

# UTN – LA PLATA

DTO. INGENIERIA MECANICA

Practica Supervisada



*Estudio de pre factibilidad de exoesqueleto robótico  
para asistir discapacidad y su rehabilitación*

Alumno: Paulina Raíz

Docente Tutor: Gustavo Labianca

AÑO 2019



## INDICE

INTRODUCCION .....	5
MARCO DE REFERENCIA .....	6
Definiciones y aplicación.....	6
CUERPO CENTRAL.....	8
Diagnóstico de la situación actual .....	8
Estudio de mercado .....	8
Recopilación de información .....	9
EXO H-2 por Technaid (España) .....	9
REX por REXbionics (Australia).....	12
Rewalk (Estados Unidos).....	15
HAL Hybrid Assistive Limb por Cyberdyne (Japón) .....	17
Análisis de la oferta y demanda .....	24
Análisis de los precios .....	24
Estudio técnico/tecnológico .....	26
Ingeniería de proyecto .....	26
Localización .....	26
Estudio socio económico .....	28
Estudio financiero o administrativo.....	29
CONCLUSION .....	30
Vinculación del proyecto con las materias de la carrera.....	31
LECCIONES APRENDIDAS Y RECOMENDACIONES.....	32
ANEXOS.....	38
Transmisión Harmonic Drive (engranaje armónico).....	38

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 EXO H-2 .....	10
Figura 2 Estructura montada sobre un usuario .....	11
Figura 3. Exoesqueleto fabricado por REX Bionics .....	13
Figura 4. Rehabilitación con REX .....	14
Figura 5. Estructura de los exoesqueletos propuestos por ReWalk .....	16
Figura 6. exoesqueleto montado sobre un usuario. ....	17
Figura 7. Exoesqueleto HAL .....	19
Figura 8. Interface.....	20
Figura 9. Desempeño.....	21
Figura 10 EKSONR por EKSOBionics.....	23
Figura 11 Diseño mecánico pierna. Elaboración propia.....	33
Figura 12 Diseño mecánico piernas. Elaboración propia. ....	33
Figura 13 Componentes engrnaje Harmonic Drive .....	39

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Precios.....	25
Tabla 2 Método cualitativo por puntos .....	27
Tabla 3 Puntaje .....	30

## INTRODUCCION

A través de este proyecto se busca estudiar y analizar la posibilidad de introducir en el mercado un exoesqueleto robótico capaz de asistir una discapacidad física motriz de los miembros inferiores. Se buscará proporcionar la suficiente información para cumplir con dicho objetivo y evaluar si el proyecto es rentable económicamente y tecnológicamente posible. Por otro lado, se buscará la mejor opción en materia de diseños, confort y utilidades o funciones de exoesqueletos existentes y en relación al costo – calidad del producto. En base a datos oficiales más recientes se obtendrá información precisa acerca de las discapacidades que afectan a la población argentina.

El presente informe, entonces consiste en un análisis preliminar de la idea de un proyecto, a fin de verificar su viabilidad. Se compone de una estructura fija con datos y documentos que involucran:

- Diagnóstico de la situación actual
- Estudio de mercado
- Estudio técnico/tecnológico
- Estudio socio económico
- Estudio financiero

Para cumplir con el objetivo y los datos requeridos, y comprender mejor el tema que se abordará, el informe contará con un marco teórico el cual nos sitúa en las bases y el inicio del proyecto.

Con este estudio se busca evaluar de forma concreta un proyecto y considerando los resultados, podrá evaluarse si pasará a la siguiente etapa (etapa de factibilidad), que concluirá si el proyecto puede llevarse a cabo. El propósito en esta etapa de pre factibilidad, es entonces, limitar las variables con la posibilidad de rechazar el proceso en cualquier momento.

## **MARCO DE REFERENCIA**

### **Definiciones y aplicación**

El uso de robots para rehabilitar, aporta herramientas y beneficios no sólo a investigadores sino también a pacientes y cuerpo médico. Colabora con el avance de las terapias y técnicas utilizadas y también con el desempeño y evolución de los pacientes. Es un hecho para destacar que el uso de robots puede llegar a tener efectos a nivel neuronal y funcional que permitan una recuperación parcial o total causada por una lesión y de esta forma mejorar la calidad de vida.

Un exoesqueleto robot es un armazón metálico externo o traje, que ayuda al portador a moverse y realizar cierto tipo de actividades, como puede ser cargar peso. Durante su funcionamiento, una serie de sensores biométricos detectan las señales nerviosas que el cerebro envía a los músculos de las extremidades cuando se comienza a andar. La unidad de procesamiento del exoesqueleto responde entonces a estas señales, las procesa y hace actuar a dicho dispositivo en una fracción de segundo a través de motores colocados en zonas estratégicas para lograr la mayor estabilidad posible.

Un exoesqueleto robótico tiene varias áreas de aplicación, se utilizan para asistir funciones como cargar pesos extras sin esfuerzos adicionales en el área militar; actualmente en el campo de la medicina, ya sea de forma particular o en centros, para tratar casos de reducción de la movilidad severos donde incluso las discapacidades son completamente inhabilitantes de la parte inferior del cuerpo, como paraplejía; y en industrias son utilizados para cuidar los movimientos y las funciones del personal, ya que los esfuerzos suelen ser repetitivos y desgastantes en ciertas partes, como las rodillas.

La robótica debido a su funcionamiento armónico y de bajo impacto al efectuar una tarea resulta una gran herramienta y es capaz de adaptarse mediante programación y software a los requerimientos que se especifican. También es destacable que, gracias a los avances tecnológicos, los diseños son cada vez más simples y las estructuras cada vez más complejas en el sentido de que permiten trabajar con materiales, sujeciones y

anclajes mas ergonómicos y, por lo tanto, un diseño mucho más fluido y que se acopla al cuerpo del usuario con mayor facilidad.

## **CUERPO CENTRAL**

### **Diagnóstico de la situación actual**

Según estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) más de mil millones de personas viven en todo el mundo con alguna forma de discapacidad, de las que casi 200 millones experimentan dificultades considerables en su funcionamiento. Es por ello que la comunidad científica y médica trabajan en conjunto en búsqueda de opciones que mejoren su calidad de vida.

En Argentina actualmente estas tecnologías todavía no son implementadas en casi ningún centro y menos pensado resulta adquirirlo de forma particular. El único lugar que cuenta con un equipo de locomoción asistida y aun así no es una tecnología explotada al máximo, es FLENI (fundación para la lucha contra las enfermedades neurológicas de la infancia). Por lo que la idea del proyecto es importar un producto e insertarlo en el mercado a través de un centro de rehabilitación, ya que fabricar un dispositivo o importarlo para uso personal que esté a la altura de los exoesqueletos existentes en la actualidad resulta inviable.

### **Estudio de mercado**

El objetivo de este estudio es encontrar una forma de mejorar un servicio y renovar la tecnología que se puede encontrar en nuestro país, y en este caso en particular, buscar la posibilidad de introducir otro dispositivo en algún centro de rehabilitación de similares características y servicios ofrecidos, al que puedan acceder muchas personas y realizar una rehabilitación con un exoesqueleto robótico.

## **Recopilación de información**

### **EXO H-2 por Technaid (España)**

El Exo-H2 puede emular completamente el acto de andar de una persona con parálisis total o parcial de las piernas. De esta forma está indicado para asistir en la marcha a personas que han perdido parcialmente la capacidad de andar o para aquellas personas que requieran “volver a aprender a andar” después de un accidente o enfermedad neurológica. Es también útil para tonificar las piernas y activar la circulación en personas que han perdido movilidad de las piernas o tienen debilidad muscular.

Este equipo posee una arquitectura abierta, lo que significa que el usuario (terapeuta, profesor o investigador) puede modificar los parámetros de control del sistema para ajustarlo a las necesidades del paciente.

En cuanto a las características constructivas, este dispositivo está construido en acero inoxidable y aluminio del tipo 7005. Con un peso aproximado de 11 Kg. El tiempo de trabajo es de hasta 6 horas. Por último, posee sensores de posición y en las articulaciones y seis motores distribuidos en caderas, rodillas y tobillos. Seis transmisiones de tipo armónico (Harmonic Drive<sup>1</sup>).

En conclusión, este exoesqueleto tiene como ventajas que puede ser utilizado y manipulado por un usuario sin conocimientos de robótica ni mecánica, presenta una gran autonomía y la sustitución de las baterías es relativamente sencilla, se deberá invertir en baterías adicionales dependiendo el uso que se le dará.

En la Figura 1 se muestra la estructura del exoesqueleto fabricado por Technaid en la que se puede ver dónde se ubican los motores y el sistema de agarre. En la Figura 2 puede apreciarse el dispositivo en funcionamiento.

---

<sup>1</sup> Funcionamiento y montaje adjunto como anexo.



*Figura 1 EXO H-2*



*Figura 2 Estructura montada sobre un usuario*

## **REX por REXbionics (Australia)**

Está diseñado para personas con dificultades en la movilidad, hasta las más severas disfuncionalidades, REX ofrece la posibilidad de su uso para mejorar la marcha o para rehabilitar diferentes casos.

Respecto a la construcción este equipo cuenta con un armazón de fibra de carbono en la pelvis que brinda la resistencia y rigidez para soportar el peso del dispositivo y un usuario de hasta 100 kg. Posee un sistema ajustable a diferentes alturas y largo de piernas permitiendo una perfecta alineación de las articulaciones del usuario. Este sistema es fácil y rápidamente ajustable al paciente. Provisto de arneses en la zona abdominal para proporcionar estabilidad y buen agarre del usuario para mayor comodidad y seguridad. El sistema para afirmar las piernas está diseñado con fibra de carbono y correas que se atan para sostener firmemente las piernas sin generar puntos de presión y con relleno de espuma extraíbles, lo que permiten fácil mantenimiento y evita posibles centros de desarrollo de infecciones.

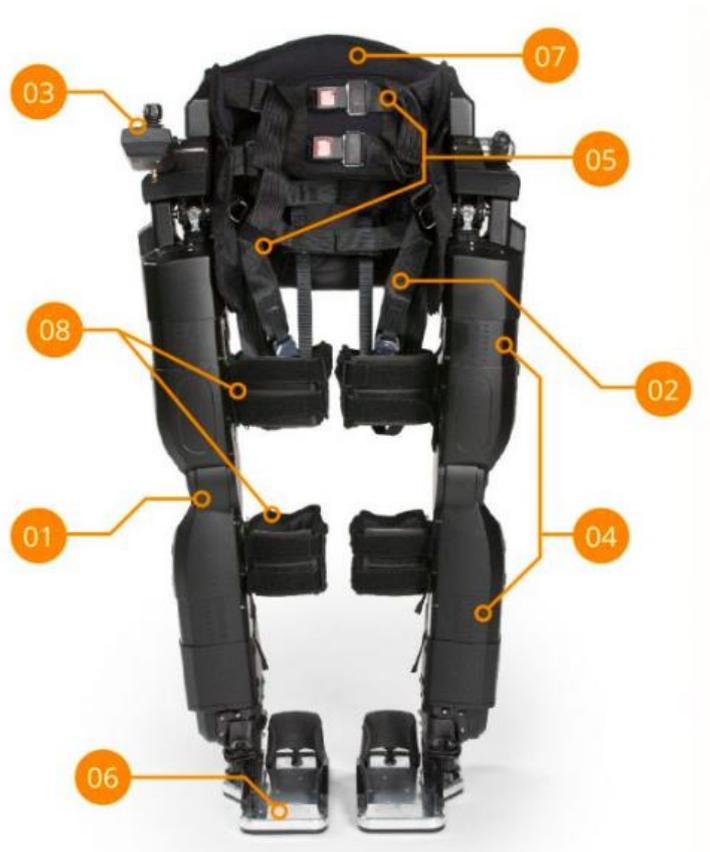
En cuanto a las características constructivas funciona con baterías recargables e intercambiables de polímero de litio (29.6 V, 16.5Ah) con carga para 60 minutos de uso normal. La marcha es generada por diez motores que proporcionan la energía para mover el dispositivo. Equipado con 27 microprocesadores integrados que forman el núcleo de control del movimiento, para generar un andar personalizado brindando estabilidad en todas las fases del ciclo de la marcha.

Este sistema presenta como ventajas que no es necesario utilizar bastones para sostenerse, sino que el equipo se encarga de sostenerse por sí solo más el usuario, permitiendo de esta forma mover libremente manos, brazos, y hombros. Además, en cuestiones de construcción está bien desarrollada la estabilidad y comodidad con buenos sistemas de agarre que brindan mayor seguridad en el momento de su utilización. Adicionalmente se destaca como una gran característica que puede ser operado a través de un joystick fácilmente por el usuario.

Como desventajas se puede ver la poca autonomía que posee, aunque el reemplazo de baterías sea muy sencillo. Por otro lado, este equipo no cuenta con electro estimulación para colaborar con el desarrollo de los músculos y la memoria muscular.

En la Figura 3 se muestra el equipo y los números representan las características previamente mencionadas:

- 1- Motores en línea que proporcionan el movimiento y soportan el peso.
- 2- Estructura de fibra de carbono.
- 3- Mando a través del cual el usuario puede operar el equipo.
- 4- Sistemas ajustables a las medidas del usuario.
- 5- Arnese de seguridad.
- 6- Apoya pies.
- 7- Alojamiento de las baterías.
- 8- Cintas de agarre.



*Figura 3. Exoesqueleto fabricado por REX Bionics*

En la Figura 4 se muestra el equipo en funcionamiento con un usuario realizando una rehabilitación en un centro médico, y se aprecia cómo el exoesqueleto sostiene a la persona mientras ésta puede utilizar sus brazos y tronco para realizar un ejercicio.



*Figura 4. Rehabilitación con REX*

## **Rewalk (Estados Unidos)**

Este exoesqueleto asiste a personas con daño en la medula espinal en actividades como pararse, caminar, girar y subir y bajar escaleras. Este sistema brinda independencia y generando un movimiento que imita al normal desempeño de las piernas. Está disponible en su versión para uso doméstico y en la versión para rehabilitación en centros especiales.

El ReWalk Personal, que puede ser utilizado en casa, se adapta al usuario y la forma de utilizarlo, optimizando la seguridad, las funciones y la alineación de las articulaciones.

El equipo utiliza baterías que se cargan en la espalda como una mochila y posee motores en caderas y rodillas para controlar los movimientos. Basa su funcionamiento en la regulación del centro de gravedad realizando pequeñas modificaciones mientras que una inclinación hacia adelante de la parte superior del cuerpo es detectada por el sistema, que inicia el primer paso. Es así capaz de imitar el movimiento natural de las piernas generando una secuencia de marcha.

El sistema ReWalk para rehabilitación está diseñado para su uso en clínicas donde pueden realizarse ejercicios y terapias valiosas para una recuperación luego de un accidente, por ejemplo. Además, es posible entrenar a los pacientes para utilizar su propio dispositivo. Está diseñado para usarlo todo el día, el sistema es liviano y posee motores en las caderas y rodillas, este dispositivo controla los movimientos haciendo sutiles cambios en el centro de gravedad.

Los cambios de posición repetidos generan una secuencia de pasos que imita una marcha natural funcional de las piernas. Se puede personalizar para proporcionar un ajuste óptimo para cada persona. La interfaz gráfica de usuario permite a los terapeutas ingresar una amplia gama de parámetros para un individuo y cambiarlos a medida que progresan en su entrenamiento.

Se lleva a cabo un programa integral de Estándares de capacitación para enseñar a los miembros del equipo de rehabilitación sobre las habilidades necesarias para utilizar la tecnología de manera segura y cómoda.

En conclusión, estos equipos parecen muy versátiles ya que al poseer dos versiones del mismo se puede adaptar perfectamente al uso que se pretende dar. Para destacar se puede mencionar que el movimiento se inicia por sensores estratégicamente colocados de tal forma que detectan los pequeños movimientos y los traduce en una marcha. Como inconveniente ante esta forma de desempeño se destaca que los movimientos realizados por el usuario deben ser controlados y no pueden ser involuntarios ya que esto puede codificarse de forma errónea. Posee una interface de sencilla interpretación y es remarcable también el hecho de que sea liviano.



*(a) ReWalk personal*



*(b) ReWalk para rehabilitación*

*Figura 5. Estructura de los exoesqueletos propuestos por ReWalk*

En la Figura 5 se representan ambas estructuras de los robots, el ReWalk personal (a) y ReWalk para rehabilitación (b). En la Figura 6 se lo ve en funcionamiento.



*Figura 6. exoesqueleto montado sobre un usuario.*

## **HAL Hybrid Assistive Limb por Cyberdyne (Japón)**

Este es un dispositivo mucho más complejo del que resultan muchos puntos para destacar ya que incorpora tecnología que no se había mencionado en los anteriores modelos, que son sensores biométricos.

Cuando el usuario tiene la intención de mover su cuerpo, el cerebro transmite señales a los músculos, gracias a este equipo las señales se filtran en la superficie de la piel como señales bioeléctricas ("BES"). Los sensores de HAL unidos a la superficie de la piel son capaces de detectar BES, realizando el movimiento previsto por el usuario.

Incluso para el portador con dificultades para mover sus extremidades inferiores debido a accidentes o enfermedades, el entrenamiento repetido basado en BES reforzará la conexión neuromuscular y, en consecuencia, se puede esperar el mantenimiento y la mejora de las funciones corporales.

Posee una interface sencilla para su utilización e interacción con el equipo. Andar, parar y cambiar la asistencia, son algunas funciones que puede realizar este exoesqueleto, y así dependiendo de la intención o solicitud, cualquier parámetro puede ser modificado fácilmente gracias a esta interface.

Este sistema es flexible para ajustarse a la contextura del usuario, no solo al largo de las piernas sino también al área de caderas, pelvis y pies. Pesa en torno a los 23Kg (soportados por el mismo traje) y tiene una autonomía aproximada de 2 horas y 40 min.

Un sistema monitorea gráficamente el estado del usuario, conectados a una interfaz de control en tiempo real y un operador puede identificar sencillamente el estado funcional de la persona mientras utiliza el equipo. También el usuario puede obtener una devolución de progreso en el plan de entrenamiento.

Este exoesqueleto presenta una forma de trabajar mucho más compleja y se puede decir que su funcionamiento es integral favoreciendo el desarrollo de la memoria muscular y

las funciones a nivel neurológico ya que además de la estructura del exoesqueleto está equipado con sensores neuro eléctricos para generar las señales bioeléctricas. Lo que resulta interesante para desarrollar es que compensa la postura de todo el cuerpo y es controlado por una interface muy intuitiva y fácil de manejar por personal especializado. Este equipo no es de uso doméstico y no puede adquirirse de forma personal, pero sí puede adquirirse para clínicas y centros de rehabilitación.

A continuación, en las Figuras 7 (a), (b), 8 y 9 se muestra la estructura del exoesqueleto, el sistema de interacción previamente mencionado y como se puede ver el desempeño del usuario.



*Figura 7. Exoesqueleto HAL*

*a) Estructura*



*b) Estructura*



*Figura 8. Interface*

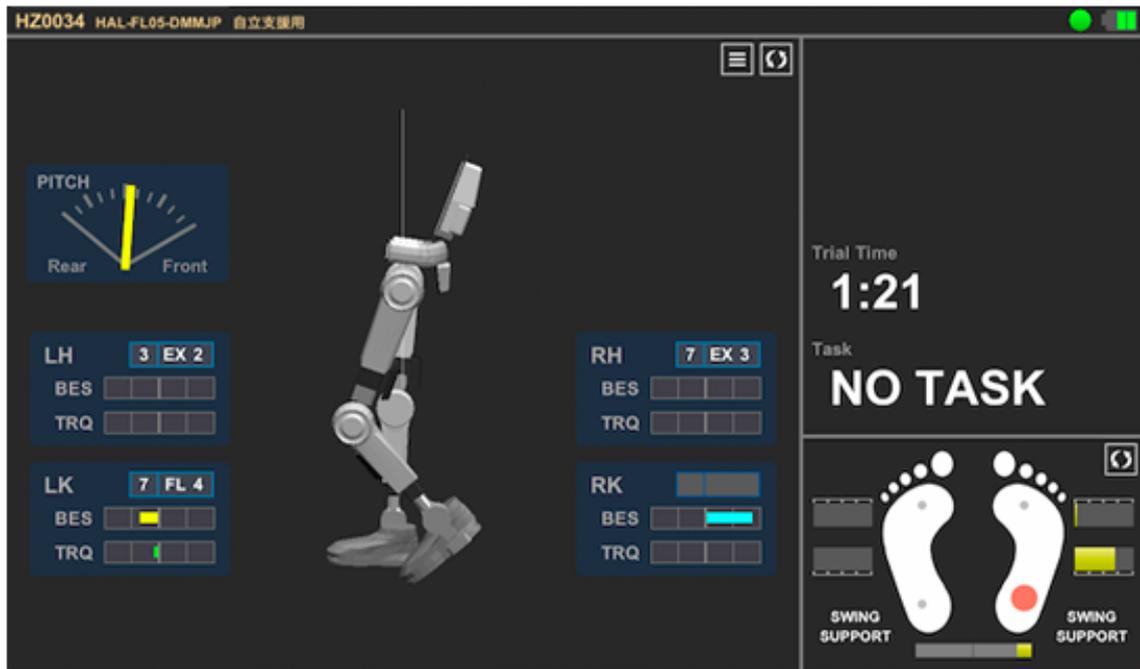


Figura 9. Desempeño

## **EKSONR NeuroRehab para pacientes por EKSOBionics (Estados Unidos)**

El EksoNR está diseñado para ayudar a pacientes que se están recuperando de un accidente cerebrovascular u otras afecciones a aprender a caminar de nuevo con una marcha más natural.

La evidencia clínica sugiere que el entrenamiento de la marcha en Ekso mejora el equilibrio funcional, además muestra que incluir el entrenamiento de la marcha durante la rehabilitación mejora la velocidad de la marcha del paciente fuera del dispositivo.

Este exoesqueleto ayuda a los fisioterapeutas y pacientes a aprovechar al máximo las sesiones de rehabilitación. Consta de un controlador de pantalla táctil que permite a los terapeutas adaptar la asistencia para desafiar a los pacientes mediante la retroalimentación en tiempo real y realizar medidas de resultado durante el uso. Esta interface proporciona la visualización de varios ejercicios más allá del entrenamiento de la marcha.

EKSONR cuenta con un software, SmartAssist, que permite que el dispositivo tenga una ruta de marcha más suave y natural al realizar la transición entre los pasos. También proporciona información sobre la simetría de la marcha y la postura, y permite a los terapeutas realizar un seguimiento del progreso del paciente con una solución analítica basada en la nube. También cuenta con un sistema que usa datos de rehabilitación para generar métricas y gráficos para que los terapeutas y equipo médico supervisen el progreso y los resultados del paciente.

Como ventaja, este dispositivo es una herramienta de neuro-rehabilitación completa, efectiva e intuitiva. Permite cargar datos de avance y manipularlos con facilidad por terapeutas. Este exoesqueleto incluye dos juegos de baterías recargables que permiten un uso constante. Este equipo resulta ser muy completo y a un precio intermedio de lo que ofrece el mercado.

En la figura 10 se puede ver la última versión de EKSONR en detalle.



*Figura 10 EKSONR por EKSOBionics*

## **Análisis de la oferta y demanda**

En nuestro país existen muchos dispositivos que brindan alguna ayuda para acompañar discapacidades, pero la producción nacional es muy poca y suelen ser investigaciones o proyectos que luego se quedan sin futuro, en referencia a producción. Por otra parte, también cabe destacar, que no son equipos de la envergadura de un exoesqueleto robótico completo. Por lo tanto, en el mercado nacional no existen equipos como los mencionados previamente. Estas empresas fabricantes de exoesqueletos (algunas se dedican exclusivamente a esto), proponen equipos muy desarrollados y que tienen años de investigación y pruebas, y mejoran constantemente sus características en relación a la duración de las baterías, diseños ergonómicos, materiales o interfaces cada vez más intuitivas que pueden ser manipuladas hasta por los propios usuarios.

Por otra parte, en el mercado nacional no existe competencia, ya que no hay equipos fabricados en nuestro país y esto no implica una amenaza para fabricantes o desarrolladores. Por tal motivo se analiza la oferta de equipos desarrollados en el extranjero en función de las características y prestaciones que brindan.

En cuanto a la demanda luego de analizada la situación actual, se observa que solo un lugar ofrece este servicio y no es una tecnología muy difundida, por ende, no mucha gente accede a ella. En adición a esta problemática resalta que se dispone de un sólo aparato de estas características para beneficiar o ayudar al total de población que lo necesita y representen potenciales consumidores del equipo y la terapia.

## **Análisis de los precios**

En relación a los precios, se detallan los de los equipos previamente mencionados y que se encuentran en el mercado actualmente. Los precios serán representados de forma internacional, ya que se trata de una importación, por lo tanto, los productos estarán cotizados en dólares estadounidenses.

Precios aproximados de los exoesqueletos			
Nombre del equipo	Fabricante	Origen	Precio U\$D
EXO H-2	Technaid	España	100000 aproximadamente
REX	REXBionics	Australia	210000 aproximadamente
ReWalk	ReWalk Robotics	Estados Unidos	Entre 70000 y 85000
HAL (Hybrid assitive Limb)	Cyberdyne	Japón	60 sesiones por 24000
EKSONR	EKSOBionics	Estados Unidos	120000 aproximadamente

*Tabla 1 Precios*

## **Estudio técnico/tecnológico**

Los objetivos de este análisis técnico y operativo son:

- Verificar la posibilidad técnica de la fabricación del producto que se pretende
- Analizar y determinar la localización, instalaciones y organización.

## **Ingeniería de proyecto**

En esta sección, se evaluarán las posibilidades de fabricar el producto en nuestro país. Como ya se ha mencionado en otro apartado, la fabricación y desarrollo local resulta inviable y no representa una competencia contra los diseños e investigaciones que pueden verse de empresas extranjeras. Por otra parte, implicaría un costo muy elevado, ya que muchas de las piezas que se requieren, como por ejemplo los motores específicos que se utilizan, una importación directa, lo cual implica un presupuesto para investigación, desarrollo e innovación que supera ampliamente los costos de importación de un equipo terminado y ya disponible en el mercado extranjero. Por tales motivos se opta por traer el producto del exterior en lugar de fabricarlo en el país.

## **Localización**

En la localización se evaluará dónde puede ser instalado y utilizado el equipo en base a los centros de consumo más importantes y concentración de población potencial usuaria del dispositivo, evaluando también centros de rehabilitación más relevantes. Como ser Centro Ciner en Palermo, provincia de Buenos Aires, IMAR en La Plata, provincia de Buenos Aires y por último centro INAREPS, en la ciudad de Mar del Plata, provincia de Buenos Aires.

Para evaluar y seleccionar la localización del producto se utilizará el método cualitativo por puntos.

	Peso asignado	Centro Ciner		IMAR		INAREPS	
		C	CP	C	CP	C	CP
Centro de consumo	0,20	8	1,6	7	1,4	6	1,2
Potenciales usuarios	0,15	7	1,05	8	1,2	8	1,2
Renombre	0,05	9	0,45	8	0,4	7	0,35
Respaldo económico	0,25	8	2	8	2	9	2,25
Disponibilidad para recibir pacientes ambulatorios	0,15	9	1,35	8	1,2	9	1,35
Permeable a distintas disciplinas	0,05	10	0,5	9	0,45	8	0,4
Adaptación del proyecto	0,10	4	0,4	6	0,6	5	0,5
Trabajo flexible en relación a formas de pago, etc.	0,05	2	0,1	6	0,3	8	0,4
SUMA	1,00	7,45		7,55		7,65	

*Tabla 2 Método cualitativo por puntos*

La tabla anterior se realizó en base a una lista de factores relevantes, luego se le asignó un peso que depende del criterio del investigador. Posteriormente, se calificó cada factor en función de una escala del 1 al 10, con esta calificación (C) y el peso asignado se obtuvo una calificación ponderada (CP) producto de éstas. Por último, se suman las calificaciones ponderadas y se obtienen los puntajes.

En este caso, INAREPS en Mar del Plata obtuvo el mayor puntaje, por lo que será elegido como centro capaz de llevar a cabo la importación y brindar el tratamiento correspondiente.

## **Estudio socio económico**

En esta sección se pretende hacer una identificación preliminar de los posibles conflictos que genera el proyecto en sus diferentes alternativas de ejecución, enfatizando en sus beneficios inmediatos. Entonces, en esta parte además de intentar profundizar en el conocimiento de las principales actividades económicas de la zona de influencia del proyecto y de sus rasgos socioculturales más sobresalientes, se debe estudiar la infraestructura física y social existente. Todo ello con el fin de poder determinar la posible incidencia del proyecto en las condiciones existentes.

Por otra parte, en base a estadísticas oficiales del INDEC del censo 2010 y tendencias para 2020 se obtienen datos concretos de porcentajes de la población con alguna discapacidad o, aunque sea una dificultad motora. En 2010 sobre un total de 40117096 habitantes, 1929458 personas presentan alguna dificultad motora en los miembros inferiores lo que representa casi un 5% de la población. Analizando el crecimiento demográfico y las tendencias de 2019-2020 con una cantidad estimada de 44.938.712 habitantes total sobre la cual se proyecta aproximadamente un 6% (en base a las mismas consideraciones del censo 2010, ya que en 2020 cambiará la metodología de evaluación y preguntas).

En conclusión, partiendo del dato de 6% de los habitantes, sería bueno incorporar un dispositivo al mercado para brindar calidad de vida, una forma de rehabilitación distinta, moderna, intuitiva y además generar nuevas experiencias. Mar del Plata es una de las ciudades más pobladas de Buenos Aires con aproximadamente 860000 habitantes y a nivel país, de las más promocionadas en relación al turismo y con la posibilidad de albergar una gran cantidad de personas. El centro INAREPS, además, gracias a las posibilidades que tienen con las tarifas, pago flexible y lo más importante, convenio con obras sociales puede facilitar el acceso a quien quiera realizar una terapia de estas características.

## **Estudio financiero o administrativo**

Este estudio muestra los elementos administrativos tales como la planeación estratégica que defina el rumbo y las acciones a realizar para alcanzar los objetivos de la empresa, por otra parte, se definen otras herramientas como el organigrama y la planeación de los recursos humanos con la finalidad de proponer un perfil adecuado y seguir en la alineación del logro de las metas empresariales.

Según las políticas actuales, para la importación de equipamiento, productos médicos o mercadería, productos para la rehabilitación, tratamiento y capacitación de personas con discapacidad, si se verifica que no se fabrica en el país, puede tramitarse por Aduana la exención del pago de todos los impuestos.

Por lo que entonces, al importarlo se lo hará al precio pautado de comercialización sin agregados al valor final, sin trabas arancelarias ni impuestos de entrada al país. Los cuales se detallaron en el análisis de los precios. De esta forma, queda abierta la importación a través de un hospital o centro de rehabilitación integral que lo desee, tenga el acceso y respaldo económico para hacerlo.

## CONCLUSION

Se hará entonces una ponderación de los dispositivos desarrollados en la investigación para calificar y obtener un puntaje, respecto a las características constructivas, diseño, etc.

	Autonomía	Interacción	Manejo*	Construcción**	Ergonomía	Precio	Valoración
EXO H-2	4	2	3	2	2	3	16
REX	1	2	3	2	4	1	13
ReWalk	3	3	3	3	3	4	19
HAL (Hybrid assitive limb)	2	4	2	4	3	2	17
EKSONR	3	4	4	3	3	3	20
1 - Regular							
2 - Bueno							
3 - Muy Bueno							
4 - Excelente							
* uso con arneses, bastones							
** materiales, peso, diseño							

*Tabla 3 Puntaje*

Lo mejor sería en base a este estudio, que sea un equipo no para adquirir en forma particular, sino en algún centro médico o de rehabilitación con cierto prestigio y ubicado estratégicamente cerca en lo posible de un gran centro de consumo para facilitar el acceso a la mayor cantidad de usuarios posible.

Considerando el cuadro anterior el exoesqueleto con mayor puntaje es el EKSONR desarrollado por EKSOBionics Estados Unidos. El centro INAREPS es una institución que depende del estado por lo que sería la encargada directa de realizar los trámites de importación necesarios.

## **Vinculación del proyecto con las materias de la carrera**

Respecto a las materias vinculadas con el informe, se destacan principalmente las materias Economía, inglés e informática presentes en la estructura del análisis de pre factibilidad.

Las materias Materiales Metálicos, Diseño Mecánico y Elementos de Máquinas para el estudio de materiales y vinculación de los mismos en la investigación.

Electrotecnia y Maquinas eléctricas, Electrónica y Sistemas de control, y, Automatización industrial, para comprender el funcionamiento de los equipos.

Estabilidad I y II, Física y Mecánica Racional en la comprensión de los desplazamientos, velocidades, aceleraciones y modificaciones en el centro de gravedad y baricentros.

Fundamentos de informática para el manejo básico de programas CAD.

## **LECCIONES APRENDIDAS Y RECOMENDACIONES**

Durante el estudio y la investigación para llevar a cabo el análisis, se estudió la posibilidad de fabricación de un equipo, en el cual se utilizó el criterio personal para el modelado del mismo, selección de componentes y diseño.

A mi criterio un exoesqueleto robótico, en base a lo aprendido debe contar con un diseño ergonómico y debe ser de fácil uso, englobando la seguridad del usuario considerando también que el dispositivo sea versátil y de sencilla colocación.

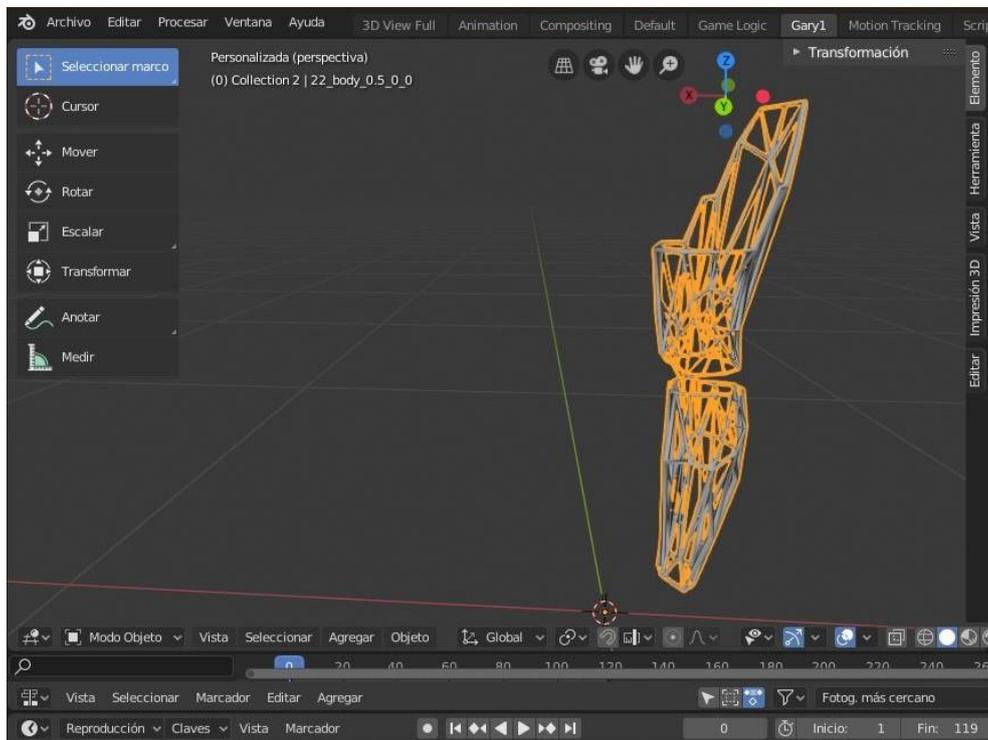
### **Diseño mecánico**

Para la parte del diseño mecánico, se contemplará la estructura general del equipo, materiales y acoplamientos como parte del diseño final. En cuestión de material, la mejor opción por sus propiedades de resistencia mecánicas, a la corrosión y en relación al peso, que es una de las características más importantes que se busca, es el aluminio serie 7000 el cual es una aleación de Aluminio con Zinc entre un 1% y 8%. Esta aleación permite muy buenas características constructivas.

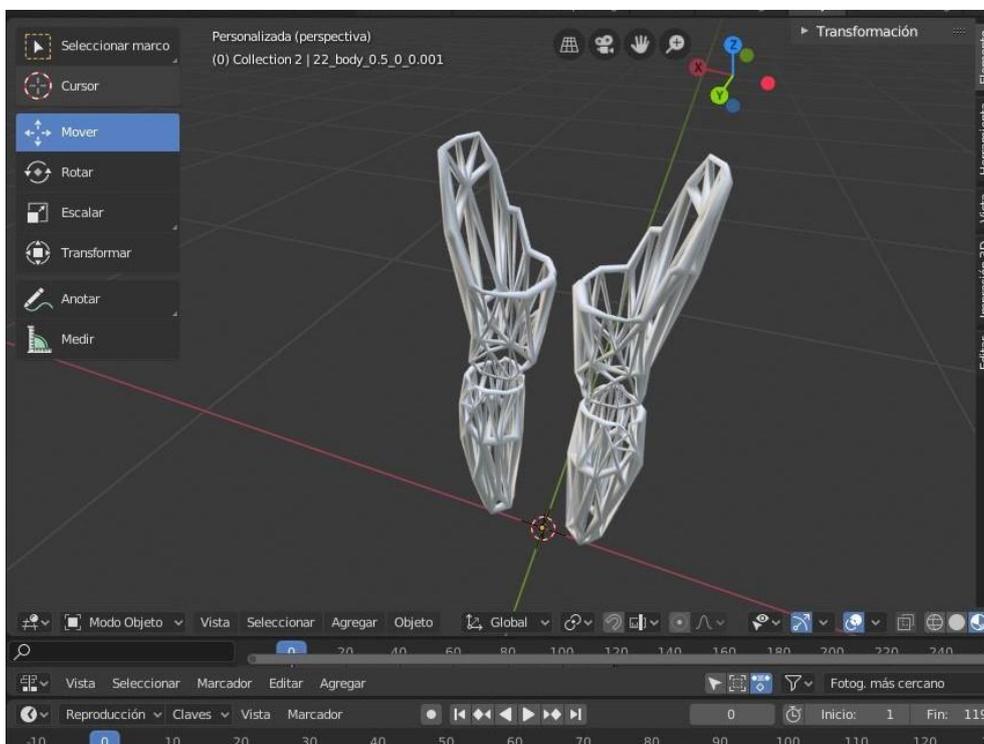
La estructura que sostiene las piernas son elementos planos y curvados para que se adapten mejor a la forma de las extremidades. Por otro lado, contiene un diseño "calado" para reducir el peso y la cantidad de material utilizado. Los agarres serán de fibra de carbono, realizados con impresión 3D, siguiendo el diseño de las placas de aluminio con un sistema de enganche sencillo para facilitar la postura del traje. En los pies cuenta con una placa rígida articulada en la zona de la planta del pie que se adapta al movimiento de este. También, el dispositivo incluye las cajas que alojan los motores y las baterías.

Por último, en la parte de la cadera y sobre la espalda una plancha de aluminio que continúa el diseño abraza al cuerpo para lograr la estabilidad y seguridad del usuario. Esto generaría la adaptabilidad a la contextura física buscada y además cumpliría la función de estímulo externo propioceptivo, lo cual representa un gran inconveniente en las enfermedades neurodegenerativas. De esta manera se consigue el diseño ergonómico que se menciona anteriormente.

En las figuras siguientes, se muestra una idea del diseño mecánico, realizado con el programa Blender 3D.



*Figura 11 Diseño mecánico pierna. Elaboración propia.*



*Figura 12 Diseño mecánico piernas. Elaboración propia.*

## Componentes

En esta sección se realizará la selección de los actuadores y baterías dependiendo de las solicitudes, en base a los componentes más utilizados en este tipo de equipos y recomendaciones de los fabricantes de estos productos.

Los exoesqueletos comúnmente usan motores miniatura con productos adicionales, como cajas de engranajes para lograr un alto par y codificadores para retroalimentación posicional. Cuando se usa en combinación un servomotor con una caja de engranajes, permite: el incremento del par motor, reducción de la velocidad del motor y balanceo de la inercia del motor contra la de la carga.

Para la elección de los motores, se hará en base a una investigación destacada en la bibliografía [14] la cual arroja valores concretos en función del análisis completo de la marcha adoptando características promedio. Por lo tanto, se utilizarán 6 motores Rdrive distribuidos en cadera, rodillas y tobillos. Estos motores, fabricados por Rozum Robotics, ya están combinados para funcionar juntos y no requieren procedimientos de diseño e integración, lo que reduce los costos de ingeniería. Además, este producto se trata de un "all in one" que en su carcasa incluye un codificador, un controlador, un engranaje armónico y un motor de CA, que deberá contar con un transformador de corriente para CC.

Para la cadera y tobillos se utilizarán cuatro RDrive50 cuyo par máximo es 28 Nm y la potencia de 65 W, mientras que para las rodillas se seleccionaron dos RDrive85 cuyo par máximo es de 157 Nm y una potencia de 450 W. La tabla de especificaciones se adjunta en la bibliografía [17]

Con respecto a las baterías, elegiría baterías LiFePO<sub>4</sub> de la firma RELION ya que presentan muchas ventajas. Son esencialmente baterías recargables, que no necesitan mantenimiento, no hay peligros por sobrecargas, tienen entre 2000 y 3000 ciclos al 100% de descarga, con muy baja auto descarga, son muy adecuadas para cargas rápidas y pueden instalarse en cualquier orientación. La marca RELION ofrece muchas opciones en relación a pesos, tamaños y precios.

## **Sistema de control**

El exoesqueleto, contará con las funciones de sentarse, pararse, caminar y un modo seguro en el cual los parámetros se vuelven a cero. Esto significa, a una posición segura por si ocurre un desplazamiento indeseado o un movimiento involuntario que supera los límites seteados. También estará equipado con sensores que detectan permanentemente la posición del centro de gravedad lo que permitirá compensar los desbalances. Estos sensores serán giróscopos, acelerómetros y un sensor de señales electromiográficas el cuál capta el desempeño de los músculos para compensar las fuerzas. Por último, contará con un sistema de estimulación muscular a través de electrodos, los cuales también favorecerán el desarrollo de la memoria muscular.

El sistema de control en sí, será llevado a cabo a través de un controlador PID que permite trabajar con varios grados de libertad, éstos tienen tres parámetros que son la ganancia proporcional, ganancia derivativa y ganancia integral, y su comportamiento depende de las magnitudes relativas de estos tres parámetros.

También, deberá contar con una interface sencilla e intuitiva que permita ser comprendida y operada por el propio usuario o un terapeuta. Sería muy importante que el exoesqueleto sea gobernado por el paciente, y realice las actividades que éste le indique.

Finalmente, en lo personal me gustaría añadir un sistema de regulación de la fuerza que permita modificar los parámetros para poder realizar una rehabilitación y que no sea el exoesqueleto el que soporte todo el peso del cuerpo, sino que la persona pueda regularlo para ejercitarse. Es decir, que el usuario pueda realizar un esfuerzo progresivo, a medida que se incrementa la masa muscular.

En conclusión, se toma el concepto de arquitectura abierta, para que pueda ser operado directamente por el usuario y el concepto del joystick para manejarlo. En relación a la ergonomía, la combinación de materiales para reducir costos y peso. Por último, el sistema de señales electromiográficas y como agregado un sistema de electro estimulación muscular. Es decir, que se tomaría lo mejor de cada equipo para lograr los mejores beneficios.

## BIBLIOGRAFIA

1. Oscar Rodríguez (2012). Pre factibilidad, factibilidad y viabilidad. Diseño de proyectos. Disponible en: <https://es.slideshare.net/>
2. GABRIEL BACA URBINA (2010) Sexta edición. Evaluación de proyectos. Miguel Ángel Toledo Castellano, México, D.F.
3. Exoesqueleto mecánico (2011) [en línea] Disponible en: [https://www.ecured.cu/Exoesqueleto\\_mec%C3%A1nico](https://www.ecured.cu/Exoesqueleto_mec%C3%A1nico) [Última fecha de acceso: 13 de febrero de 2018]
4. Technaid (2004-2019) Company of technological base of the Bioengineering Group of the National Research Council of Spain (CSIC). Exoeskeleton EXO H2. Disponible en: <https://www.technaid.com/es/productos/robotic-exoskeleton/>
5. HARMONIC DRIVE SYSTEMS INC (1997-2018) all right reserved. Precise motion control with its unique mechanism. Sitio web: <http://www.hds.co.jp/english/products/lineup/hd/>
6. REX Bionics Disponible en: <https://www.rexbionics.com>
7. ReWalk Robotics. Innovative medical device company. ReWalk™ devices. Sitio web: <https://rewalk.com/about-products-2/> y en: <https://rewalk.com/rewalk-rehabilitation/>
8. CYBERDYNE, INC. (2004) Research and Development of equipments and systems. Disponible en: <https://www.cyberdyne.jp/english/products/fl05.html>
9. EKSO BIONICS. (2011-2019). Disponible en: <https://eksobionics.com/company/about-us/>

10. FLENI (2019) Locomoción asistida para pacientes.  
<https://www.fleni.org.ar/especialidades/rehabilitacion/adultos/>
11. JG Gómez. Guía para la elaboración de estudios socioeconómicos de proyectos de interés público. Colombia.
12. Políticas de importación. Disponible en  
<https://www.argentina.gob.ar/produccion/importar>
13. Estadísticas oficiales. Disponible en:  
<https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel3-Tema-4-32>
14. KATSUSHIKO OGATA (2010). “Análisis de la respuesta transitoria y estacionaria” y “Controladores PID y controladores PID modificados”. En ingeniería de control moderna. PEARSON educación S.A. Madrid, España.
15. BASILIO NIKOLAS TAMBURRINO CABRERA. (2017) Diseño y construcción de una pierna exoesquelética para la asistencia de la marcha. Universidad de Chile. Facultad de ciencias físicas y matemáticas, departamento de ingeniería mecánica – Chile.
16. CALLE ARÉVALO, LUIS ALFREDO. VIDAL DÁVILA, JUAN CARLOS. (2017) Propuesta de un modelo mecánico y análisis cinemático de un exoesqueleto de seis grados de libertad para personas con daño en la medula espinal. Universidad Politécnica Salesiana – Ecuador. Unidad de posgrados.
17. Rozum Robotics (2019) Productos. Disponible en:  
<https://rozum.com/servomotors/>

## **ANEXOS**

### **Transmisión Harmonic Drive (engranaje armónico)**

La transmisión con Harmonic Drive se basa en el principio de engranaje de onda de tensión, el cual utiliza un principio de operación que se basa en la mecánica elástica de los metales. Los mayores beneficios son las características de cero retroceso y el ahorro de peso y espacio en comparación con otros engranajes ya que este mecanismo cuenta con tan solo tres componentes básicos, que son un generador de ondas, Flexspline y Circular Spline.

El generador de ondas consta de un cojinete de bolas de carrera delgado especialmente diseñado que se monta en un cubo elíptico. Esto sirve como un convertidor de par de alta eficiencia y se utiliza como entrada del engranaje y se conecta al eje del motor.

El Flexspline es una copa cilíndrica delgada hecha de acero aleado con dientes externos en el extremo abierto de la copa. El Flexspline es radialmente compatible pero torsionalmente es muy rígido. Cuando se inserta el generador de ondas en el Flexspline, el engranaje adquiere su forma elíptica. El Flexspline se utiliza como salida y está conectado a la brida de salida.

El Circular Spline es un anillo rígido con dientes internos. Cuando se ensambla el engranaje, engancha los dientes de Flexspline a través del eje mayor de la elipse del generador de ondas. El Circular Spline tiene dos dientes más que el Flexspline y está fijado a la carcasa del engranaje.

El Flexspline es un poco más pequeño en diámetro y tiene dos dientes menos que el Circular Spline. La forma elíptica del Generador de Ondas hace que los dientes de Flexspline se engranen con la Circular Spline en dos regiones opuestas a lo largo del eje mayor de la elipse. Por cada 180 grados de rotación en el sentido de las agujas del reloj del Generador de Onda, los dientes del Flexspline avanzan en sentido contrario a las agujas del reloj con un diente en relación con la Circular Spline. Cada rotación completa en el sentido de las agujas del reloj del generador de ondas hace que el Flexspline se mueva en el sentido contrario a las agujas del reloj por dos dientes desde su posición original con respecto a la Circular Spline. Debido a que los dientes de los engranajes

siempre están completamente acoplados en una región a lo largo del eje mayor, estos engranajes tienen cero retroceso.

En los conjuntos de componentes tipo copa, la parte inferior de Flexspline (lado de salida) está restringida a un círculo, mientras que la parte superior de Flexspline tiene forma elíptica. Esto hace que los dientes del engranaje de Flexspline se abran un poco hacia afuera. A esto se le llama ángulo de conos y sirve para precargar los dientes de engranaje de Flexspline y Circular Spline. Esta precarga garantiza un rendimiento de holgura cero durante la vida útil del engranaje. Debido a que no existe una reacción real en el engranaje. La precarga en el engranaje asegura que se mantendrá estable durante su vida útil.

En la figura se observa el montaje de los elementos. En la Figura se ilustran los componentes (a) Generador de ondas, (b) Flexspline, (c) Circular Spline.



Figura 13 Componentes engranaje Harmonic Drive

(a) Generador de ondas (elíptico)

(b) Flexspline

(c) Circular Spline