezas comerciales.



CONFORT





CONFORT

A lo largo del traje son necesarios elementos que garanticen la comodidad del usuario; ya que éste no cuenta con sensibilidad de sus miembros inferiores hasta la cadera es importante que todos los puntos de presión tengan recubrimientos de seguridad para prevenir daños al cuerpo.

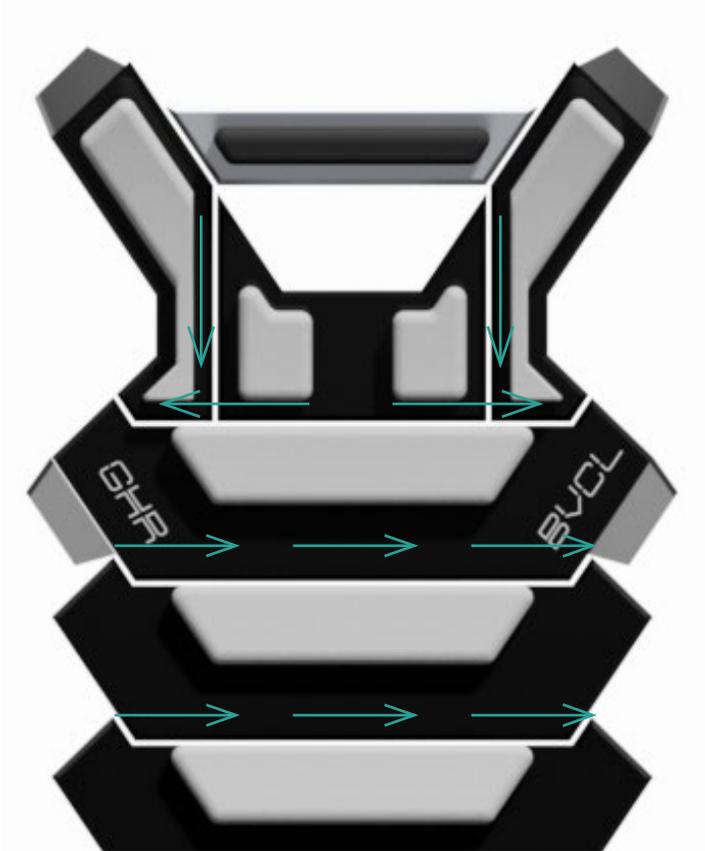
Asimismo dichos elementos tienen que permitir la ventilación para disminuir las posibilidades de sudoración y golpes de calor.

Producción

De espuma de poliuretano de baja densidad, así como textiles de 3ra generación, fabricados de compuestos sintéticos altamente eficientes para diversas tareas, y con acojinado que ofrecen diferentes suavidades.

Unidos a las piezas estructurales por medio de tornillos de diseño propio para acoplarse a la geometría de la estructura de fibra de carbono y mantener un perfil liso.





Función y Ergonomía

El diseño del traje permite que el cuerpo se ventile, no sólo porque los materiales evitan la sudoración y dejan respirar, sino también gracias a que las piezas de la estructura cuentan con un acojinado cada una. Estos acojinados no cubren completamente las piezas creando una separación entre el usuario y la estructura, permitiendo un flujo continuo de aire entre ambos.

De igual manera, los acojinados absorben parte de las fuerzas ocasionadas por una caída, disminuyendo el daño al usuario.

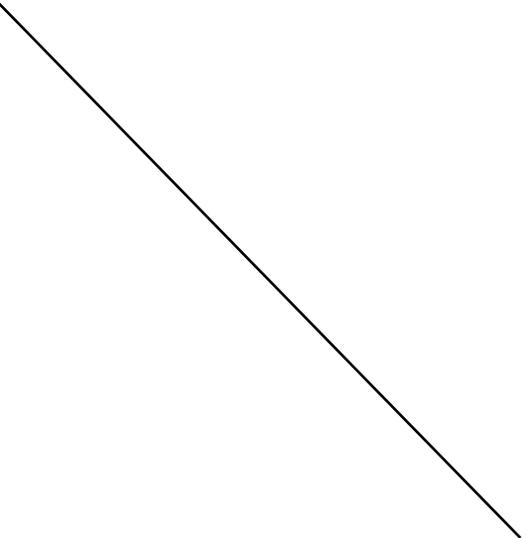
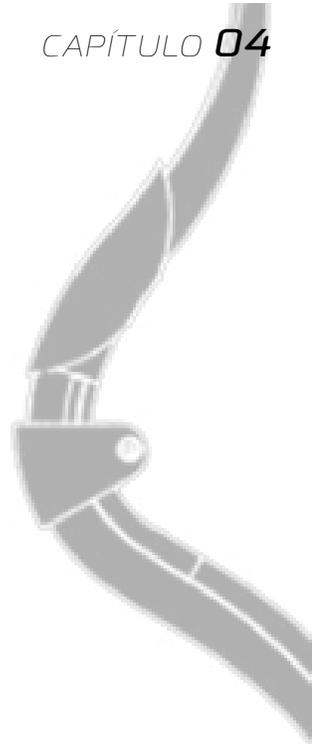
Estética

Por sí solos los elementos de confort no pueden seguir el lenguaje del traje, por lo que se usan en conjunto con la estructura para crear formas y detalles visuales acorde al resto del Lenus.

Los materiales siguen los colores predominantes del exoesqueleto buscando una congruencia con éste.



BASTONES



El exoesqueleto está diseñado para realizar la marcha por sí solo, por lo que no es indispensable el uso de elementos de soporte como bastones o muletas.

Sin embargo, en caso de requerirse, se recomienda utilizar los bastones 'Spiral Crutches' presentados en la tesis de licenciatura de Sofía Soto Treviño, ya que estos permiten una marcha sin columpiarse y con los brazos cerca del cuerpo, a diferencia de como se realiza con muletas convencionales.

"Apoyo Auxiliar para Marchas Patológicas"
Sofía Soto Treviño - 2009 - CIDI

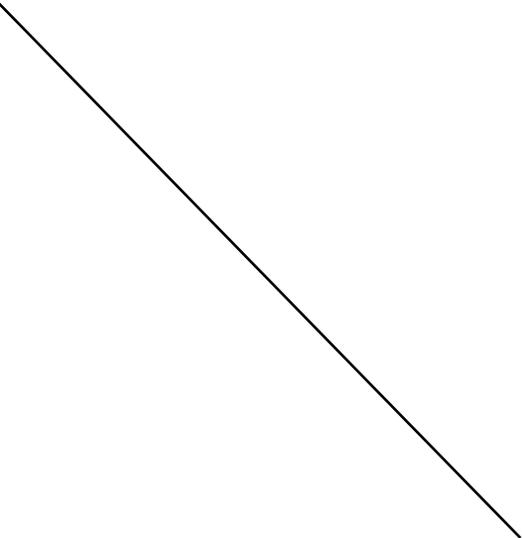


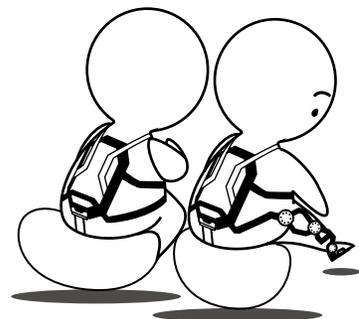
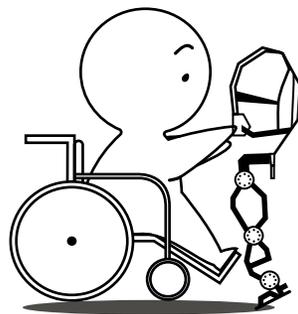
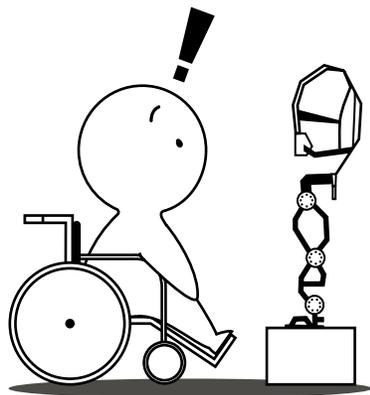


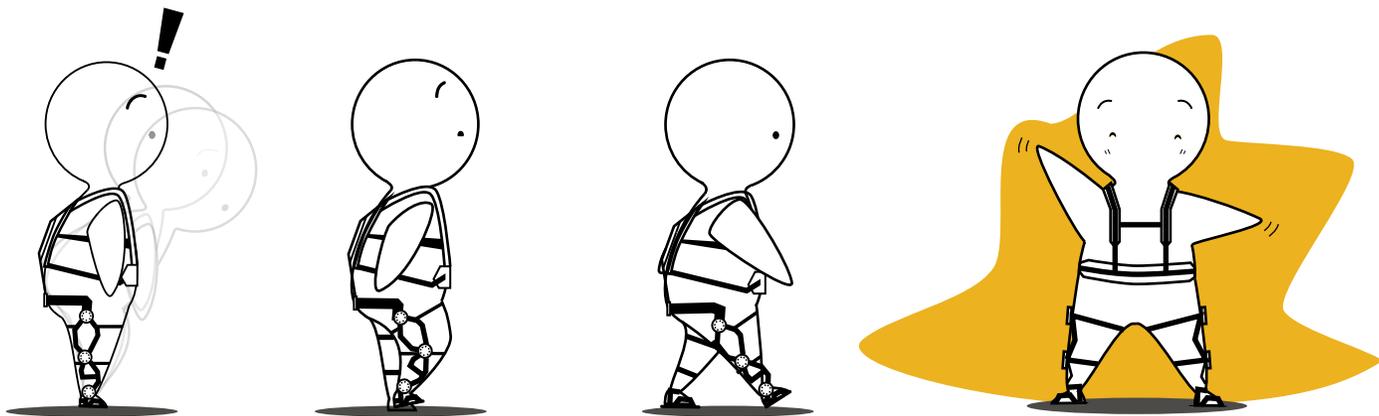
apoyo auxiliar para marchas patológicas

Test profesional para obtener el
Título de Diseñadora Industrial presenta: **SOFIA SOTO TREVIÑO**

SECUENCIA DE USO









ETAPA 3 DESARROLLO A FUTURO

CAPÍTULO 05

PROPUESTA FINAL

Seguimiento y desarrollo a futuro





SEGUIMIENTO AL PROYECTO UNAM-PAPIIT

Una vez concluida la Etapa 1 de este documento, el proyecto siguió adelante a cargo del M. en I. Serafin Castañeda con la ayuda de nuevos integrantes del equipo.

En primer lugar fue sometido a pruebas mecánicas de control y del funcionamiento de los actuadores.

Se invirtió en un soporte espinal del cual se soporta el exoesqueleto en el área del tronco.

Posteriormente se hace un rediseño a la estructura proponiendo una reducción de material para disminuir el peso mediante "Optimización Estructural Evolutiva" que por medio de un algoritmo calcula las áreas de mayor esfuerzo eliminando el material sobrante.

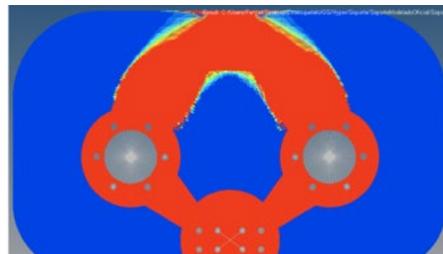
Este trabajo fue realizado por el alumno de licenciatura César Abraham Luna Estrada de la Facultad de Ingeniería y será presentado como su proyecto de titulación

Resultado final

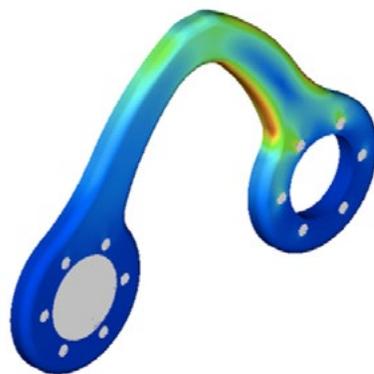




Resultados de optimización
Figura 4.1 Diseño mecánico óptimo de soporte



Optimización estructural

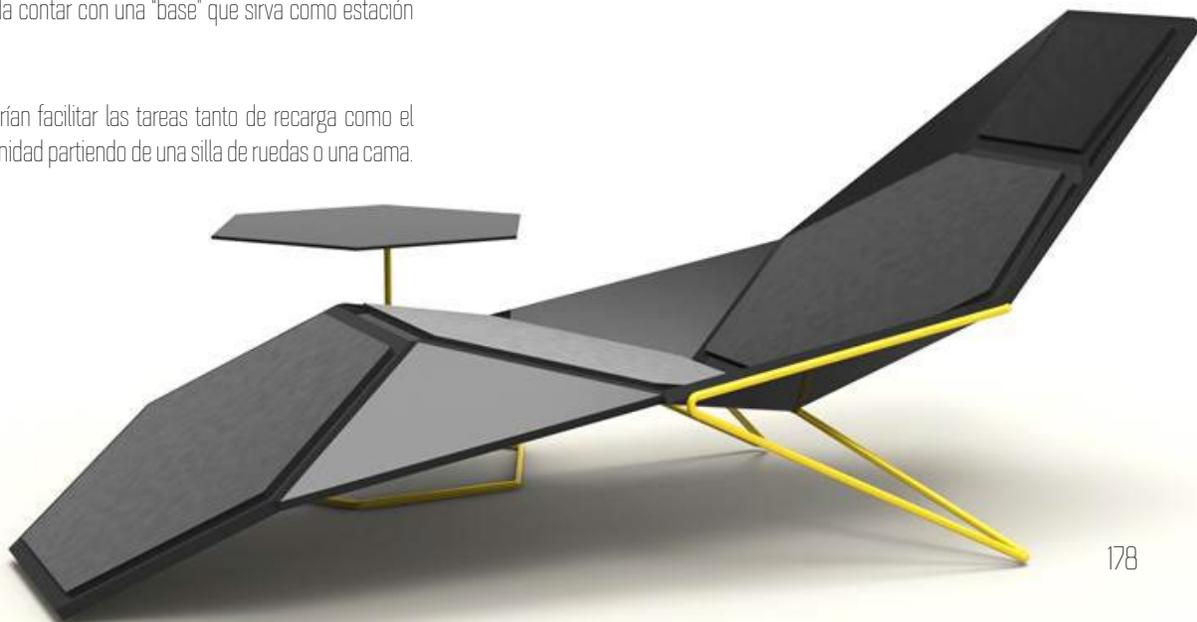


Validación del diseño por
elemento finito

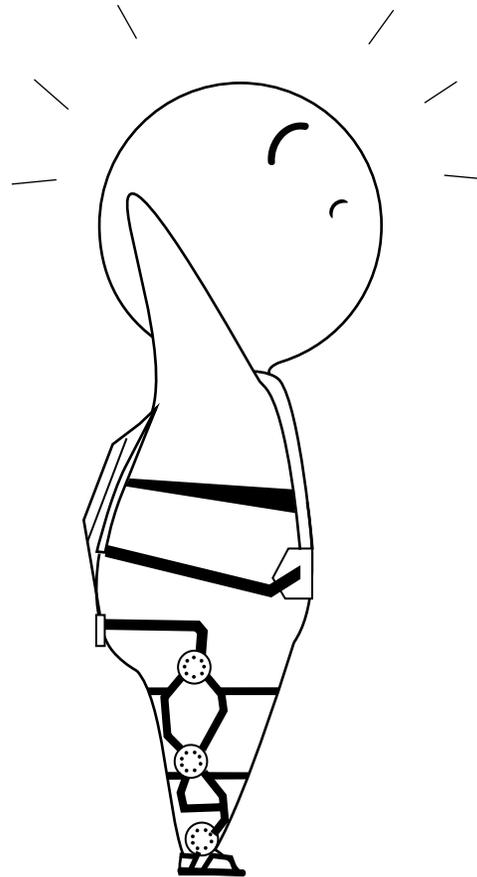
DESARROLLO A FUTURO

Se considera la idea de que una vez que el exoesqueleto sea lanzado para uso público, pueda contar con una "base" que sirva como estación de acoplamiento.

De esta forma se podrían facilitar las tareas tanto de recarga como el traslado de y hacia la unidad partiendo de una silla de ruedas o una cama.



CONCLUSIONES



Para nosotros el poder participar en un desafío del nivel e importancia de un proyecto real fue importante dado que la problemática de diseñar y manufacturar un prototipo funcional para una competencia real implica un mayor esfuerzo por parte de todo el equipo, tanto en investigación como en desarrollo o incluso en búsqueda de recursos.

Las características del proyecto nos permitieron profundizar nuestra investigación gracias a que estábamos regidos por las reglas del Cybathlon y que incluso trabajamos directamente con el paciente elegido para competir, ayudándonos a comprender el peso de vivir con una lesión de este tipo y las dificultades que ello ocasiona en la vida diaria, por lo que nos percatamos de la importancia de proyectos como este para solucionar un problema real.

La amplitud del tema creó la necesidad de reunir un equipo de trabajo formado por diversas especialidades, permitiéndonos colaborar como en otros proyectos en un entorno multidisciplinario fuera del CIDI, ya que previamente hemos trabajado en otros proyectos de la Facultad de Ingeniería, brindándonos distintas alternativas para resolver problemáticas, y nos capacitó para entender diversos aspectos que desde una perspectiva convencional de diseño industrial pudimos haber omitido o no dar importancia en el desarrollo de la propuesta.

Trabajar en otra facultad nos ayudó a entender una forma de trabajo completamente diferente a la que estábamos acostumbrados en el CIDI, obligándonos a familiarizarnos con términos y conceptos que desconocíamos o no comprendíamos del todo.

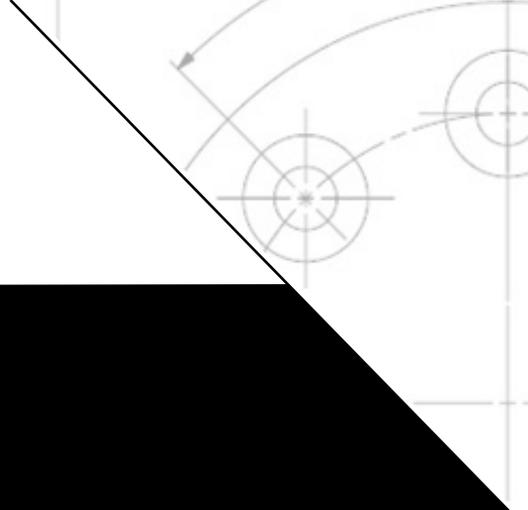
Igualmente fue interesante al realizar la tesis relacionando dos disciplinas de facultades diferentes de la UNAM existían diferencias de métodos y opiniones de las distintas disciplinas involucradas, lo que nos obligó a mediar y dialogar para llegar a un acuerdo o llegar a la opción más adecuada.

Por lo anterior, vemos como una excelente opción, tanto para las instituciones como para la formación de sus alumnos y académicos, un esfuerzo para formar una vinculación más fuerte entre facultades, no solo con la Facultad de Ingeniería sino con toda la UNAM, ya que cada disciplina tiene algo que aportar para fomentar el desarrollo de proyectos e investigaciones.



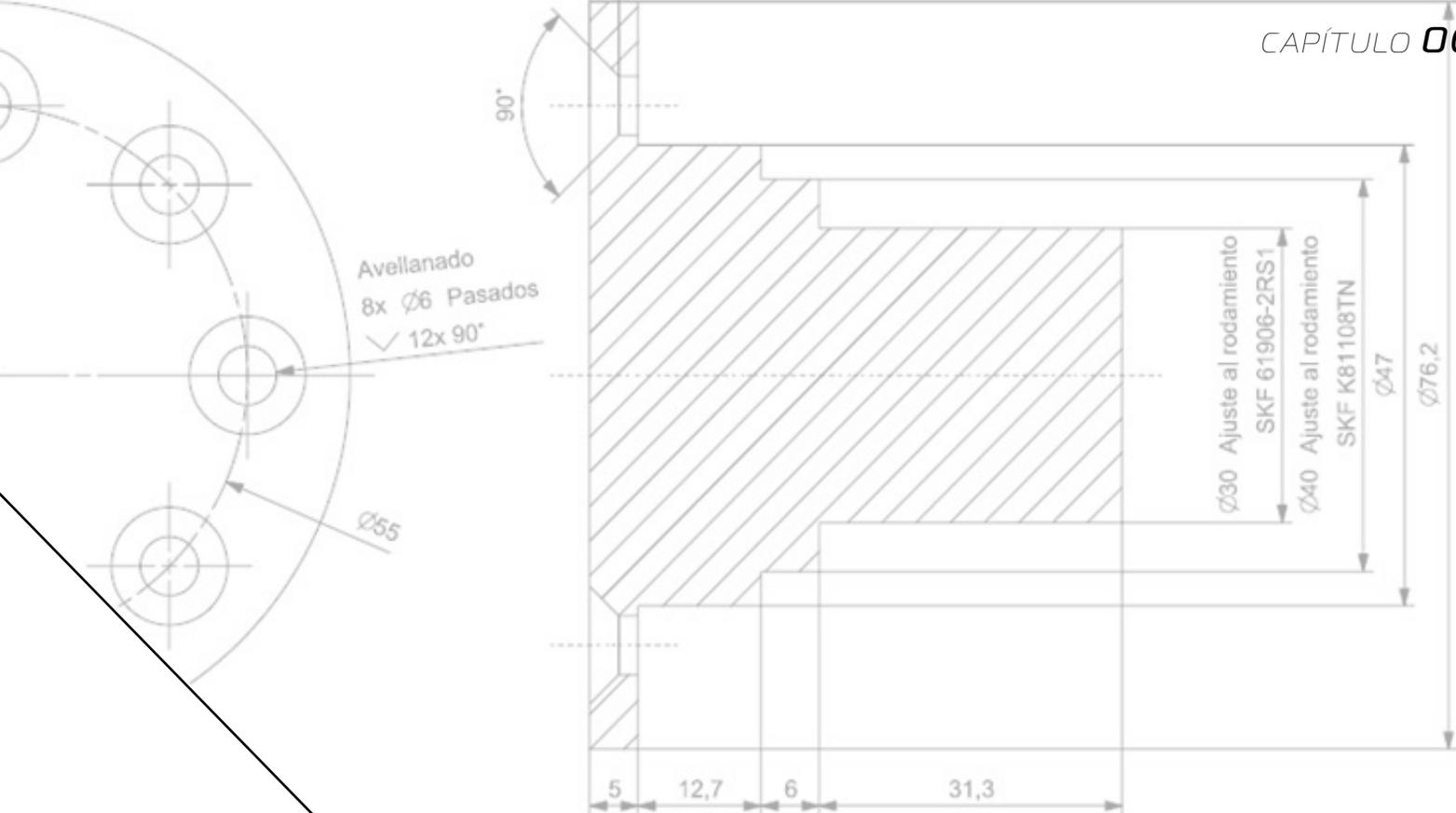
ANEXOS

CAPÍTULO 06



ANEXO 1

Planos Etapa 1



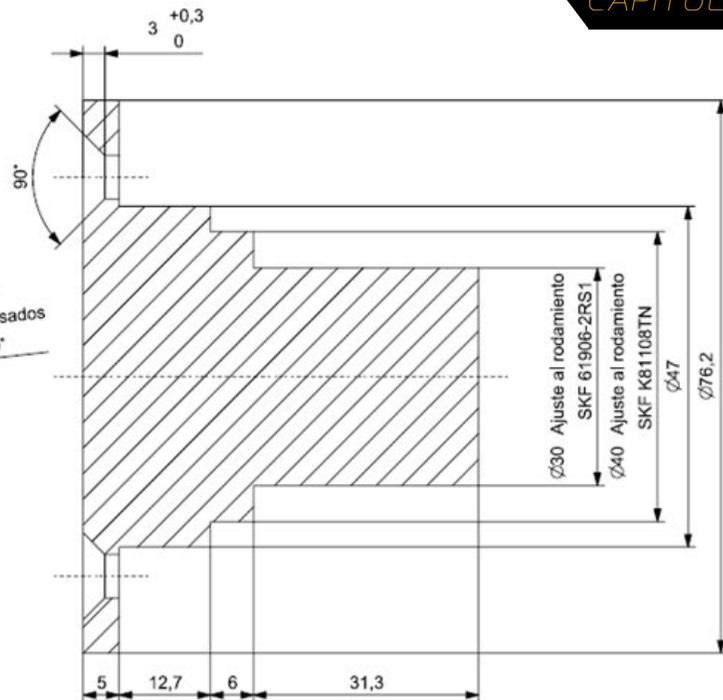
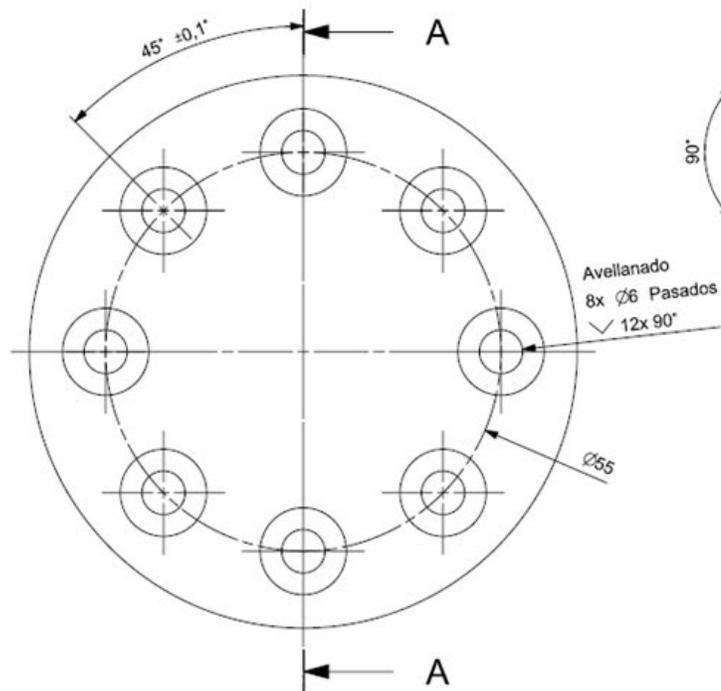
SECTION A-A

Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica Departamento de Ingeniería Mecatrónica Exoesqueleto de Cadera y Rodilla	Rev:A	Escala: 2:1
	Fecha:05-02-15	Acot: mm
	Dibujó: MMLJ y CARL	Cantidad:6

Planos Etapa 1

A continuación se muestran los planos referentes a los resultados obtenidos en la Etapa 1. dichos planos se generaron en Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica, UNAM Facultad de Ingeniería.

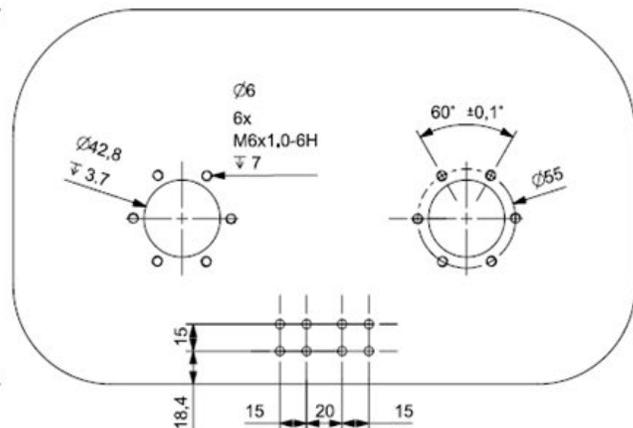
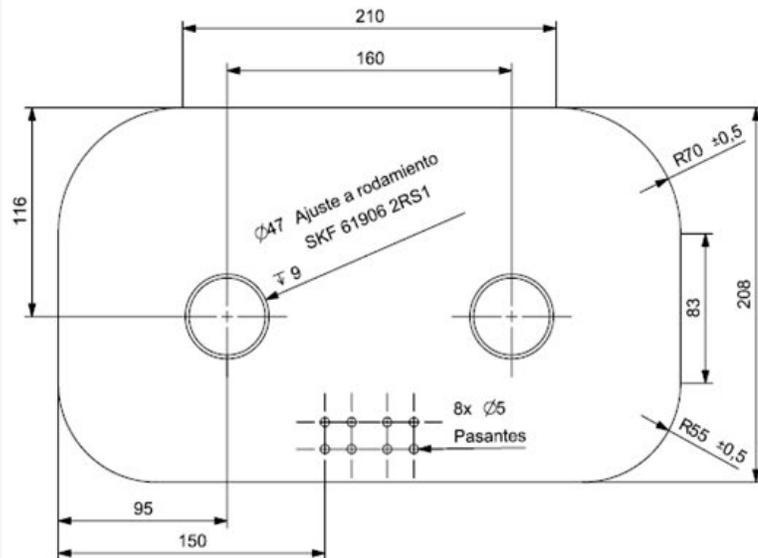




Barra comercial de 3"

Tolerancia lineal general de $\pm 0,05$ mm

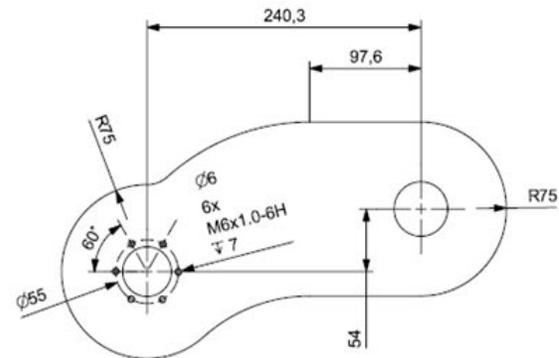
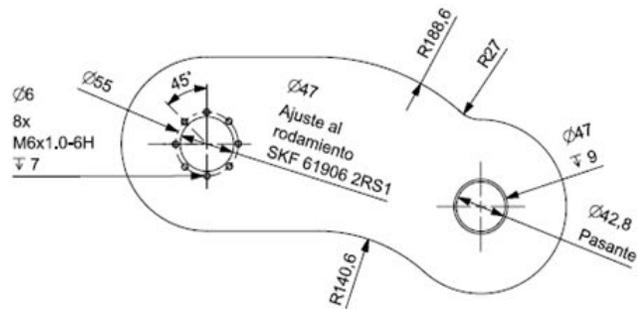
Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica Departamento de Ingeniería Mecatrónica Exoesqueleto de Cadera y Rodilla	Rev:A	Escala: 2:1
	Fecha:05-02-15	Acot: mm
	Dibujó: MMLJ y CARL	Cantidad:6
	Revisó:SCC	Material:
Eje Exoesqueleto	PAPIIT IT102014	Aluminio 6061-T6
	A3	Dib. No. : EXO-CAD-501



Placa comercial de 1/2"

Tolerancia lineal general de ± 0.05 mm

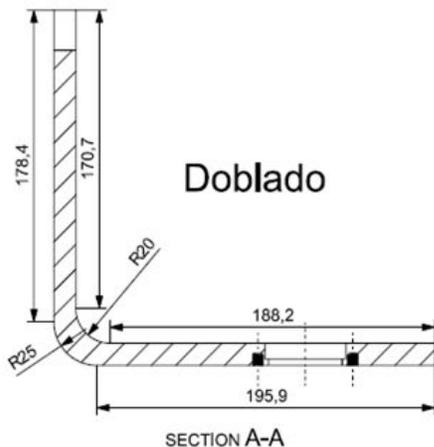
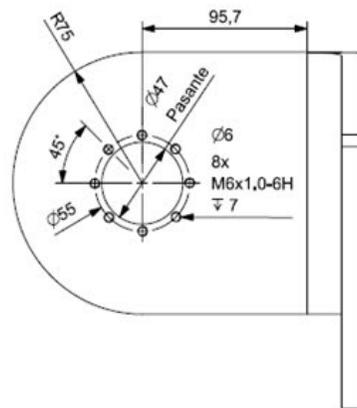
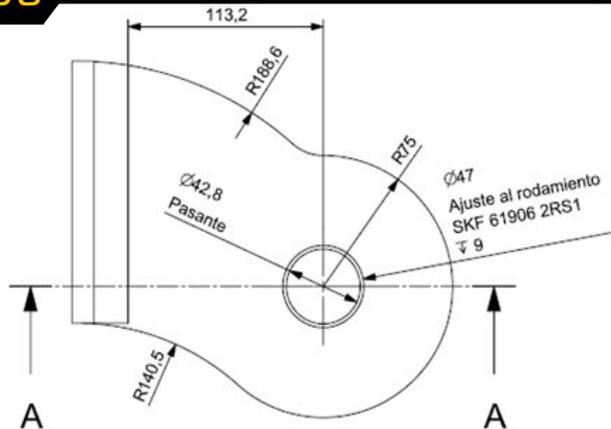
Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica Departamento de Ingeniería Mecatrónica Exoesqueleto de Cadera y Rodilla	Rev:A	Escala: 1:2
	Fecha:05-02-15	Acot: mm
	Dibujó: MMLJ y CARL	Cantidad:1
 Título: Cadera conexión central	Revisó:SCC	Material:
	PAPIIT IT102014	Aluminio 6061-T6
  A3	Dib. No. : EXO-CAD-504	



Placa comercial de 1/2"

Tolerancia lineal general de ± 0.05 mm

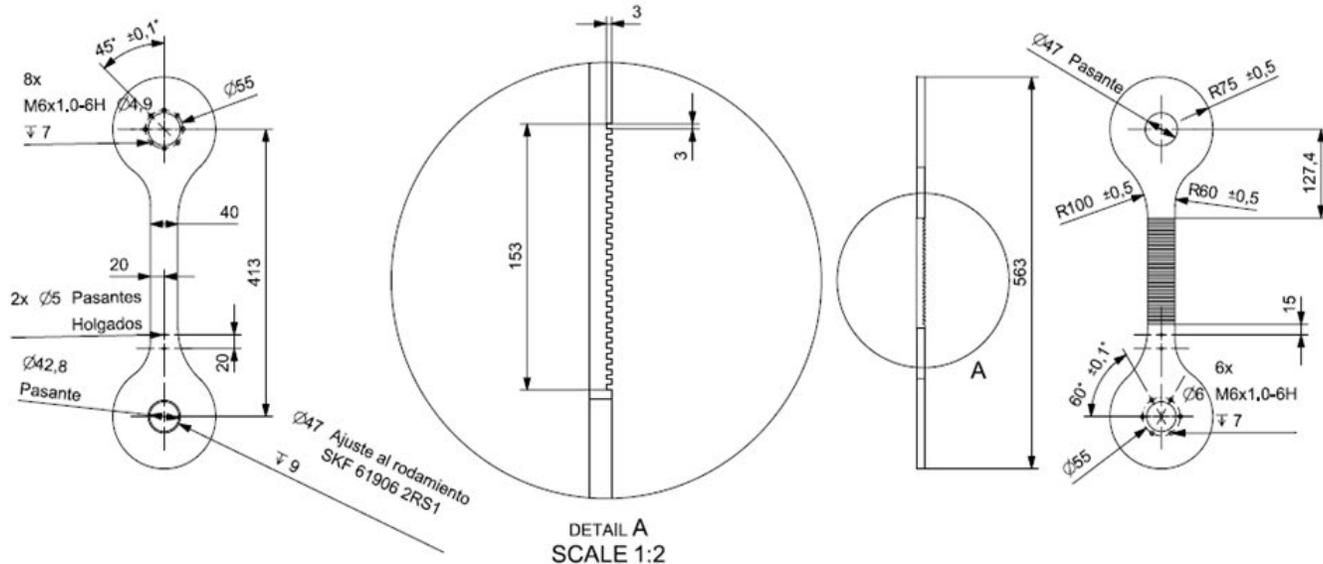
Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica Departamento de Ingeniería Mecatrónica Exoesqueleto de Cadera y Rodilla	Rev:A	Escala: 1:3
	Fecha:05-02-15	Acot: mm
	Dibujó: MMLJ y CARL	Cantidad:1
 Título: Cadera conexión izquierda	Revisó:SCC	Material:
	PAPIIT IT102014	Aluminio 6061-T6
  A3	Dib. No. : EXO-CAD-502	



Placa comercial de 1/2"

Tolerancia lineal de ± 0.05 mm

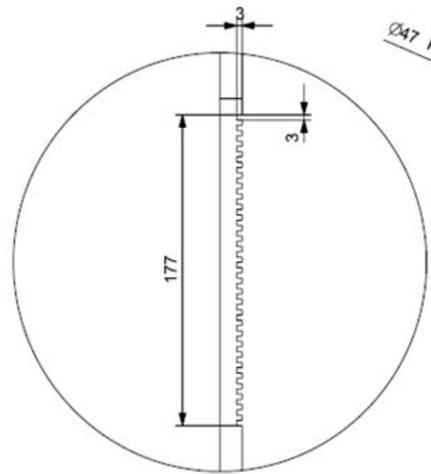
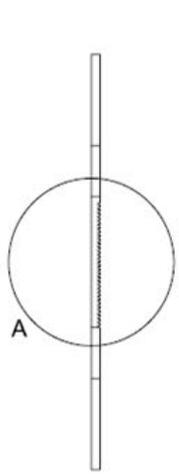
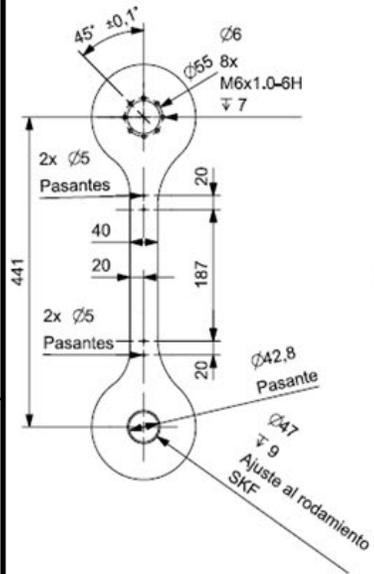
Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica Departamento de Ingeniería Mecatrónica Exoesqueleto de Cadera y Rodilla	Rev:A	Escala:
	Fecha:05-02-15	Acot: mm
	Dibujó: MMLJ y CARL	Cantidad:1
	Título:	Revisó:SCC
	Cadera conexión izquierda	PAPIIT IT102014
  A3	Dib. No. : EXO-CAD-503	



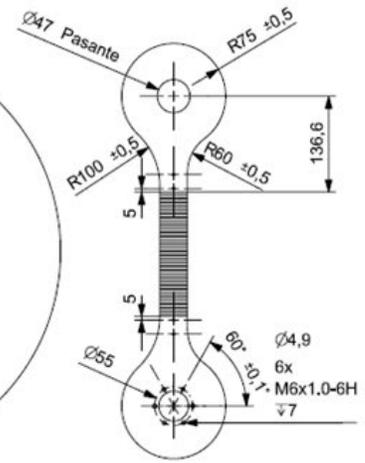
Placa comercial de 1/2"

Tolerancia lineal general de $\pm 0,05$ mm

Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica Departamento de Ingeniería Mecatrónica Exoesqueleto de Cadera y Rodilla	Rev:A	Escala: 1:5
	Fecha:05-02-15	Acot: mm
	Dibujó: MMLJ y CARL	Cantidad:1
	Título:	Revisó:SCC
	Estructura femoral izquierda	PAPIIT IT102014
 	A3	Dib. No. : EXO-ROD-501
		Material: Aluminio 6061-T6



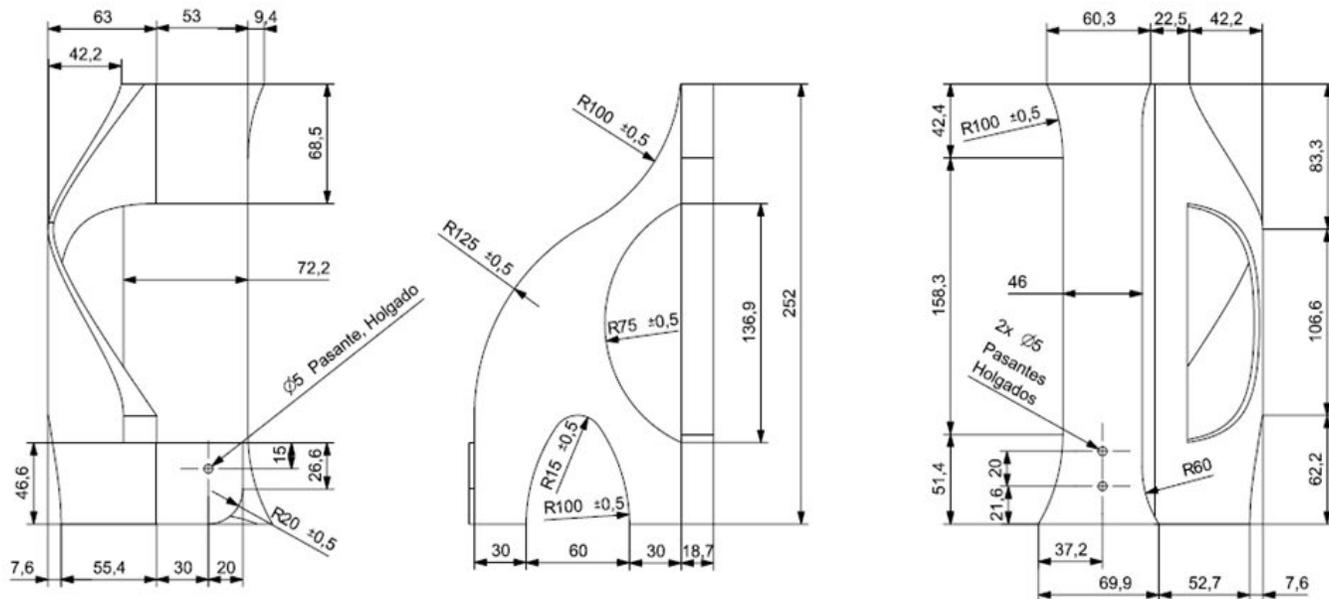
DETAIL A
SCALE 1:2



Placa comercial de 1/2"

Tolerancia lineal general de ± 0.05 mm

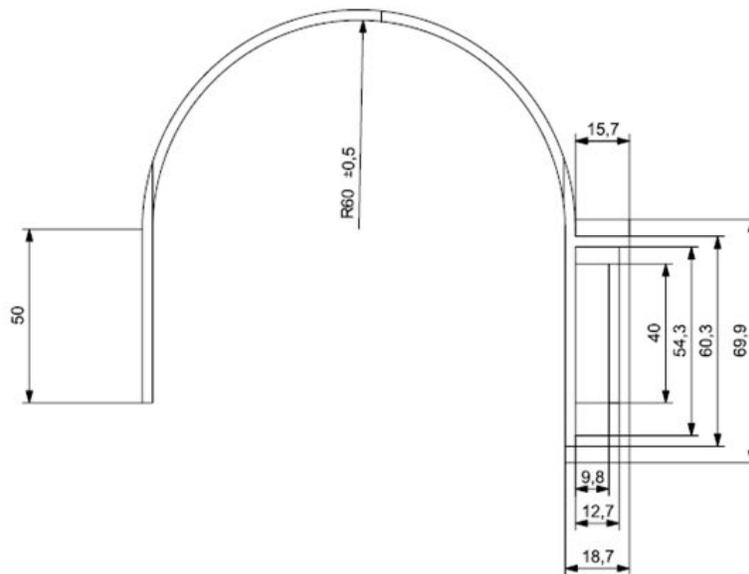
Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica Departamento de Ingeniería Mecatrónica Exoesqueleto de Cadera y Rodilla	Rev:A	Escala: 1:5
	Fecha:05-02-15	Acot: mm
	Dibujó:MMLJ y CARL	Cantidad:1
 Título: Estructura tibial izquierda	Revisó:SCC	Material:
	PAPIIT IT102014	Aluminio 6061-T6
  A3	Dib. No. : EXO-ROD-503	



Fibra de carbono de 3 mm

Tolerancia lineal general ± 0.5 mm

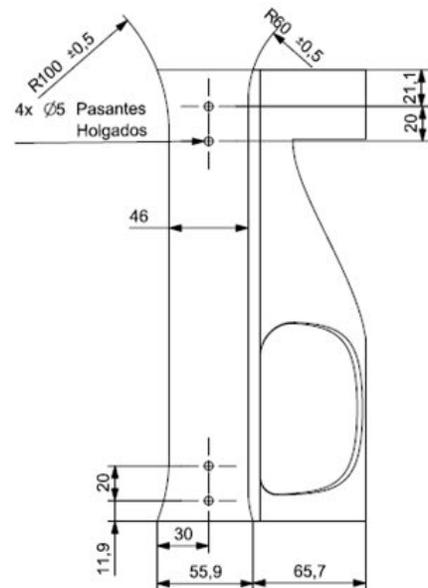
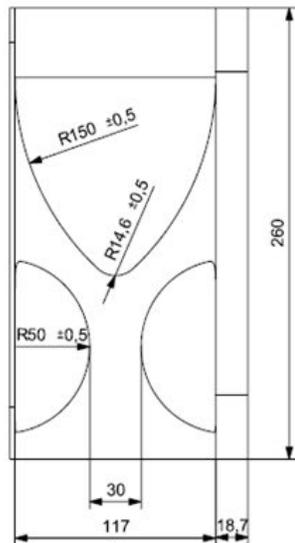
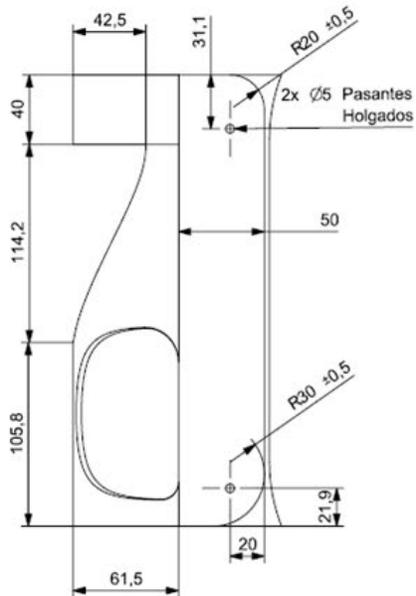
Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica Departamento de Ingeniería Mecatrónica Exoesqueleto de Cadera y Rodilla	Rev:A	Escala: 1:2
	Fecha:05-02-15	Acot: mm
	Dibujó: MMLJ y CARL	Cantidad:1
	Título:	Material:
	Soporte femoral izquierdo	PAPIIT IT102014 Fibra de carbono
 	A3	Dib. No. : EXO-ROD-505



Fibra de carbono de 3 mm

Tolerancia lineal general de ± 0.5 mm

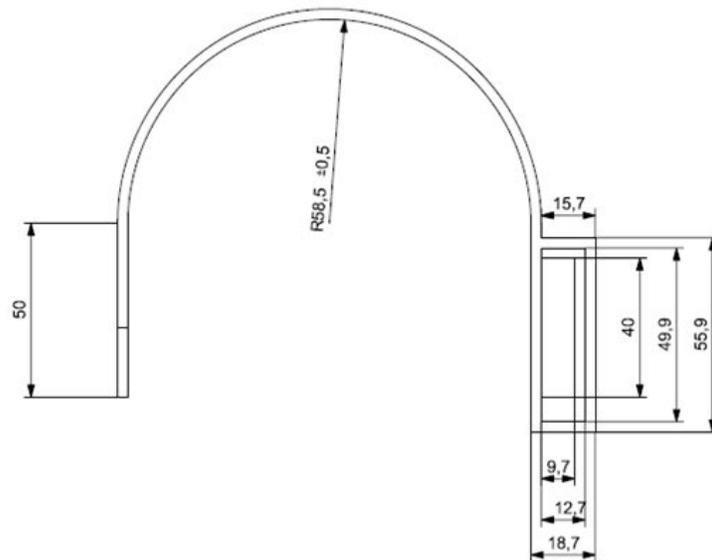
Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica Departamento de Ingeniería Mecatrónica Exoesqueleto de Cadera y Rodilla	Rev:A	Escala: 1:1
	Fecha:05-02-15	Acot: mm
	Dibujó: MMLJ y CARL	Cantidad:1
Título: Soporte femoral izquierdo	Revisó:SCC	Material:
	PAPIIT IT102014	Fibra de carbono
	 A3	Dib. No. : EXO-ROD-506



Fibra de carbono de 3 mm

Tolerancia lineal general de ± 0.5 mm

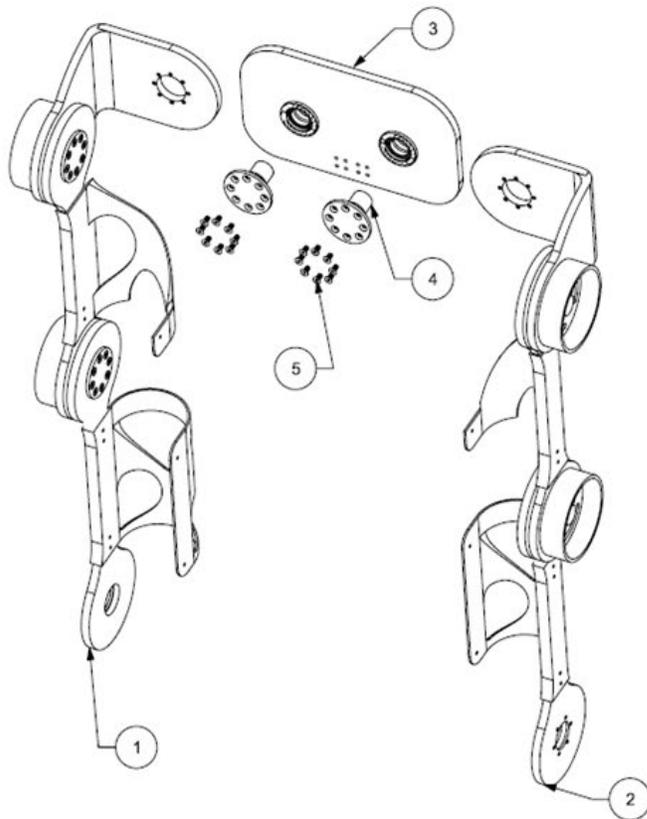
Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica Departamento de Ingeniería Mecatrónica Exoesqueleto de Cadera y Rodilla	Rev:A	Escala: 1:2
	Fecha:05-02-15	Acot: mm
	Dibujó: MMLJ y CARL	Cantidad:1
 Título: Soporte tibial izquierdo	Revisó:SCC	Material:
	PAPIIT IT102014	Fibra de carbono
  A3	Dib. No. : EXO-ROD-509	



Fibra de carbono de 3 mm

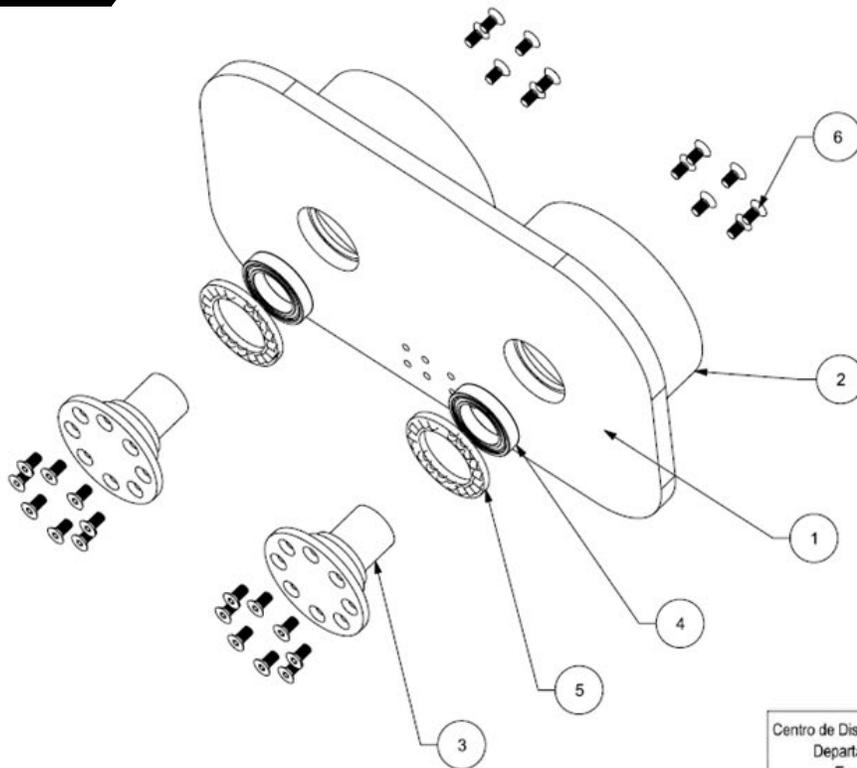
Tolerancia lineal general de ± 0.5 mm

Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica Departamento de Ingeniería Mecatrónica Exoesqueleto de Cadera y Rodilla	Rev:A	Escala: 1:1
	Fecha:05-02-15	Acot: mm
	Dibujó: MMLJ y CARL	Cantidad:1
 Título: Soporte tibial izquierdo	Revisó:SCC	Material: Fibra de carbono
	 A3	Dib, No. : EXO-ROD-510



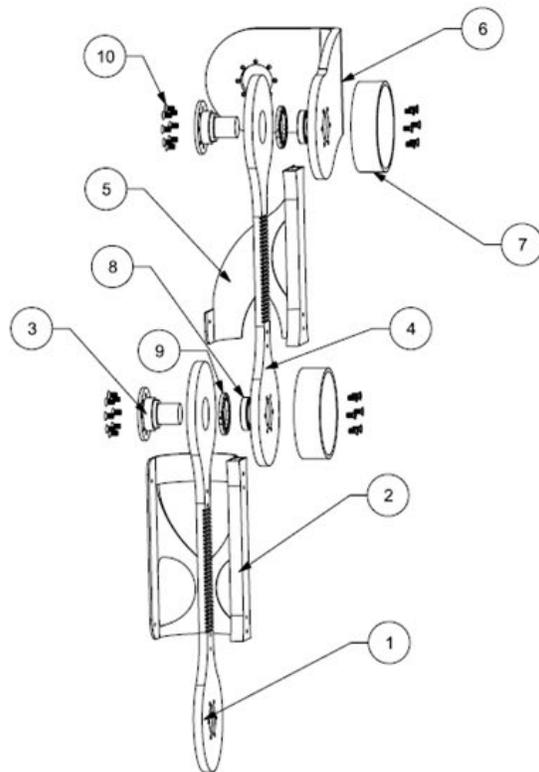
5	Tornillos Allen de cabeza plana	M6X1.0X12	16
4	Eje	EXO-CAD-501	2
3	Subensamble central	EXO-ASM-501	1
2	Subensamble izquierdo	EXO-ASM-503	1
1	Subensamble derecho	EXO-ASM-502	1
N°	Descripción	Referencia	Cantidad

Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica Departamento de Ingeniería Mecatrónica Exoesqueleto de Cadera y Rodilla	Rev:A	Escala: 1:5
	Fecha:05-02-15	Acot: mm
	Dibujó: MMLJ y CARL	Cantidad: 1
	Título: Ensamble general del exoesqueleto	Material: Aluminio 6061-T6
	  A3	Dib. No. : EXO-ASM-500



6	Tornillos Allen de cabeza plana	M6x1.0x12	-	28
5	Rodamiento axial	SKF K 81108 TN	-	2
4	Rodamiento radial	SKF 6109 2RS1	-	2
3	Eje	EXO-CAD-501	Aluminio 6061-T6	2
2	Tapa	CRIS-GOM	-	2
1	Cadera conexión central	EXO-CAD-504	Aluminio 6061-T6	1
Nº	Descripción	Referencia	Material	Cantidad

Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica Departamento de Ingeniería Mecatrónica Exoesqueleto de Cadera y Rodilla	Rev:A	Escala: 1:2
	Fecha:05-02-15	Acot: mm
	Dibujó: MMLJ y CARL	Cantidad: 1
	Título: Subensamble central	Revisó:SCC PAPIIT IT102014
		Material: Aluminio 6061-T6
Dib. No. : EXO-ASM-501		

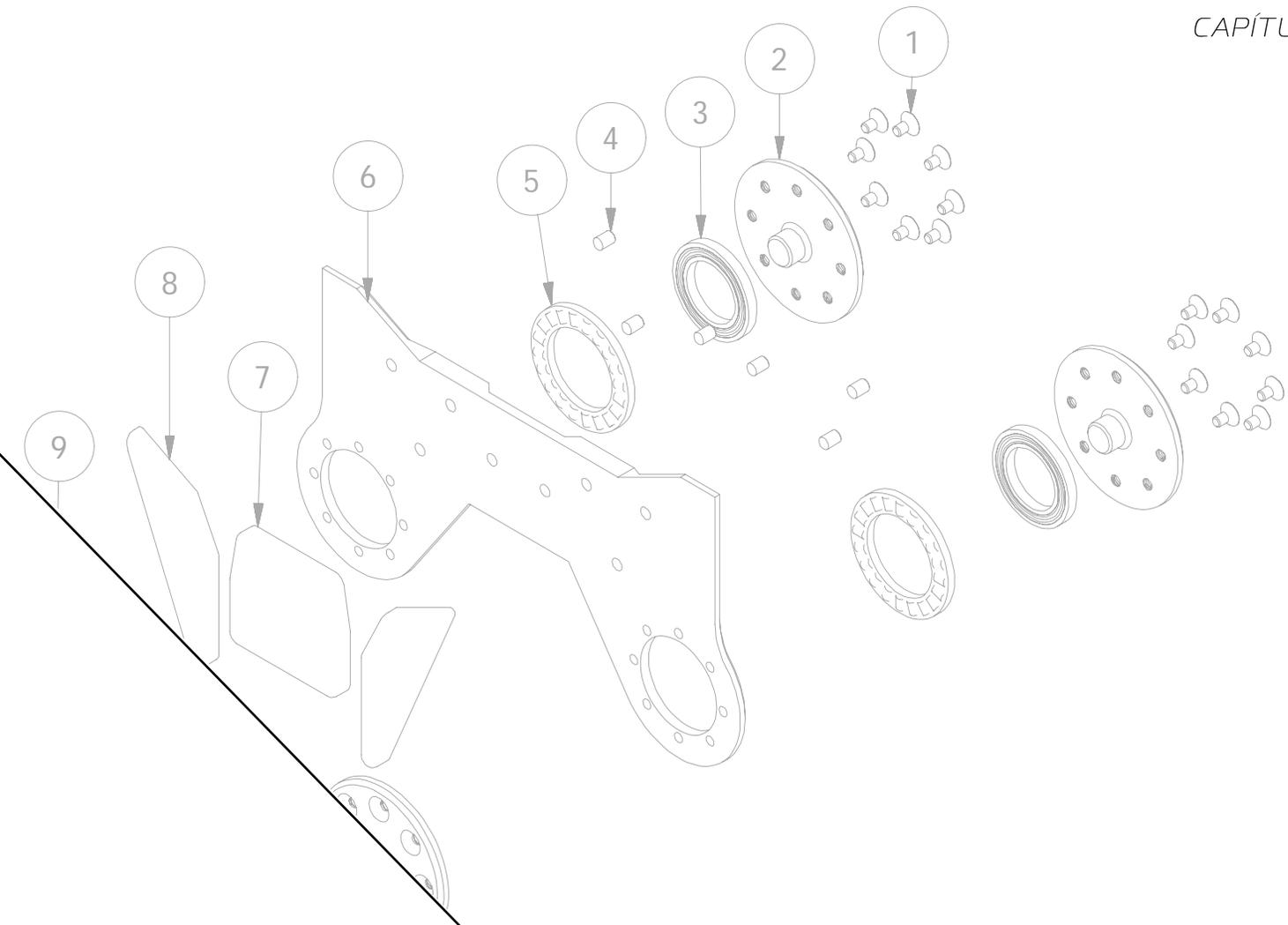


10	Tomillos allen de cabeza plana	M6x1.0x12	-	28
9	Rodamiento axial	SKF K 81108 TN	-	2
8	Rodamiento radial	SKF 6109 2RS1	-	2
7	Tapa	CRIS-GOM	-	2
6	Cadera conexión izquierda	EXO-CAD-502	Aluminio 6061 T6	1
5	Soporte femoral izquierdo	EXO-ROD-505	Fibra de carbono	1
4	Eslabón femoral izquierdo	EXO-ROD-501	Aluminio 6061 T6	1
3	Eje	EXO-CAD-501	Aluminio 6061 T6	2
2	Soporte tibial izquierda	EXO-ROD-509	Fibra de carbono	1
1	Eslabón tibial izquierdo	EXO-ROD-503	Aluminio 6061 T6	1
N°	Descripción	Referencia	Material	Cantidad

Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica Departamento de Ingeniería Mecatrónica Exoesqueleto de Cadera y Rodilla	Rev:A	Escala: 1:5	
	Fecha:05-02-15	Acot: mm	
	Dibujó: MMLJ y CARL	Cantidad:1	
	Título: Subensamble izquierdo	Revisó:SCC	Material:
		PAPIIT IT102014	Aluminio 6061-T6
	A3	Dib. No. : EXO-ASM-503	

ANEXOS 2

Planos Etapa 2



SEGUIMIENTO AL PROYECTO UNAM-PAPIIT

Se presentan los 68 planos realizados para la Etapa 2 donde se excluyen 25 planos que se omitieron debido a la existencia de su contraparte donde se representa la misma pieza en espejo.

A continuación se muestra la nomenclatura empleada para distinguir las diferentes piezas usadas en Lenus.

1G	eneral		EXO-500
2C	haleco		EXO-510
3	Correa vertical	MIRE	XO-511
4	Acojinado vertical	MIRE	XO-512
5C	orrea pechoE		XO-513
6A	cojinado pechoE		XO-514
7C	orrea abdomenE		XO-515
8A	cojinado abdomenE		XO-516
9E	spalda int estruc hombro	MIRE	XO-517
10	Espalda int estruc cuello		EXO-518
11	Espalda int estruc centroE		XO-519
12	Chaleco textil general		EXO-520
13	Espalda int estruc cervicalE		XO-521
14	Espalda int estruc cervical nombre		EXO-521N
15	Espalda int estruc coxis		EXO-522
16	Espalda int acojinado centro	MIRE	XO-523
17	Espalda int acojinado hombro	MIRE	XO-524
18	Espalda int acojinado cuello		EXO-525
19	Espalda int acojinado cervical		EXO-526
20	Espalda ext estruc		EXO-527
21	Espalda ext fibra		EXO-528
22	Tornillo		EXO-529
23	Espalda int Gral		EXO-530
24	Espalda exterior		EXO-531
25	Piston General		EXO-540
26	Tapa pistonM	IR	EXO-541
27	Piston		EXO-542
28	Soporte pistón		EXO-543
29	Tornillo pistón		EXO-544
30	Tornillo soporteE		XO-545

31	Cadera general		EXO-550
32	Cadera estrucE		XO-551
33	Cadera fibra		EXO-552
34	Cadera acojinado centroE		XO-553
35	Cadera acojinado	MIRE	XO-554
36	Tornillo		EXO-555
37	Lateral cadera		EXO-556
38	Piernas generalE		XO-560
39	Muslo estruc	MIRE	XO-561
40	Muslo acojinado 1M	IR	EXO-562
41	Muslo fibra	MIRE	XO-563
42	Muslo acojinado 2M	IR	EXO-564
43	Correa muslo sup		EXO-565
44	Acojinado muslo supM	IR	EXO-566
45	Correa muslo inf		EXO-567
46	Acojinado muslo infM	IR	EXO-568
47	Gemelos estruc	MIRE	XO-569
48	Vinil LENUS 2E		XO-573
49	Gemelos acojinado 1	MIRE	XO-574
50	Gemelos acojinado 2	MIRE	XO-575
51	Gemelos CorreaE		XO-576
52	Eje ensamble		EXO-578
53	Gemelos fibra	MIRE	XO-579

54	Pie generalE		XO-580
55	Pie correa		EXO-581
56	Pie acojinadoM	IR	EXO-582
57	Pie estruc	MIRE	XO-583
58	Pie fibra	MIRE	XO-584
59	Talon acolchadoM	IR	EXO-585
60	Pie suelaM	IR	EXO-586
61	Broche E		XO-590
62	Hembra		EXO-591
63	MachoE		XO-592
64	Hule		EXO-593
65	Tornillo		EXO-594
66	Iman		EXO-595
67	EJE ensamble		EXO-600
68	Eje externoE		XO-601
69	Eje internoE		XO-602
70	Rodamiento axial		EXO-603
71	Rodamiento radiale		XO-604
72	Tornillo		EXO-605
73	Vinil BVCL		EXO-610
74	Vinil GHRE		XO-611
75	Vinil LENUS		EXO-612
76	Hebilla		EXO-613

ANEXO 3

Glosario



Alteración vascular

Cambio en la forma como fluye la sangre a través de los vasos sanguíneos del cuerpo.

Aluminio 6061

Aluminio endurecido que contiene como principales elementos aluminio, magnesio y silicio

American Spinal Injury Association (ASIA)

Principal organización norteamericana en el campo de lesiones en la médula espinal ofreciendo cuidado, educación e investigación

CAD

Diseño asistido por computadora (Computer assisted Design)

Cardiovascular

Referente al corazón y a los vasos sanguíneos

Cervicales

Referente a la zona ósea en el área de transición entre el cráneo, el tronco y extremidades superiores

Enfermedad de Lou Gehrig (Esclerosis lateral amiotrófica)

Enfermedad degenerativa de tipo neuromuscular. Originada con la disminución de funcionamiento y muerte de células del sistema nervioso, provocando una parálisis muscular progresiva.

Esclerosis múltiple

Enfermedad crónica producida por la degeneración de las vainas de mielina de las fibras nerviosas, que ocasiona trastornos sensoriales y del control muscular.

Exoesqueleto

Una dura capa externa que cubre, soporta, y protege el cuerpo de un animal invertebrado, como un insecto o un crustáceo.

Fisiológicos

Dicese de asuntos que imperen al cuerpo humano.

Fuerza muscular

Capacidad del músculo o conjunto de músculos de ejercer fuerza para lograr la mayor resistencia con un solo esfuerzo.

Es la capacidad de generar tensión intramuscular ante una resistencia, independientemente de que se genere o no movimiento.

Función motora

Respuesta a los estímulos a través de un movimiento muscular, una secreción de una glándula, etc.

Función respiratoria

Desplazamiento de volúmenes de aire desde la atmósfera a los pulmones y viceversa.

Función sensorial

Capacidad de percibir estímulos internos y externos.

Función sexual

Actividad relacionada con los órganos, glándulas y hormonas sexuales.

Intestino neurógeno

Condición que causa la pérdida de la función intestinal después de sufrir una lesión en la médula espinal.

Lesión medular

Alteración de la médula espinal que puede provocar una pérdida de sensibilidad y/o de movilidad.

Médula espinal

Cordón blanquecino localizado en el canal vertebral, encargada de llevar impulsos nerviosos a los 31 pares de nervios raquídeos, comunicando el encéfalo con el cuerpo.

Nervio

Haz de tejido conductor, que pone en relación el cerebro y la médula espinal con las distintas partes del cuerpo y tiene como función transmitir los impulsos sensoriales y motores.

Nivel neurológico

Segmento de la Médula Espinal donde residen las funciones sensitiva y motora.

Plano coronal

Plano vertical que divide el cuerpo en ventral y dorsal.

Propiocepción

Capacidad de sentir la posición relativa de partes corporales contiguas.

Rehabilitación

Conjunto de técnicas y métodos que sirven para recuperar una función o actividad del cuerpo que ha disminuido o se ha perdido a causa de un accidente o enfermedad.

Segmentos sacros

Grupo de cinco nervios espinales que surgen del hueso sacro, y constituyen el segmento más bajo de la médula espinal.

Sensibilidad termoalgésica

Vía que lleva los impulsos desde el exterior relacionados con la temperatura y el dolor hacia la corteza cerebral.

Simulador

Objeto que simula características del producto final con el fin de realizar pruebas a varios sujetos.

Termorregulación

Capacidad de un organismo biológico para modificar su temperatura dentro de ciertos límites.

Torque

La tendencia de una fuerza para girar un objeto alrededor de un eje.

Traje

Referente a exoesqueletos.

Vejiga neurógena

pérdida de la función normal de la vejiga a causa de un daño parcial en el sistema nervioso. El daño puede hacer que la vejiga presente una menor actividad, en cuyo caso no podrá contraerse y vaciarse por completo, o que presente una mayor actividad, en cuyo caso se contrae con demasiada rapidez o frecuencia.

ANEXO 4

Bibliografía y Referencias

http://



BIBLIOGRAFÍA

Tesis

Ing. Gayol Mérida, Diana Alicia. "Protocolo de Tesis Maestría en Ingeniería de Calidad".

Universidad Iberoamericana, Ciudad de México, 2004.

Soto Treviño, Sofía. "Apoyo Auxiliar para Marchas Patológicas",

Tesis de Licenciatura Diseño Industrial.

Universidad Nacional Autónoma de México, CIDI, 2009.

Pérez Macial, Francisco, "Diseño, Análisis y Modelado Cinemático de un Exoesqueleto Pasivo de Extremidad Inferior con Propósito de Rehabilitación", Tesis de Licenciatura Ingeniería Mecatrónica,

Universidad de las Américas Puebla, 2011.

Luna Estrada, César Abraham, "Optimización estructural evolutiva de un exoesqueleto de miembros pelvicos".

Tesis de Licenciatura de Ingeniería Mecánica.

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 2016.

Páginas Web

<http://www.exoesqueleto.com.es/iquestcoacutemo-funciona-un-exoesqueleto.html>

<http://www.grabcad.com>

Películas

"Emboscada a Matt Helm", Henry Levin, 1967, Columbia Pictures.

"Aliens", James Cameron, 1986, 20th Century Fox.

"Iron Man", Jon Favreau, 2008, Marvel Studios.

"Elysium", Neill Blomkamp, 2013, TriStar Pictures.

"Edge of Tomorrow", Doug Liman, 2014, Warner Bros. Pictures.

Imágenes

En orden de aparición:

<https://www.emaze.com/@ALCZLLQI/DERMATOMAS-Y-MIOTOMAS>

<http://rewalk.com/>

<https://espanol.kaiserpermanente.org/static/health-encyclopedia/es-us/kb/zm24/42/zm2442.shtml>

<https://www.artstation.com/artwork/yoxQ5>

http://www.robotictrends.com/article/ekso_bionics_gt_exoskeleton

<http://www.kurzweilai.net/lockheed-martin-test-next-generation-design-of-its-robotic-exoskeleton>

<http://www.cyberdyne.jp>

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/7/76/Exosquad_comic_cover.jpg

<http://www.juice.ph/buhaypinoy/features/the-clique-of-clicks-jamie-bautista-of-nautilus-graphic-and-visual-designs>

<http://s795.photobucket.com/user/Moerges1/media/TheAmbushers7.png.html>

<http://media.gizmodo.co.uk/wp-content/uploads/2015/02/aliens-power-loader.png>

<http://www.leblogducinema.com/news/box-office-analyse-du-14-au-20-aout-2013-en-france-30545>

<http://www.cyathlon.ethz.ch/die-disziplinen.html>

<http://www.cyathlon.ethz.ch/>

<https://humanoides.fr/cyathlon-les-premieres-olympiades-pour-athletes-bioniques-en-2016/>

http://exoskeletonreport.com/wp-content/uploads/2015/09/cyathlon_Swiss_Arena_in_Kloten_Practice.jpg

<http://rewalk.com/category/press-releases/>

<http://www.gaceta.unam.mx/>

<http://www.gaceta.unam.mx/>

UNAM-DGCS boletín 400

