



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

## **DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA PRÓTESIS PARA UN NIÑO CON AMELIA CONGÉNITA (AUSENCIA DE MIEMBROS PÉLVICOS)**

TESIS  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECÁNICO  
(MÓDULO BIOMÉDICO)

PRESENTA:

EPIFANIO VARGAS ALCARAZ

DIRECTOR DE TESIS:  
Dr. ADRIÁN ESPINOSA BAUTISTA



CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO D.F., Diciembre, 2006



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.

## *Agradecimientos*

Agradezco a mis padres Maria E. Alcaraz G. y Arnulfo Vargas L. por la posibilidad que me han dado de estar en este momento, en este instante por la educación y valores que me han inculcado. A mis hermanos que se esfuercen en llegar a ser mejores que yo. A Jesús Emiliano V. A. “puedes ser lo que quieras”.

A la gloriosa institución que me formó como ingeniero y persona: La Facultad de Ingeniería de La Universidad Nacional Autónoma de México.

A todos los profesores con los que tome clase y sobre todo a los que aún conservo como entrañables amigos, espero que por mucho tiempo, Adrián E. B., Antonio Z. Mariano G. y a todo el personal del Centro de Diseño y Manufactura en sus diferentes áreas de Diseño, Materiales, Manufactura. A la Dra. Cristina León. por sus consejos y apoyo.

*A Carlos y a su familia por tenernos fe y paciencia para la realización de este proyecto. A todas las instituciones y personas que apoyaron a la realización de actividades relacionadas con este proyecto para Carlos y su familia: la DGADyR a la Lic. Cristina Desentis P., Dr. Raúl Contreras, al Técnico en Órtesis y Prótesis Alberto Castillo.*

Tengo un profundo agradecimiento a mis amigos que he conocido en la Universidad que han sido los mejores en lo que llevo de vida tanto a los que me encontré desde la primera vez que pisé la Facultad como los que tengo ahora. Quisiera nombrarlos en un cierto orden cronológico para que no haya ni suspicacias ni reproches posteriores: Tigre (Fco. Xavier) Roberto Mario, Omar, Ulises, J. Cesar (Tex), Pepe, Tomás, Genio (Jorge Fernando), Will (Leonardo), Octavio y familia (Diana), Moy y familia (Paty) y su mejor amigo Kata (Octavio), Palencia Guadaña (Manuel S. G.) y familia (Caro, Chago y demás prole), Hugo (S. M.), Adolfo (Fürher), Alfredo (Campeón), Tovermars (Sergio), Pete (P. Flores) Faisales, Pachón (Noe J.), Ricky (Jonatan Roba-vacas), Víctor (calabasat 1) y carnal (R), Alejandro (rabino), Karina, Burra (José L.), Toñito (José A.) y familia, Miguel (Play M.) y familia (Martha), Ponchito (A.) Heidi y familia (hermana Jaz.), D. Luigi (L), Rutila (Ruth) y familia, Harry (Aldo), Daniel, Eric (Chente) y familia (Gaby), H. Cabadas, Carlos F. (torito), Alberto C. (güero), Esther.

A las gloriosas instituciones que me abrieron las puertas y pertenecí Cancerveros D. J. y la S.A. de C.V. de E.C. A Multidisciplina Aplicada por ayudarme a saber que no soy, pero más importante que puedo ser (Martha y David).

De los mecánicos Rodrigo E.R.R., Jimy (Jorge), Rafael V., Oscar G. A., Oscar (in), Joan R., Paco, Abraham, Bogart, Hector, Oscar, Chizquis, Deivid, Dr. Victor, Dr. Armando e hijos, Efra, Gabo, Lalo (Eduardo G.), Isrra, etc.

De Ruso a la Profa. Svetlana Dougar Jabon, a los compañeros desde el primer nivel Mónica, Alejandra, Gabriela y posteriores Nadia, Karla, Liliana, Susana, Andrea, Omar, Arturo (K), etc.

A la nva. Banda de empresarios Rene (Ranas), Pachón (Rogelio), Mario (F), Iván (Poza), Robin, Chuchos y anexos.

A los que he molestado durante el desarrollo de esta tesis Anita (secretaria del área de diseño, CDM) al equipo de prótesis de Dr. Dorador: Adriana, Itzel, Anita, Jana, Liseth Farah, Edith, Jorge, Ing. Lalo. Que laboran con el Dr. Borja en especial a Juan que me apoyó con sus ideas y conocimientos durante el desarrollo de la última parte de la tesis. Rene, Pantro (Irving), Santo.

En especial dedico esta tesis al Amigo que se fue, al recién fallecido: *Hugo Flores Mondragón*†, por la gran amistad que nos unió en vida y ahora solo es espiritual, sin embargo ya que a el no le alcanzó la vida para llegar hasta este punto en el que me encuentro ahora, quiero que su Madre y familia sepan que lo lograría de haber tenido tiempo y tal vez sería mejor que muchos que desperdiciamos la vida.

### ***Reflexión***

*“Yo me quejaba de no tener zapatos hasta que encontré a alguien que no tenía pies”*

# Índice

<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>Antecedentes</b>	<b>3</b>
Clasificación de discapacidades	3
Justificación del caso	4
Definición de la enfermedad	6
Propósitos del diseño y objetivo	7
<b>Capítulo 1 El Método</b>	<b>9</b>
1.1 Análisis del problema	4
1.2 Especificación del problema	5
1.3 QFD	7
1.4 Diseño conceptual	8
1.5 Matriz morfológica	9
1.6 Selección de la solución	9
1.7 Diseño de detalle	10
1.8 Análisis de resultados y conclusión	11
1.9 Proceso general de rehabilitación	12
<b>Capítulo 2 Especificación del problema</b>	<b>20</b>
2.1 Análisis del problema	20
2.2 Definición del los requerimiento de diseño	22
2.2.1 Clasificación cualitativa de los requerimientos de diseño	23
2.2.2 Ponderación de los requerimientos de diseño mediante “La casa de la calidad, <i>QFD</i> ”	24
2.3 Definición de las especificaciones de diseño	26
2.3.1 Ponderación de las especificaciones de diseño mediante “La casa de la calidad, <i>QFD</i> ”	28
2.3.2 Contradicciones entre especificaciones de diseño	31
<b>Capítulo 3 Diseño conceptual</b>	<b>34</b>
3.1 Análisis funcional	34
3.1.1 Planteamiento funcional	34
3.1.2 Árbol funcional	35
3.1.3 Definición de las funciones	36
3.2 Generación de las opciones de diseño	37
3.2.1 Soluciones existentes	37
3.2.2 Análisis morfológico	38
3.3 Evaluación de las opciones de solución	39

	Índice
<b>Capítulo 4 Diseño conceptual detallado</b>	<b>42</b>
4.1 Diseño detallado del concepto de sistema sujetador al cuerpo (S)	42
4.2 Diseño detallado del concepto de subsistema Acoplamiento Sujetador-Extensión (A-S-E)	46
4.3 Diseño detallado del concepto de sistema Extensión (E)	49
4.4 Diseño detallado del concepto de subsistema Acoplamiento Extensión-Contacto al piso (A-E-C)	50
4.5 Diseño detallado del concepto de sistema Contacto al piso (C)	50
<b>Análisis de resultados y conclusiones</b>	<b>52</b>
Análisis de resultados	52
Conclusiones	53
Trabajo a futuro	54
<b>Apéndice 1 apéndice antecedentes</b>	<b>55</b>
A1.1 Definición de la enfermedad	56
A1.2 Causas de la enfermedad	56
A1.3 Tipos de displasias	62
<b>Apéndice 2 Matrices de decisión</b>	<b>64-68</b>
<b>Apéndice 3 Planos de diseño</b>	<b>69-90</b>
<b>Apéndice 4 Planos de ensamble</b>	<b>91-96</b>
<b>Referencias y Bibliografía</b>	<b>97</b>

## INTRODUCCIÓN

El hombre mediante la ingeniería busca constantemente resolver sus necesidades, como la alimentación y vivienda entre otras. Así encontramos que distintas áreas de la ingeniería buscan solucionar necesidades en los distintos aspectos que le competen a cada una de ellas, habiendo necesidades que plantean problemáticas donde es necesaria la intervención de varias ramas de la ingeniería. Sin embargo en los últimos tiempos con el desarrollo de la ciencia y la tecnología se ha visto la necesidad de crear grupos multidisciplinarios de diversas áreas de la ciencia que resuelvan necesidades como un todo, esto es, que resuelvan la necesidad desde los diversos puntos de vista de cada área. Dentro de estos problemas encontramos el diseño de prótesis, que anteriormente no se tomaba como problema de ingeniería, sino que era problema del área médica. Los médicos lidiaban directamente con el problema, lo que conllevaba muchas ocasiones a diseños funcionalmente poco adecuados. Esto busca subsanarse ahora con el trabajo en equipo de ingenieros y médicos. Pero al relacionar dos áreas como éstas nos encontramos con problemas de concordancia en el lenguaje y de desconocimiento de un área de la otra, por ello es de gran relevancia para el desarrollo del campo de la ingeniería biomédica, que nos permite a los ingenieros conocer lo esencial de medicina para coadyuvar de mejor manera en estos equipos de trabajo y lograr mejores soluciones.

Esta tesis se basó en la formación de un equipo de trabajo formado por ingenieros, médicos y técnicos, que en conjunto buscan encontrar una solución lo más adecuada posible de una prótesis para un niño de cinco años que nace con problemas de desarrollo de miembros torácicos y pélvicos, presentando una ausencia total de ambos miembros pélvicos. Después de evaluar las distintas problemáticas del caso se planteó que la necesidad más imperativa a resolver era el desplazamiento. El objetivo del proyecto que da pie al desarrollo de esta tesis es el diseño de una prótesis que solucione el problema de la ausencia de extremidades inferiores, que se base en las características de movimiento rotatorio de la pelvis, que el niño ya domina, y en el cual se basa para desplazarse por el piso. Esta tesis llega hasta el diseño conceptual de la prótesis de miembros pélvicos.

Inicialmente se empieza con el desarrollo de los antecedentes necesarios para entender el tema a tratar. Se muestra la información general encontrada sobre la problemática, que nos ayuda para poder comprender la necesidad en sus diferentes ámbitos. Dentro del primer capítulo se plantea el método que se siguió para el desarrollo de la solución y se presenta también el método utilizado por los protésistas, encontrando algunas diferencias de alcances entre ambos métodos.

En el capítulo dos de acuerdo al método se especifica el problema a solucionar, durante esta fase se establecen los requerimientos que tiene el paciente y que necesita que le sean resueltos por la prótesis, estos requerimientos los transformamos a especificaciones de diseño, que son características medibles que se deben evaluar a la prótesis diseñada. Lo más importante de esta fase del diseño fue la utilización de la herramienta de “La casa de la calidad (*HOQ*)” (del método “despliegue de la función de calidad (*QFD*)”) que nos jerarquiza tanto los requerimientos como las especificaciones, esto es, nos dice que requerimientos son más importantes para el usuario (o usuarios) y que especificaciones son más importantes a evaluar en el diseño.

Una vez teniendo que características se evaluarán al diseño y por lo tanto son primordiales y no deben faltar en él, en el capítulo tres se comienza con el diseño conceptual de la prótesis haciendo análisis funcional y morfológico, para llegar a una serie de propuestas de solución y evaluarlas con las especificaciones jerarquizadas en el capítulo anterior, mediante la matriz de decisión, para finalmente presentar un concepto de prótesis como propuesta de solución.

Finalmente en el capítulo cuatro se presenta un esbozo del diseño de detalle propuesto en el concepto al que se llegó en el capítulo anterior. Presentando los planos de diseño y de ensamble, los cuales no son aún de manufactura, ya que no competen al alcance de esta tesis, sin embargo en el desarrollo del proyecto al tiempo de entrega de este trabajo se está realizando el análisis de elemento finito con la propuesta de diferentes materiales.

## Antecedentes

Este capítulo se dedica a presentar la información general sobre la situación del caso atendido en este trabajo, para tener una visión amplia de la problemática. Aquí se empieza por conocer, identificar y caracterizar la necesidad.

Actualmente se ha vuelto muy común el escuchar hablar de personas que son “normales” y personas que tienen discapacidades o también llamadas capacidades diferentes, lo cual ha venido a modificar los esquemas sociales, a tal grado que en el ámbito gubernamental en prácticamente todos los países se han desarrollado departamentos gubernamentales para atender las necesidades de personas de capacidades diferentes, lo mismo que organizaciones internacionales. Pero ¿qué significa discapacidad de una persona?

De acuerdo a la Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF) de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la discapacidad [11] es:

“Toda restricción debida a una deficiencia de la capacidad de realizar una actividad en la forma o dentro del margen que se considera normal para un ser humano”.

Por actividades cotidianas o normales se entiende valerse por sí mismo para caminar, ver, oír, hablar, aprender, trabajar, realizar tareas manuales, participar en eventos y actividades comunitarias o respirar [11].

Aunque muchas personas tienen alguna discapacidad que puede ser evidente desde el nacimiento, en otras se manifiestan posteriormente, muchas otras ven que la disminución de las capacidades físicas o mentales se produce de forma gradual con el paso del tiempo o bien como resultado de accidentes, enfermedades, etc. Algunas veces estos cambios pueden ser temporales, otras veces pueden ser permanentes.

## Clasificación de discapacidades

En el ámbito general las discapacidades se clasifican [16] en:

### Discapacidades visuales

Desde poca visión hasta la ceguera, el rango de limitaciones visuales es amplio. Los síntomas de visión reducida son visión borrosa, visión desenfocada, problemas para ver de lejos o de cerca, daltonismo y visión túnel entre otros [16].

### Discapacidades motrices

Las discapacidades de movimiento pueden estar causadas por la artritis, problemas cardíacos, parálisis cerebral, la enfermedad de Parkinson, esclerosis múltiple ó la pérdida de extremidades, así como el mal funcionamiento de los miembros, ya que en ocasiones no reaccionan correctamente a las órdenes cerebrales, entre otros factores [16].

### Discapacidades auditivas

Las personas con dificultades auditivas quizás puedan oír algunos sonidos pero es posible que no puedan distinguir las palabras. Otras pueden no oír ningún sonido [16].

### Discapacidades cognitivas y de lenguaje

Las discapacidades cognitivas y de lenguaje abarcan tanto la dislexia como dificultades para recordar, resolver problemas o percibir e integrar información sensorial o incluso problemas para comprender y utilizar el lenguaje [16].

Este tipo de discapacidades pueden tener muchas causas que las generaron dentro de las cuales encontramos enfermedades y traumatismos, entre otras.

De acuerdo con la clasificación de la CIF el tipo de discapacidad que se maneja en este caso se define de la siguiente manera:

### **d465** Desplazarse utilizando algún tipo de equipamiento

Trasladar el cuerpo de un lugar a otro, sobre cualquier superficie o espacio, utilizando dispositivos específicos diseñados para facilitar el movimiento o desarrollar métodos distintos de moverse, como patines, esquís o equipo para bucear, o moverse por una calle en una silla de ruedas o con un andador.[11]

## Justificación del caso

Este trabajo esta basado en un hecho real de un niño que presenta una discapacidad física debido a la ausencia de miembros pélvicos (amelia) y falta de desarrollo de los miembros torácicos (displasia rhizomiélica) ambas congénitas, pues fueron evidentes desde su nacimiento (ver anexol). En la figura 1 se muestra una fotografía del paciente, al cual para



Figura 1 Carlos.

identificarlo en este trabajo se le nombra “Carlos”.

Carlos tiene cuatro años 5 meses al inicio de este proyecto y como se observa en la imagen la deficiencia de los miembros, tanto torácicos, como pélvicos le causan impedimentos a todos niveles para realizar las actividades que le darían autonomía, como el cuidado de su higiene personal: vestirse, asearse, alimentarse por sí mismo, es por ello que es de gran importancia que tenga que hacer uso de diferentes dispositivos protésicos para realizarlas, sin embargo las escasas posibilidades económicas de su familia y el gran costo de las prótesis que por lo extraordinario del caso, son de necesidad no convencionales, es decir,

no son tan fáciles de encontrar en el mercado, no le han permitido crecer y desarrollarse desde su nacimiento con la solución protésica adecuada. No obstante, la familia ha buscado apoyo de diversas organizaciones sociales y gubernamentales para ayudar a Carlos en su aventura hacia la independencia. Aunque en muchas instituciones recibieron negativas, encontraron apoyo de la fundación Shriners de México, la cual le proporcionó una prótesis, que le funcionó temporalmente aunque no de forma óptima por carecer de un diseño adecuado (en cuanto a funcionalidad, seguridad y comodidad), hasta poco tiempo antes de presentarse en el Centro de Diseño y Manufactura (CDM) de la Facultad de Ingeniería (FI).

En la figura 2 se muestra la prótesis que le proporcionaron para la discapacidad motriz.



Figura 2 Prótesis inicial de Carlos.

Actualmente la prótesis en cuestión usada hace un par de años atrás, no le es útil debido a que está creciendo y aumentando masa corporal a un ritmo acelerado (normal de los niños). Por lo tanto, requiere una prótesis con criterios ergonómicos diseñada específicamente para él tomando en cuenta no sólo los requerimientos antropométricos de edad, peso y dimensiones, sino también sus características de desplazamiento, necesidades psicológicas y emocionales.

La prótesis fue manufacturada por métodos tradicionalmente utilizados por los prótesisistas basados en moldes de yeso. Actualmente es evidente la inestabilidad que le produce a Carlos al querer desplazarse con la misma, lo cual hace que le resulte antifuncional, inseguro e incómodo el utilizarla (ver figura 2).

En un inicio, la prótesis fue de gran ayuda para apoyar a su desplazamiento, en base a las capacidades motrices propias que él ha desarrollado por su gran ímpetu y gusto por el movimiento que le permite alcanzar excelentes velocidades de desplazamiento y de giro con gran precisión y fuerza autónoma. La rehabilitación a la que tuvo acceso en un inicio le ayudó a desarrollar los movimientos de traslación en base al impulso que le permite el avance a Carlos a través de la contracción coordinada de los músculos que ayudan a la rotación lateral derecha e izquierda del tórax, que domina. Este tipo de desplazamiento que se generó a partir del uso de la prótesis aunada a una rehabilitación, ahora es capaz de utilizarlo para desplazarse sin ella. Sin embargo al realizar el desplazamiento sin la prótesis, por la fricción que ocurre en la interfase del cuerpo de Carlos con la superficie de desplazamiento le ha llegado a producir infecciones en la piel, ya que está en contacto

directo con el piso. También cuando llega a perder el equilibrio, cae y se golpea se produce abrasiones y/o lesiones de mayor magnitud.

Para un niño, como Carlos que se encuentra en proceso de desarrollo\* y de crecimiento\*\* que presuponemos normales, ya que no existen evidencias que nos demuestren que habrá problemas en lo referente a su crecimiento y desarrollo. Los cambios anticipados que se refieren a lo cognitivo, endocrino, psico-emocional y demás, se tienen que ir reflejando en la prótesis que utilice en las diferentes etapas de su vida, por ello se previó que la prótesis a diseñarse aquí le será útil 3 años, ya que a la edad aproximada de 8 años y medio se espera un pico de crecimiento rápido y maduración concomitante en lo que se refiere a fuerza muscular, coordinación, velocidad de reacción, etc., que darán cambios exponenciales de sus capacidades y requerimientos, además de que será posible una mejor y más rápida asimilación a otros dispositivos más complejos. Por ello es necesario diseñar un plan de desarrollo protésico para las diferentes etapas y requerimientos de la vida, que le permitan alcanzar un mayor grado de independencia y autonomía a Carlos.

La prótesis a desarrollarse actualmente tiene que ser una secuencia de la anterior y se debe acoplar a la capacidad que desarrolló con la prótesis que usaba y prever el uso de una posterior.

Después de que acudió al CDM a pedir apoyo para la resolución de su problema se planeó el diseño de un dispositivo que resolviera sus necesidades de autonomía.

## Definición de la enfermedad

A continuación se presenta una descripción breve de la investigación de las causas que generan esta displasia ósea. Mientras que en el apéndice 1 se muestra ésta en detalle.

La referencia de uso más común para clasificar los defectos de nacimiento es la Clasificación Internacional de Enfermedades publicada periódicamente por la OMS (Novena Revisión del año 1995) [11].

El tipo de defecto congénito que generó las condiciones anómalas en Carlos es infrecuente, ya que en pocos casos, los niños nacen sin uno o sin varios de sus miembros torácicos o pélvicos, a este problema se le llama amelia congénita (ver apéndice 1) el cual implica ausencia total de la extremidad. Si en cambio sucede que se desarrolló solo parte de la extremidad recibe un nombre diferente de acuerdo al nivel hasta donde se haya dado el crecimiento (ver apéndice 1).

Después de observar las radiografías que se muestran a continuación en las figuras 3 y 4 se determinó la ausencia total de los miembros pélvicos. Aunada a una detención del desarrollo completo de la pelvis y una falta de formación del acetábulo que junto con el fémur forman la articulación de la cadera.



Figura 3 Radiografía de cadera (vista frontal)



Figura 4 Radiografía de cadera (vista lateral)

Por lo tanto, en el caso que nos ocupa el término médico es amelia de miembros pélvicos y rhizomielia de miembros torácicos.

### Propósitos del diseño y objetivo.

Carlos pertenece a una familia extendida conformada por adultos (abuela, padres y abuelos) que lo ayudan; pero para ayudarlo a alcanzar su autonomía es necesario:

1. Que se pueda desplazar a dónde él quiera
2. Que se pueda vestir sin ayuda
3. Que se pueda alimentar por sí mismo
4. Que pueda hacerle frente a sus necesidades de higiene personal (bañarse, limpiarse después de ir al baño, lavarse los dientes, etc.)

Al principio no fue fácil decidir hacia donde enfocar los esfuerzos de diseño, pues al no contar con manos y piernas se pensó en solucionar los problemas de los 4 miembros. Al hablar con su familia, así como explorarlo e interactuar con él se evidenció que con los muñones de miembros torácicos, él logra inclusive alimentarse con poca ayuda. Se consultó con varios especialistas en prótesis quienes recomendaron fomentarle la habilidad que ya posee con los muñones, por lo cual se decidió enfocarse en esta primera fase a suplir la función de los miembros pélvicos inexistentes.

Es importante señalar que cuando se tiene un paciente con un problema de esta índole, debido a la inusual frecuencia con la que se presenta, no existen sistemas protésicos en el mercado de los que se pueda disponer con facilidad, habiendo sido éste el motivo principal por el que se buscó la ayuda del CDM, a este tipo de prótesis se les conoce como “no convencionales” (sobre este tema se abundará más en los próximos capítulos).

Como propósitos del diseño solución se busca que el dispositivo:

- Evite el contacto directo del paciente con el suelo para evitar infecciones de las vías urinarias y de la piel, ya que la piel de los pequeños muñones pélvicos no es gruesa y resistente como la de la planta de un pie normal y por lo tanto se irrita muy fácilmente con el rozamiento con el piso.
- El dispositivo se adapte al crecimiento del peso y tamaño de acuerdo a la edad del paciente
- Aproveche las características de movimiento que ahora posee el niño para desplazarse, para evitar que se encuentre inmóvil y de esa manera favorecer problemas respiratorios y circulatorios.
- Promover el desarrollo de la su capacidad cerebral pues como se sabe en pediatría su capacidad de pensamiento abstracto está relacionada, por un lado, con la capacidad de explorar su entorno y por otro con la información que se va adquiriendo a través de todos los sentidos; pero en especial del sentido del tacto que alcanza su mayor discriminación en las yemas de los dedos.
- De la suficiente movilidad para desplazarse dentro de diferentes ambientes como el hogar y la escuela principalmente.

Mientras que el objetivo del trabajo es:

“Aplicar el proceso de diseño mecánico para obtener el diseño óptimo de un dispositivo que apoye en su desplazamiento a un niño con anomalías congénitas del desarrollo, amelia de miembros pélvicos y rhizomielia de miembros torácicos.”

Una vez establecidos los propósitos, en la siguiente sección se planteará la especificación del problema.

## 1 El método de diseño

El hombre siempre ha tenido necesidades, las cuales han cambiado con el transcurso del tiempo. En un inicio quien sentía o identificaba una necesidad era él mismo que buscaba la solución y la fabricaba. Este proceso tiempo atrás no se observaba como tal, porque era normalmente una persona (i. e. artesanos), la cual tenía la facilidad técnica para poder fabricarlo.

Sin embargo, al ir cambiando el nivel de las necesidades humanas también ha sido necesario que vayan cambiando las formas como se solucionan, es por ello que actualmente para encontrar la solución de una necesidad, se ha dividido en dos partes fundamentales: el diseñar y el fabricar. Para la parte de diseñar se ha llegado a una serie de pasos que se han convertido en un método, el cual se pretende solo abarcar una parte del proceso total de crear una solución, su fin es generar en forma documentada y detallada la solución para enseguida ser fabricada. Este proceso es llamado método o proceso de diseño.

El método de diseño (figura 1.1) muestra la serie de pasos que se utilizarán para generar esa solución detallada y documentada [2].

Es importante hacer notar que cada uno de los pasos que conforman el proceso general de diseño representado en la figura 1.1, a su vez tiene su propia metodología bajo la cual se realiza. Durante las fases colaboró con el equipo de diseño un técnico en órtesis y prótesis (durante la investigación de prótesis ya existentes) y una doctora experta en biomecánica, ortopedia y en relacionarse con infantes (estuvo presente durante todo el proceso).

Enseguida se explica en forma breve la metodología que se utilizará en cada paso del método general de diseño y cual es la función de cada parte dentro de proceso para generar una solución.

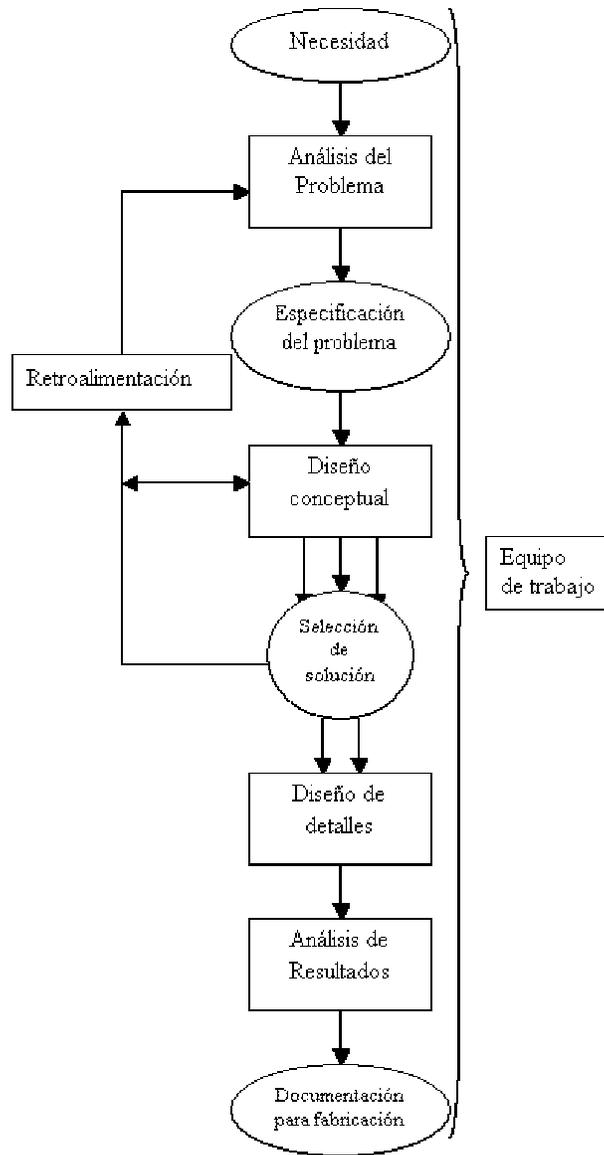


Figura 1.1 El proceso de diseño según el modelo de French [1].

## 1.1 Análisis del problema

Al inicio se empieza por conocer la necesidad, al final de este paso se plantea una respuesta que dé solución a la insatisfacción mediante el planteamiento de los objetivos del proceso de diseño. Esta etapa es una primera aproximación a la problemática.

Durante esta etapa se utilizarán varias fases, dentro de las cuales están:

*Comprensión de la necesidad.* Esta fase implica tener que investigar en general sobre el problema como lo son las causas o motivos que produjeron el problema ya que es importante para entender porque las soluciones que existen tienen en la forma actual y en parte ir comprendiendo mejor sobre la necesidad a satisfacer.

Otra fuente de vital importancia para la comprensión de la necesidad en el caso desarrollado en este trabajo fue el entrevistar a quien tiene la necesidad (i.e. paciente) y a quienes están a su alrededor e interactúan directamente con él, para saber que es lo que esperan obtener, como interpretan ellos la necesidad y que respuesta es la que ellos esperan a la necesidad.

*Definición del problema.* Después de tener un conocimiento sobre la base de la investigación realizada en la fase anterior, en ésta se busca definir más claramente el problema a resolver. Esta fase es de gran importancia ya que si no se define clara y correctamente el problema que se desea resolver en el diseño, se puede caer en inconsistencias al momento de presentar opciones de solución para el problema. En este paso se plantean los propósitos del diseño, que finalmente también deberán ser parte de los objetivos del proceso de diseño.

*Objetivo.* Al finalizar el paso anterior es importante plantear los objetivos del proceso, que tomen en cuenta todo lo investigado anteriormente.

## 1.2 Especificación del problema

Esta fase es de vital importancia para aclarar lo mejor posible todo lo que rodea a la necesidad y como convertirlo en características del dispositivo que cumplan con lo que requiere el paciente -entender el problema muchas veces no es sencillo y de no hacerse correctamente una definición se puede llegar a una solución también incorrecta[3]-. Un punto clave fue conocer e identificar las restricciones, criterios y variables de solución y determinarlos claramente y tomar dentro de ellos el tiempo, el costo y la calidad del diseño. Para ello se definen claramente a continuación los conceptos.

*Planteamiento del problema:* Para realizar este planteamiento hay dos posibilidades de hacerlo para comenzar a buscar una solución, una se basa en un planteamiento de las funciones que debe cumplir el dispositivo, mientras que el otro busca conocer que es lo que desea el usuario que tuviera el dispositivo, llamados requerimientos [2]. Esta parte se realizó por medio de los requerimientos y posteriormente por funciones.

*Requerimientos:* Son llamados así a los deseos o condicionales que tiene el usuario respecto al producto. Con los requerimientos el usuario nos define lo más posible las características que desea que tenga la solución y criterios que le darán la pauta para reconocer la solución, que es la que tendrá dichas características. En un momento dado el diseñador puede plantearle preguntas al usuario sobre características que desea que tenga el producto para comprender mejor entre deseos y condiciones.

Los requerimientos responden a preguntas como

¿Qué es lo que el usuario quiere?

¿Qué es lo que necesita?

Ya que a algunas de las preguntas que surgen en esta fase, el mismo usuario no tiene una respuesta o no lo había considerado (la mayoría de las veces no sabe que es lo que quiere),

resulta necesario realizar una revisión de los dispositivos que ya existen en el mercado, así como en la literatura especializada en este caso prótesis y de los conocimientos de los integrantes del equipo de trabajo o se plantean algunas de acuerdo a la experiencia de los mismos.

De la respuesta a estas preguntas se prosigue con una clasificación de los requerimientos que se da de la siguiente forma [4]:

*Restricciones:* Son características que se condicionan la solución fijadas por el usuario y equipo de trabajo. Deben estar presentes necesariamente en la solución (normalmente puede darse un valor exacto de la restricción) [4].

*Criterios:* Condiciones no restrictivas que son deseables que se logren dentro de las características finales de la solución (relativas –menor costo) [4].

*Variables de solución:* Características sobre las que el diseñador tiene la libertad de modificar [4].

Ya que se conocen los requerimientos y se tiene una clasificación, ahora se planteó una evaluación de importancia de unos requerimientos respecto de los demás, la evaluación se realizó de diversas formas:

Evaluación de expertos ó equipo de diseño. De esta manera se plantea la lista de requerimientos a una persona, la cual es experta en el campo y nos da una serie de valores u ordenamiento de importancia de los requerimientos.

Evaluación del usuario. Se aplica de la misma forma que la anterior, pero es notable que esta evaluación es más subjetiva a lo que desea el usuario y muchas veces no a lo que requiere.

Matriz comparativa. Es una matriz donde se compara por pares la importancia relativa entre los requerimientos, es más imparcial ya que compara los requerimientos uno contra otro y determina cual es más importante en una comparación entre dos. Se le asigna un valor de 0, 1 ó 2 y se comparan los renglones contra las columnas. Primero se compara uno contra todos los demás, después otro y así sucesivamente de tal forma se termina por comparar todos. Al final se cuentan la cantidad puntos de importancia por renglón y se obtiene el grado de importancia en porcentaje [5].

Estas formas de evaluación se adaptaron dentro de la matriz de la calidad que a continuación se explica. Para realizar esta clasificación combina las evaluaciones de los requerimientos explicadas, y nos genera la clasificación porcentual de los requerimientos por su importancia relativa de uno respecto a los demás para después proceder a aplicar la siguiente parte de la metodología llamada *QFD*.

### 1.3 QFD

*QFD* (del inglés *Quality Function Deployment*) se traduce al español como despliegue de la función de calidad, esta metodología toma como base durante todo el desarrollo de un producto la opinión del consumidor del producto, por ello es de vital importancia que desde el inicio del desarrollo del método se identifique claramente al usuario del producto y captar las demandas reales que él desea que tenga el producto, para tomarlas como objetivos de diseño. El procedimiento plantea que sí desde el inicio del proceso de diseño se conocen los requerimientos del usuario y estos se mantienen dentro de todas las fases del proceso, entonces el producto final corresponderá realmente con las expectativas del usuario y por lo tanto resolverá su problema.

Aunque en este trabajo se utiliza solo una parte de la herramienta para la fase especificación del problema del método de diseño usado en este trabajo, también puede ser utilizada como método de diseño, aunque más que un método de diseño se podría considerar un método de rediseño, ya que se basa en el estudio de un producto ya existente e identificar las mejoras para posibles cambios o mejoras en los productos que ya están en el mercado calificándolos contra los requerimientos del usuario.

La *QFD* utiliza como método cuatro matrices (cuatro “casas”) que se muestran en la figura 1.2, de las cuales en este trabajo se utilizará la primer casa, la “Casa de la Calidad” (*HOQ*, *House of Quality*) que se utiliza para comprender la voz del usuario o requerimientos del usuario y traducirla en voz del ingeniero, parámetros técnicos ó especificaciones. Esta matriz también es llamada matriz de QUE’s/COMO’s. En esta matriz los requerimientos son llamados los QUE’s porque es lo “que se quiere” y los convertirá en los COMO’s que van a ser los parámetros de diseño. Debido a su gran importancia en el proceso de diseño se desarrollara y se explicará mejor en un capítulo posterior.

Una parte fundamental de la matriz es que proporciona la importancia jerárquica de cada una de las demandas, tomando en cuenta tanto al equipo de diseño como al usuario.

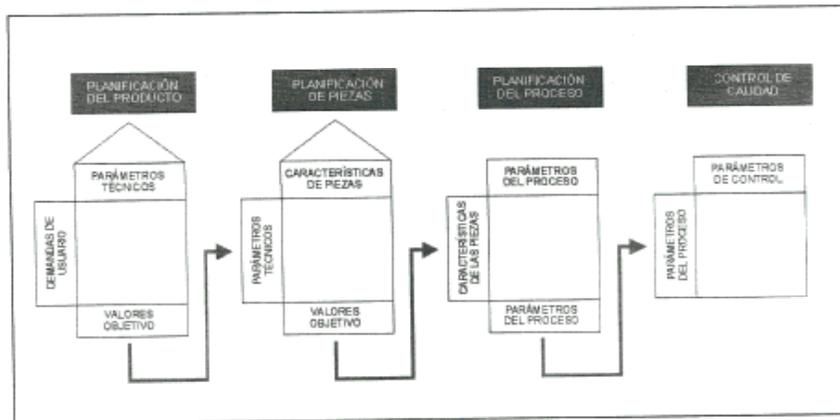


Figura 1.2 Las cuatro matrices de *QFD*.

Además al final de esta fase se conocerá la importancia relativa de cada una de los parámetros técnicos ó especificaciones.

## 1.4 Diseño conceptual

Esta fase es el alma del diseño, ya que es donde le empieza a dar forma a la solución el diseñador (o equipo de diseño) normalmente se realizan bosquejos por medio de dibujos que aunque no se expongan en ellos todos los principios de funcionamiento, se debe tener una idea clara de como va a resolver los requerimientos del problema, aunque se podría decir que la fase se empieza prácticamente desde un inicio del método y durante todo el tiempo de reconocimiento de la necesidad, pero al llegar a este punto se busca que esté lo más claro posible lo que se necesita y se desea. Para la generación de soluciones se pueden tomar tanto las existentes en el mercado como nuevas que puedan ser generadas por el diseñador (o equipo de diseño) se pueden usar varias técnicas como lluvia de ideas, matriz morfológica, entre otros.

*Soluciones existentes.* Durante el proceso de comprensión de la necesidad se encuentran opciones de solución que ya existen en el mercado, que buscan resolver la necesidad. Sin embargo puede ser que en algunos casos, como en el presentado en este trabajo, las soluciones que existen no sean lo que se requiere o no cumplan con lo que desea el usuario. Sin embargo pueden ser referencias para la generación de la solución que se requiere, ya sea modificándolas o para conocer que características son necesarias o deseables y cuales no, para generar la solución requerida.

Es importante hacer notar que tal vez en un principio se generen ideas de un “todo” (i.e. las ideas dan solución al problema en su totalidad, como todo un dispositivo). Sin embargo también se pueden generar ideas para ciertas partes o funciones, por ejemplo una forma de frenar, de sujetar alguna parte, etc. Las cuales se tomarán en cuenta en los siguientes pasos.

La fase de diseño conceptual es donde se van a generar las propuestas de solución, que deben basarse en el análisis funcional que se realizará en esta fase y en las especificaciones de diseño obtenidas de la fase anterior en la *QFD*.

*Análisis funcional.* Es de gran importancia saber el funcionamiento que debe realizar la solución. Empieza, en un primer paso, por realizar un planteamiento funcional.

*Planteamiento Funcional.* Este paso busca conocer que condiciones se plantean que se resuelvan con el dispositivo. Para esto se plantea utilizando la técnica de la “caja negra” que nos permitirá plantear de una forma general como se entendieron las condiciones iniciales y plantear un estado final, en el cual estará satisfecha la necesidad del paciente (Figura 1.3).

En esta parte del proceso solo se plantea y después se busca encontrar los medios a través de los cuales se llegará a esa situación final satisfactoria.



Figura 1.3 Planteamiento de la “caja negra”

Para determinar los medios para lograr las condiciones finales se habrá de dar un esclarecimiento en el diagrama de lo que antes llamamos “caja negra”. Dentro de la “caja negra” se encuentran todas las funciones y subfunciones que se tendrán que realizar para llegar de las problemáticas de entrada a los satisfactores de salida. Esta parte es llamada “caja transparente”.

Conocer el funcionamiento requerido, se puede lograr desde el punto de vista del usuario y sus requerimientos en cuanto a que anteriormente no solo da respuesta a características físicas si no también funcionales, además se pueden retomar también de las soluciones que ya se encuentren en el mercado, entonces el diseñador debe tomarlas en cuenta en este paso adecuarlas a esta metodología para aclararlas y llevarlas a posibles opciones de componentes que realicen las funciones requeridas. De ser necesario proponer nuevas que cumplan con lo que se requiere.

## 1.5 Matriz morfológica

Es una parte esencial del proceso de diseño que busca ampliar la búsqueda de nuevas soluciones, esta fase tiene el propósito de analizar la forma que tendrá la solución ya que la morfología estudia la forma, el análisis morfológico empieza por enlistar las funciones y subfunciones necesarias, determinadas en el análisis funcional, estas son parte de la matriz morfológica, el segundo paso consiste en recolectar todas las posibles soluciones que pueden satisfacer a cada una de las funciones y subfunciones, son los componentes del dispositivo a través de los cuales se realizarán las funciones. Del diagrama se pueden obtener todas las combinaciones posibles de los componentes. Algunas de esas combinaciones son posibles y otras no, algunas ya existen y otras serán totalmente nuevas o no se habían identificado anteriormente, que pueden llevar a innovaciones. De aquí se puede realizar una primera selección y elegir las posibles de realizar o más acordes con las restricciones de costo, por ejemplo.

Una vez teniendo bien definidas y clasificadas las posibles soluciones, se termina esta parte del proceso para enseguida evaluarlas y seleccionar una solución.

## 1.6 Selección de solución

Durante esta parte del proceso se evaluarán las propuestas de solución para que de esta evaluación se decida que opción cumple mejor con las especificaciones de diseño obtenidas de la matriz de QFD. Para ello se encontraron dos metodologías: la técnica de la matriz de decisión y accord.

*Matriz de decisión:* Esta es una metodología mediante la cual se decidirá que opción de solución es la más adecuada de acuerdo a una evaluación realizada con base en una escala, que en su momento se describirá. Esta evaluación califica que tanto cumple cada opción de solución con las especificaciones de diseño, determinadas en la fase anterior del proceso de diseño de especificación del problema mediante la QFD.

*Accord:* Este es un programa computacional[6] que se basa, de forma semejante a la matriz de decisión, en comparar las diferentes propuestas de solución con respecto a las especificaciones de diseño, este es un programa utilizado para toma de decisiones por equipos de trabajo, es gráfico y muy sencillo de utilizar. El programa permite realizar comparaciones de las distintas soluciones respecto a una especificación y también permite en un mismo gráfico visualizar la evaluación de una solución en las diferentes especificaciones con las que es calificada y por tanto deja ver que especificación no cumple o es más débil en los diseños evaluados.

## 1.7 Diseño de detalle

Una vez seleccionada la propuesta de solución que va a ser desarrollada, el siguiente paso consiste en definir completamente todos sus componentes, de forma tal que cumplan con las especificaciones de diseño. Para ello se utilizaron todas las herramientas necesarias. En esta fase, el empleo de un software de computación como herramienta de apoyo puede llegar a ser valiosa. El diseño detallado de sus componentes se refiere a aspectos específicos relevantes, tales como:

*Planos de detalle:* Son los documentos en los que se plasma el estudio de diversos aspectos como lo son:

*Geometría:* se refiere principalmente a que cumpla con las formas que se definieran en los requerimientos.

*Dimensiones:* se busca que cumpla con los tamaños especificados.

*Funcionalidad:* Este aspecto es importante ya que se verifica si cumple con las expectativas del cliente para que funcione de acuerdo a lo necesario para resolver la problemática.

*Ergonomía:* En este estudio se llevarían acabo todos aquellos cálculos, bocetos esquemas, etc., que permitan diseñar el dispositivo y sus piezas partiendo de criterios ergonómicos:

Adaptación a la antropometría del usuario, comodidad, facilidad de uso, minimización del peligro de daños, etc.

*Materiales:* En esta parte de selección de materiales se empieza a materializar el dispositivo, ya que hasta este momento todo es solo un diseño virtual, pero cuando se empiezan a definir los materiales con los que se van a fabricar los componentes es

posible comenzar a trabajar en términos físicos con el dispositivo. Es por lo tanto un paso fundamental.

*Estética:* Esta parte que aunque muchas veces no es considerada importante como los cálculos, es importante en este tipo de dispositivos ya que la apariencia es la mayoría de las ocasiones importante para que un paciente utilice la prótesis, ya que puede ser un dispositivo lo más adecuado tecnológicamente, funcional, cómodo, etc. pero si al paciente no le gusta o resulta que las personas que le rodean se burlan, son aspectos psicosociales de gran importancia que deben ser tomados en cuenta.

*Costos asociados:* Este es un aspecto que puede ser límite durante todo el proceso ya que siempre se desea que sea lo mejor de menor precio y esto puede llevar a una línea de acción del proceso por el dispositivo que sea mas barato y no el adecuado, pero deben de sopesarse ambos aspectos para llegar a un equilibrio.

*Procesos de manufactura:* Estos se determinan en base a los planos de manufactura después de determinar que tipo de material se utilizará para cada elemento del dispositivo. Esto implica un conocimiento lo más completo posible de todos los procesos de manufactura, pero que están limitados por los alcances que se tienen dentro de la empresa, para utilizar un proceso u otro aunado a la cantidad de piezas que se van a producir.

*Planos de ensamble:* Estos son documentos que determinan la forma en la que se van a unir las diferentes partes del dispositivo, tiene que llevar un orden lógico para que pueda ser ensamblado fácil y rápidamente.

## 1.8 Análisis de resultados y conclusiones

Para esta fase se puede tener un prototipo virtual o prototipo rápido que permita analizar los distintos aspectos que se desean del dispositivo. Este paso puede incluir un análisis de elemento finito, una simulación de funcionamiento, análisis de manufactura de algunas piezas, etc.

*Análisis del diseño:* Este resulta entre la comparación de los objetivos de diseño y los resultados obtenidos de los diferentes análisis a los que fue expuesto el dispositivo en esta fase.

### *Propuestas de mejora*

Después de encontrar los posibles errores a los que esta expuesto el diseño se puede llegar a una propuesta de posibles cambios que mejorarían el desempeño del dispositivo. Aquí también puede presentarse la solución al usuario para obtener una opinión de posible satisfacción.

## 1.9 Proceso general de rehabilitación

Este proceso de diseñar la prótesis es solo parte como ya se explicó en un inicio y se complementa con los otros pasos de rehabilitación de un paciente, utilizado por los protésistas, que se muestra a continuación tomado del procedimiento del hospital “Texas Scottish Rite Hospital for Children”[7].

Proceso para desarrollar una prótesis para un paciente (Texas Scottish Rite Hospital for Children) [7]

Cuando refieren a un niño al departamento de prótesis a partir de una de las clínicas donde se diagnostica el uso de una prótesis, él paciente tendrá una serie de citas en el laboratorio de prótesis. Tomará aproximadamente cuatro a seis semanas para terminar las primeras tres etapas para desarrollar la prótesis de un paciente antes de que comience la terapia de entrenamiento físico. El personal de prótesis tomará las medidas, moldeará el miembro del paciente y probará y alineará el zócalo para crear una prótesis hecha a la medida para cada paciente. Los protésistas también conducen el entrenamiento de la terapia para ayudar a los pacientes a aprender a utilizar sus prótesis en actividades diarias. Los pacientes deben traer su prótesis en cada cita y la ropa apropiada de uso diario para ser probada y medida.

Etapas:

- Etapa de la impresión /de la medida del paciente: Los técnicos hacen un molde del yeso de la pierna, del brazo, del pie, etc.
- La prueba el paciente: se prueba el zócalo plástico al paciente.
- Alineación de la prótesis: Los componentes tales como pies y rodillas se agregan. Dan el paciente un cierto entrenamiento inicial y una oportunidad de usar la prótesis. Generalmente, se utilizan los componentes temporales, ajustables para poder realizar cambios a la posición, a la altura y al ángulo de la prótesis.
- Terapia física del paciente: El paciente recibe el entrenamiento profundizado en cómo utilizar el dispositivo, cómo aplicar gradualmente más peso sobre la prótesis, moverse hacia arriba y abajo de las escaleras, del etc.
- Entrega de la prótesis: Después del entrenamiento y de la alineación se terminan, los componentes protésicos se unen en una manera más permanente y durable y el dispositivo se termina con un aspecto cosmético. Cómo los acabados de la prótesis son determinados por la preferencia del paciente. Algunas prótesis son entonadas al color de piel de tal forma que se observan muy reales, otras son deportivas y coloreadas brillantemente, mientras que otras pueden tener una cubierta cosmética y no tener un aspecto tan “robótico.” Éstas son opciones personales que reflejan las necesidades y la personalidad de la persona que usa el dispositivo.

- Carta recordativa del paciente: Puesto que los niños crecen rápidamente, por lo menos los revisan cuatro veces por año, para realizar los ajustes del crecimiento del niño en la prótesis. En promedio cada prótesis necesita ser substituida cada 15 meses más o menos.

De aquí se nota que el proceso de diseño de la prótesis que se desarrolla en esta tesis se puede acoplar dentro de las tres primeras fases del proceso de rehabilitación.

## 2 Especificación del problema

### 2.1 Análisis del problema

Con el fin de comprender el problema en su totalidad, se realiza un análisis para caracterizar y fundamentar el tipo de dispositivo a realizar (prótesis). Para posteriormente entrar en detalle en la especificación del problema, con los requerimientos y especificaciones de la prótesis, que es la parte central de este capítulo.

El objetivo general del tratamiento de los defectos congénitos de las extremidades es dar al paciente un dispositivo que le sustituya la extremidad faltante que funcione correctamente, sea seguro, cómodo y tenga un aspecto normal. Otros objetivos más particulares son:

- Fomentar la maduración y desarrollo de la manera más normal posible en el paciente
- Que el afectado busque ser independiente
- Alentar el cuidado personal
- Mejorar el aspecto cosmético
- Adaptación al ambiente familiar, escolar y social.

Sin embargo estos objetivos pueden variar de un paciente a otro. Lograr tales objetivos permite una adaptación mejor al medio que le rodea en la vida diaria. Para lograr estos objetivos existen protocolos terapéuticos no estandarizados para el tratamiento de los defectos congénitos de las extremidades. Las opciones terapéuticas pueden incluir:

- Cirugía
- Dispositivos
  - Protésicos (miembros artificiales, aparatos protésicos)
  - Ortóticos (férulas o aparatos ortopédicos)
- Rehabilitación (fisioterapia o terapia ocupacional)

La clasificación de los dispositivos para distintos tratamientos de anomalías músculo-esqueléticas se presenta de la siguiente manera:

- Órtesis
- Prótesis
  - Internas
  - Externas
- Vehículos protésicos
- Prótesis especiales (no convencionales)

Órtesis. Se entiende por órtesis aquellos productos de uso externo no implantables que, adaptados individualmente al paciente, se destinan a modificar las condiciones estructurales o funcionales del sistema neuromuscular o del esqueleto. [19] Su función es de rehabilitar trastornos motores o posturales y recuperar la funcionalidad perdidos por alguna lesión.

Prótesis convencional. Es un dispositivo diseñado para reemplazar una parte faltante del cuerpo o sustituir el funcionamiento de una parte del mismo. Las prótesis suelen usarse para reemplazar ojos, brazos, manos y piernas faltantes o enfermas [19]. Los dientes postizos son denominados prótesis dentarias y al reemplazo de una parte de hueso por un hueso artificial se lo conoce como prótesis ósea. Las prótesis metálicas que se utilizan para la cirugía de reemplazo de la articulación de la rodilla sustituyen cartílago y hueso deteriorado por enfermedad o por edad. Por lo que se diferencian en internas y externas.

Prótesis internas (endoesquelética o modulares). Requieren implantación quirúrgica, las hay fijas y con renovación [19]. Por ejemplo una pierna: “Está compuesta por una pieza de tubo, con adaptadores ajustables a los extremos, que conecta la unidad de la rodilla y las piezas tobillo-pie. Igualmente, un tubo de muslo con adaptadores en ambos extremos conecta la pieza de rodilla con el socket” [20].

“Todo este conjunto queda alojado dentro de un tubo de poliuretano, al que le dan la forma y las dimensiones de la extremidad sana, para recubrir toda la prótesis (desde la punta del pie hasta la zona proximal del encaje) con una media elástica. Este tipo de prótesis resulta más ligera que las exoesqueléticas. Su acabado es muy estético y su mecanismo es muy silencioso. Es preferido por pacientes femeninas ya que permite normalmente el uso de faldas.” [20]

Prótesis externas (exoesquelética). Son prótesis externas aquellas que requieren una elaboración y/o adaptación individualizada y que, dirigidas a sustituir un órgano o parte de él no precisan de implantación quirúrgica en el paciente. [19] “Son las que externamente no llevan funda y su acabado es a base de plástico laminado. Los elementos de la rodilla y del tobillo-pie quedan a la vista, formando una estructura sólida del conjunto de la prótesis. Son generalmente más resistentes y por lo tanto más durables; son algo más pesadas y no tan estéticas como las modulares” [20].

Vehículos protésicos. Se consideran vehículos a los dispositivos que les sirven para desplazarse a los discapacitados, los más comunes son las sillas de ruedas, entendiéndose por tales los vehículos individuales para favorecer el traslado de personas que han perdido, total o parcialmente, la capacidad de deambulación y que son adecuados al grado de invalidez. [19]

Prótesis especiales o no convencionales. Se consideran prótesis especiales aquellas que no correspondiendo por sus características a ninguno de los apartados anteriores se encuentran incluidas en el Catálogo General de Material Ortoprotésico [19].

El tipo de discapacidad es de gran complejidad para utilizar una prótesis convencional debido a que son diseñadas para pacientes que la deficiencia motriz es de un miembro o una parte de algún miembro y la mayoría de las prótesis consideran a pacientes que ya tenían la extremidad. Consideran que el paciente tiene muñón (parte residual de un miembro torácico o pélvico después de una cirugía traumática).

Una opción según las presentadas en la clasificación de dispositivos es un vehículo protésico el cual sería no tan común como una silla de ruedas. Sin embargo lo que parece

una buena opción es diseñar una prótesis especial. Para poder definir que es mejor se proseguirá con los siguientes pasos del proceso de diseño planteado.

## 2.2 Definición de los requerimientos de diseño

Para determinar con exactitud que se requiere en este caso, se busca mediante la indagación de las características que desea y requiere el paciente que haga o tenga el dispositivo, a estas características se les llama requerimientos.

Para la metodología de obtener los requerimientos necesarios y deseados de un producto generalmente usada en diseño de mecánico [3], es de vital importancia conocer la opinión del usuario que se convierte en la principal fuente de los requerimientos, para este caso también lo tomaremos en cuenta, los requerimientos fueron tomados de entrevistas con los interesados en el dispositivo, pero ya que ellos no tienen un conocimiento completo de estos requerimientos, se toma otra fuente alternativa para saber que características son propias de los dispositivos protésicos, para ello se acudió a la bibliografía sobre dispositivos ortésicos y protésicos. Todo aunado a los conocimientos del equipo de diseño, se buscó generar una lista de requerimientos. Es importante notar la importancia de tomar en cuenta a todos los actores implicados en el diseño, antes mencionados para determinar lo mas claramente los requerimientos del dispositivo.

En este caso se consideran como usuarios a Carlos y a sus familiares más cercanos que están en contacto constante con él y la necesidad, como lo son sus padres, hermanos y abuelos.

Algunos requerimientos tomados de las entrevistas plantean la necesidad de que el dispositivo le promueva el movimiento a Carlos, aprovechando el que él ya ha desarrollado para evitar un sedentarismo que le afectaría los sistemas fisiológicos del cuerpo humano como el cardiovascular, respiratorio, etc., se adapte a la edad para no tener que estar cambiando el dispositivo y disminuir gastos, ya que los dispositivos como la prótesis que utilizaba tendría que hacerse un molde pélvico mínimo cada 6 meses para cambiarlo y adaptarlo al tamaño de Carlos. Para ellos es de gran relevancia que el dispositivo sea seguro y cómodo para no tener que cuidar a Carlos constantemente y tenga mayor independencia.

De los libros y artículos sobre prótesis y órtesis se obtuvieron requerimientos como tener cuidado con el drenaje urinario, función del intestino, circulación periférica; tener en cuenta que apoye el desarrollo mental proporcionando un estímulo para que el cerebro se acostumbre a la movilidad vertical, hasta lograr que el caminar no sea solamente de necesidad terapéutica si no que se convierta en una parte integral de su personalidad y actividades diarias. Todo esto se relacionó en el aspecto de basarse en las habilidades para desplazarse que ya posee Carlos.

Muchos dispositivos protésicos suelen generar dificultades de adaptación no deseadas, generalmente vinculadas a la postura que deben asumir sus usuarios, por esto es necesario que la creación de un dispositivo de movilidad que permita mantener una postura erguida a

las personas con discapacidad motriz en los miembros inferiores, lo que mejora su interrelación con el medio circundante, porque todo el entorno urbano está diseñado para quienes se desplazan afirmados en sus piernas (bipedestación) empezando por el mismo hogar [21].

Un aspecto importante es que las partes del dispositivo que estén en contacto directo con el cuerpo no produzcan escaras en el paciente. Esto se tomará en cuenta en el diseño de detalle y en los materiales utilizados en las interfaces

La facilidad de uso le permitirá una adaptación rápida al dispositivo e implica que no se canse mucho para que pueda usarlo cada vez tiempos más prolongados y llegar al ideal de usarlo durante todo el día, esto también se relaciona con que sea cómodo aunque sea un aspecto que tal vez no se pueda medir tan fácilmente.

Para que el niño le guste usar el dispositivo hay que tomar en cuenta el aspecto psicológico que se puede reflejar en el aspecto físico que tiene que ser amigable para él, novedoso y que le permita tener un estatus propio que incida en mejores relaciones sociales con sus amigos y adultos.

A continuación se expresan los requerimientos descritos, en los párrafos anteriores, en el siguiente listado:

- A.- Se base en la forma de desplazarse
- B.- Le promueva el movimiento
- C.- Lo use en la escuela y en la casa
- D.- Adaptable a la edad
- E.- Fácil de usar
  - E1.- No le canse mucho
  - E2.- Fácil de manejar
  - E3.- Ligero
- F.- Seguro
  - F1.- No se caiga al estar parado
  - F2.- No se caiga al moverse
  - F3.- Se frene cuando él lo desee
- G.- Higiénico
- H.- Resistente (soporte caídas)
- I.- Bajo costo
- J.- Cómodo
- K.- Aspecto amigable

### 2.2.1 Clasificación cualitativa de los requerimientos de diseño

Para después realizar una primera clasificación (cualitativa) de los requerimientos (como se explicó en el capítulo 1), la cual se muestra en la tabla 2.1.

REQUERIMIENTO		TIPO DE REQUERIMIENTO
Se base en la forma de desplazarse		Restricción
Le promueva el movimiento		Restricción
Lo use en la escuela y en la casa		Criterio
Se adapte a la edad		Restricción
Fácil de usar	No se canse mucho	Criterio
	Fácil de manejar	Variable de solución
	Ligero	Criterio
Seguro	No se caiga al estar estático	Restricción
	No se caiga al moverse	Restricción
	Se frene cuando lo desee	Restricción
Higiénico		Restricción
Resistente(soporte caídas)		Criterio
Bajo costo		Criterio
Cómoda		Restricción
Atractiva		Variable de solución

Tabla 2.1 Clasificación cualitativa de los requerimientos.

### 2.2.2 Ponderación de los requerimientos de diseño mediante “La casa de la calidad, QFD”

El procedimiento: primero se toma la lista de requerimientos que se muestra en la tabla 2.1. Estos ocuparán la columna de las demandas de usuario (círculo 1 de la matriz de la calidad que se muestra en la figura 2.1)

Enseguida se realizó la evaluación de la importancia relativa de los requerimientos, para realizar esta se utilizaron las metodologías propuestas por la QFD, la evaluación se basa en tomar en cuenta una evaluación de los usuarios y una evaluación del equipo de diseño (las cuales se explicaron en el capítulo 1). Cada evaluación fue puesta en una de las columnas marcadas con el círculo 2, en la figura 2.1.

La primer columna es ocupada por la evaluación de los usuarios, la escala manejada en este caso es de 0 a10, se pide que califique cada necesidad con un valor dentro del rango propuesto. La segunda columna se obtuvo de las calificaciones de la relevancia de los requerimientos de acuerdo al grupo de trabajo. La escala manejada es:

- 1 No es muy relevante.
- 1.2 Relevante.
- 1.5 Más relevante.

Mientras que la tercer columna la ocupa una evaluación obtenida de la matriz comparativa de los requerimientos, con el procedimiento descrito en el capítulo 1. en la figura 2.2 se muestra la matriz y sus resultados. La escala manejada es:

- 0 Menos importante
- 1 Igual importante
- 2 Más importante

Una vez que se tienen estos valores se realiza la relación de importancia relativa de acuerdo a la ecuación:

$$\text{Importancia relativa}_{\text{req}} = \text{Importancia del consumidor} \times \text{Importancia del equipo de diseño} \times \text{Importancia matriz comparativa.}$$

Los valores obtenidos se pusieron en la columna 4 de la zona marcada por el círculo 2 (figura 2.1). Mientras que las siguientes muestran la importancia relativa normalizada fraccional en la columna 5 y porcentual en la 6. La tabla 2.2 muestra la clasificación porcentual.

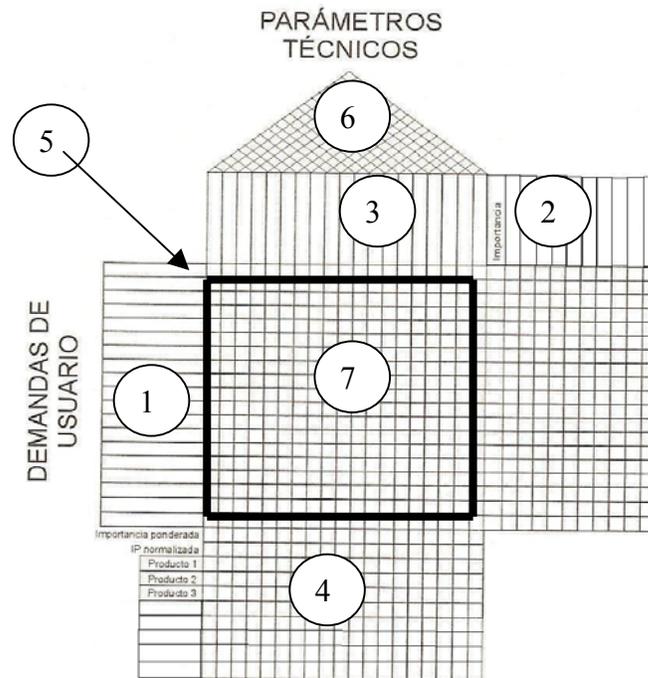


Figura 2.1 La primera casa de QFD. “Casa de la calidad”



La función principal que nos aporta la casa de la calidad es que nos pondera la importancia relativa entre las especificaciones y requerimientos.

“Los parámetros técnicos son aquellas magnitudes o características que el equipo de diseño puede manejar o determinar para definir su producto” [8].

REQUERIMIENTO		IMPORTANCIA PORCENTUAL DE CADA REQUERIMIENTO (%)
Se base en la forma de desplazarse		13.10%
Le promueva el movimiento		9.43%
Lo use en la escuela y en la casa		5.24%
Se adapte a la edad		11.13%
Fácil de usar	No se canse mucho	3.06%
	Fácil de manejar	5.45%
	Ligero	3.41%
Seguro	No se caiga al estar estático	11.20%
	No se caiga al moverse	11.20%
	Se frene cuando lo desee	8.49%
Higiénico		4.54%
Resistente(soportar caídas)		3.06%
Bajo costo		2.88%
Cómoda		5.20%
Atractiva		2.62%

Tabla 2.2 Importancia relativa normalizada porcentual de los requerimientos.

La siguiente parte del proceso consistió en que el equipo de diseño propuso el parámetro o parámetros técnicos que permitan calificar cada uno de los requerimientos obtenidos anteriormente. En varias reuniones del equipo de diseño se discutieron los parámetros necesarios ya que hay requerimientos muy ambiguos por ejemplo “Que no se canse mucho” la cual al final se propone medirlo a través de fuerza de impulso y relación fuerza-impulso. En el desarrollo de esta parte es importante hacerlo cautelosamente y tomar en cuenta que los parámetros tengan las siguientes características [3]:

1. - Asegurar que los parámetros son discriminatorios.
2. - Asegurar que los parámetros son medibles.
3. - Asegurar que los parámetros son ortogonales (independientes entre ellos)
4. - Asegurar que los parámetros son universales.
5. - Asegurar que los parámetros son externos.

Los parámetros técnicos propuestos para evaluar los requerimientos son:

- 1 –Dimensiones (m)
  - 1.1 Altura (m)
  - 1.2 Ancho (m)
  - 1.3 Grosor (m)
- 2 –Peso (Kg)
- 3 –Volumen (m3)
- 4 –Numero de piezas (unidades)
- 5 –Fuerza de impulso (N)
- 6 –Relación Fuerza-Impulso (1)
- 7 –Ángulo de giro (grados)
- 8 –Tiempo de Reacción al frenado (s)
- 9 –Tiempo de Reacción al impulso (s)
- 10 –Tiempo de Frenado (s)
- 11 –Máxima velocidad (m/s)
- 12 –Mantenimiento
  - 12.1 •Periodicidad (días)
  - 12.2 •Duración en mantenimiento (min.)
  - 12.3 •Cantidad de herramientas (unidades)
  - 12.4 •Versatilidad para crecer (unidades)
- 13 –Costos
  - 13.1 •Fabricación (\$)
  - 13.2 •Materiales (\$)
  - 13.3 •Reparación (\$)

### 2.3.1 Ponderación de las especificaciones de diseño mediante “La casa de la calidad, *QFD*”

Estos parámetros técnicos se escriben en la matriz de la calidad en la parte marcada con el círculo número 3 (Figura 2.1), para después juzgar el tipo de relación ó influencia entre las especificaciones y los requerimientos en cada una de las casillas en la que se intercepta cada especificación con cada requerimiento (esta intercepción se da en la zona marcada con el círculo 7 de la figura 2.1). La escala que utiliza la casa de la calidad en esta parte es:

Valor	Significado	Simbolo
9	Correlación Muy Fuerte	
3	Correlación Fuerte	
1	Correlación Débil	

Figura 2.3 Escala de la casa de la calidad

La evaluación se puede hacer con el valor o simbólicamente, de acuerdo a la herramienta usada una hoja de excel o algún programa especializado en *QFD*. En este trabajo se utilizó

en un inicio una versión gratuita del programa Qualica *QFD* [5], sin embargo al finalizar el tiempo para utilizarla, el programa permite generar una hoja de excel y proseguir la evaluación.

En la figura 2.4 se muestra la imagen obtenida de la matriz según el programa Qualica *QFD* [5] y en la figura 2.5 la imagen obtenida de la casa de la calidad de una hoja de excel.

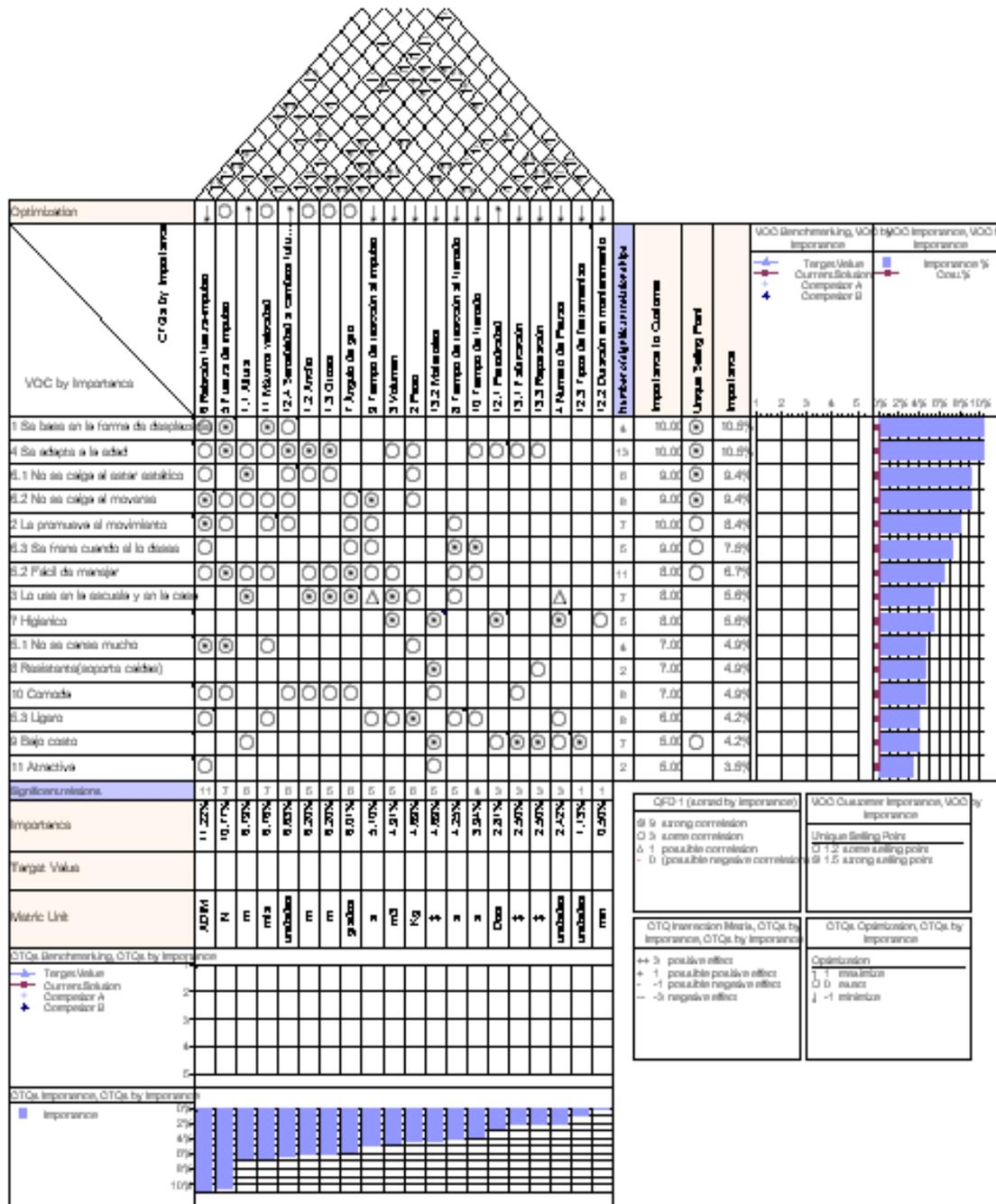


Figura 2.4 Casa de la calidad, obtenida de Qualica *QFD*.

A continuación se explica la ecuación de donde se obtuvieron los valores de importancia relativa de las especificaciones.

La importancia relativa para cada especificación se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Importancia relativa}_{\text{param.X}} = \sum_{i=A}^{i=K} (7_{iX} * 2_{\text{imp.dec.-req. } i}) \quad | \quad X=1.1,1.2,1.3,2,3,4,\dots\text{etc.}$$

Esta ecuación se aplica de la siguiente manera para el valor de  $7_{iX}$  se toma el valor de la celda donde se relaciona el requerimiento (que es la zona enmarcada con el círculo número 7 de la figura 2.1 por ello aparece así en la fórmula)  $i$  (que toma los valores desde A hasta K véase la lista de requerimientos) con el parámetro X (en este caso X va desde 1.1 hasta 13.3 véase la lista de especificaciones) y se multiplica por el valor de importancia relativa decimal del requerimiento  $i$  que es el valor  $2_{\text{imp.decimal-req. } i}$  (donde el 2 significa que esta en la zona marcada por el círculo 2 en la figura 2.1).

Por ejemplo para la importancia de 1.1 Altura:

$$\begin{aligned} \text{Importancia relativa}_{\text{param.1.1}} = & (0*0.1046)+(0*0.08368)+(9*0.05579)+ (3*0.1046)+ \\ & (0*0.04881)+ (3*0.06695)+(0*0.04184)+(9*0.09414)+(3*0.09414)+(0*0.07531)+ \\ & (0*0.05579)+ (0*0.04881)+ (3*0.04184)+ (0*0.04881)+ (0*0.03487) = \mathbf{2.27196} \end{aligned}$$

Los resultados de importancia relativa se plasman en el primer renglón de la zona marcada con el círculo número 4 de la figura 2.1, en el segundo renglón se encuentra la importancia relativa normalizada fraccional, en el tercer renglón la importancia relativa porcentual, en renglones posteriores están la medida estándar, la unidad métrica, tipo de dato (continuo o discontinuo), valor ideal y valor marginal especificados para cada especificación.

Así se finaliza esta parte donde lo más importante es la importancia relativa entre las especificaciones que se muestra en la tabla 2.3.

PARAMETRO O ESPECIFICACIÓN	NIVEL DE IMPORTANCIA DE CADA PARAMETRO Ó ESPECIFICACIÓN (%)
-Dimensiones (m)	
•Altura (m)	7.15%
•Ancho (m)	6.35%
•Grosor (m)	6.35%
-Peso (Kg.)	4.66%
-Volumen (m <sup>3</sup> )	4.41%
-Numero de piezas (unidades)	1.94%
-Fuerza de impulso (N)	11.10%
-Relación Fuerza-Impulso (1)	<b>11.78%</b>
-Ángulo de giro (grados)	5.94%
-Tiempo de Reacción al frenado(s)	4.38%
-Tiempo de Reacción al impulso(s)	5.56%
-Tiempo de Frenado (s)	4.07%
-Máxima velocidad (m/s)	7.42%
-Mantenimiento	
•Periodicidad (días)	2.47%
•Duración en mantenimiento (min.)	0.41%
•Cantidad de herramientas (unidades)	0.77%
•Versatilidad para crecer (unidades)	7.47%
-Costos	
•Fabricación(\$)	2.23%
•Materiales(\$)	3.51%
•Reparación(\$)	2.04%

Tabla 2.3 Importancia relativa normalizada porcentual de los parámetros técnicos.

### 2.3.2 Contradicciones entre especificaciones de diseño

Para obtener las contradicciones entre especificaciones antes se llena el renglón marcado con el círculo número 5 (figura 2.1), el cual determina que es lo óptimo para cada parámetro, que sea maximizado o minimizado, por ejemplo se desea que el peso sea minimizado así como el número de partes ó ser maximizado el periodo de mantenimiento entre otros. Los parámetros a ser maximizados se les indica con una flecha hacia arriba ( $\uparrow$ ) o un (+1) y los minimizados con una flecha hacia abajo ( $\downarrow$ ) o un (-1), pero si se desea que el valor se mantenga dentro de un margen establecido (estándar) se marca con un círculo (O) o cero (0). Esta evaluación es independiente a las anteriores ya que no toma en cuenta las importancias relativas de requerimientos y especificaciones, sino para ser tomadas en cuenta por el diseñador en la matriz de contradicciones.

	A	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AC	AD	AE		
4																															
5																															
6																															
7																															
8																															
9																															
10																															
11																															
12																															
13																															
21	Optimización		1	0	0	-1	-1	-1	0	-1	0	-1	-1	0	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1									
22			Dimensiones										Mantenimiento					Costos													
23			Altura	Ancho	Gruesor	Peso	Volumen	Numero de piezas	Fuerza de impulso	Relación fuerza-impulso	Ángulo de giro	Tiempo de recepción al freno	Tiempo de recepción al impulso	Tiempo de frenado	Máxima velocidad	Periodicidad	Duración en mantenimiento	Cantidad de herramienta	Flexibilidad o cambio	Fabricación	Materiales	Reparación	Importancia para el cliente	Importancia del equipo de implementación de comparación de requerimientos	Importancia relativa	% Importancia relativa normalizada	Nº de relaciones significativas	Importancia ex	Importancia ex	Importancia ex	
24																															
25	Se hace en la forma de desplazarse		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	15	0.063	1.33	13.30%	4	13.46%		
26	Le promueve el movimiento		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	12	0.08	0.86	8.43%	3	8.37%		
27	Le usa en la escuela y en la casa		3	0	3	3	3	1	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.067	0.33	3.24%	1	3.58%		
28	Se adapta a la edad		3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	15	0.076	1.33	13.30%	3	13.46%		
29																															
30	Fácil de usar		0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0.044	0.31	3.06%	4	4.86%		
31	Fácil de manejar		3	3	3	0	3	0	0	0	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0.058	0.55	5.43%	11	6.65%		
32	Ligero		0	0	0	3	3	3	0	3	0	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.058	0.35	3.41%	8	4.88%			
33	No se caiga al estar estático		3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0.084	1.14	11.20%	6	3.41%		
34	No se caiga al moverse		3	0	0	3	0	0	3	3	3	0	3	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	15	0.084	1.14	11.20%	8	3.41%		
35	Se frena cuando el lo desea		0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0.08	0.86	8.43%	5	7.53%			
36	Higiénico		0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	1	0.058	0.46	4.54%	5	5.58%			
37	Resistente(suporta caídas)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.044	0.31	3.06%	2	4.86%			
38	Bajo costo		3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	0	3	3	3	12	0.043	0.29	2.86%	7	4.18%			
39	Cómoda		0	3	3	0	0	0	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	1	1	0.076	0.53	5.20%	8	4.86%		
40	Atractiva		0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1	0.053	0.27	2.62%	2	3.43%		
41	Nº de relaciones significativas		6	5	5	6	5	3	7	11	6	5	5	4	7	3	1	1	6	3	5	3				10.2					
42	Importancia relativa		2.4	2.123	2.123	1.961	1.48	0.65	3.12	3.33	1.391	1.4637	1.864	1.384	2.483	0.823	0.135	0.253	2.506	0.743	1.178	0.685	total	34							
43	Importancia relativa normalizada		0.072	0.063	0.063	0.047	0.044	0.019	0.11	0.12	0.053	0.0458	0.058	0.041	0.074	0.025	0.004	0.008	0.073	0.022	0.035	0.02									
44	% Importancia relativa normalizada		7.13%	6.35%	6.35%	4.66%	4.41%	1.94%	11.13%	11.76%	5.54%	4.38%	5.96%	4.01%	7.42%	2.47%	0.41%	0.71%	7.47%	2.23%	3.51%	2.04%									
45	Modo estándar																														
46	Unidad métrica		m	m	m	Kg	m3	unidades	N	ADIM	grados	s	s	s	m/s	Días	min	unidades	unidades	\$	\$	1									
47	Tipo de dato		cont.	cont.	cont.	cont.	cont.	disc.	cont.	disc.	cont.	cont.	cont.	cont.	cont.	disc.	cont.	disc.	disc.	cont.	cont.	cont.									
48	Valor ideal		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
49	Valor marginal		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
49			7.13%	6.35%	6.35%	4.66%	4.41%	1.94%	11.13%	11.76%	5.54%	4.38%	5.96%	4.01%	7.42%	2.47%	0.41%	0.71%	7.47%	2.23%	3.51%	2.04%									

Figura 2.5 Casa de la calidad, obtenida de una hoja de excel.



## 3 Diseño conceptual

### 3.1 Análisis funcional

#### 3.1.1 Planteamiento funcional

En este tema se empieza por realizar el análisis funcional, primero se presenta el planteamiento funcional que como se explicó en el capítulo 1 convencionalmente se ocupa el planteamiento de la “caja negra” [3]. En la figura 3.1 se observa el planteamiento de las condiciones de entrada y de salida (los que’s funcionales) hecho para este caso.

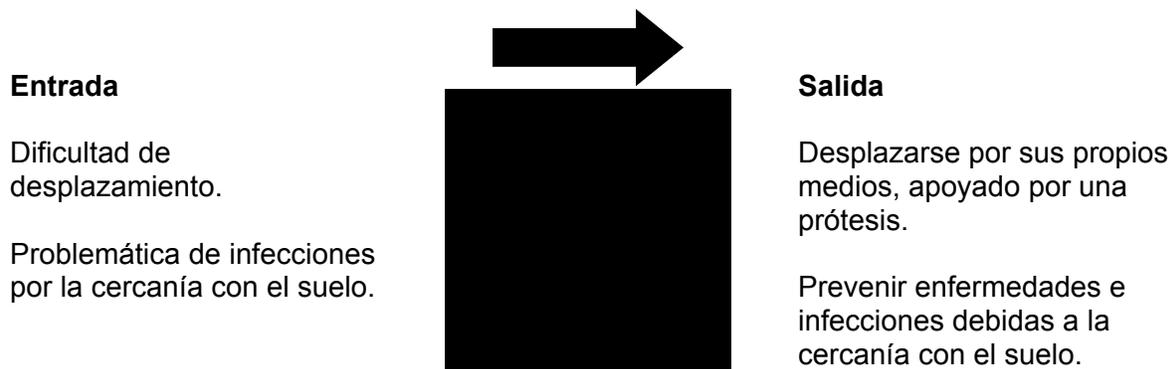


Figura 3.1 Planteamiento funcional mediante el método de la “caja negra”.

Después del planteamiento hecho mediante el método de la “caja negra”, se busca aclarar esa “caja negra” encontrando las funciones y subfunciones que la esclarezcan (los como’s funcionales). Se empezó tomando como referencia las partes convencionales de una prótesis para miembro inferior [22] que son:

- Elementos de suspensión- mantienen la prótesis en su lugar.
- Elementos de control- correas o cables que actúan y dominan los movimientos del miembro artificial.
- Conos de enchufe o sockette- esta es la parte que se adapta al muñón.
- Articulaciones- que reemplazan a las anatómicas.
- Dispositivos terminales- son elementos que se colocan en la parte distal de la prótesis.

En la figura 3.3 se plasman estas funciones y subfunciones como parte del esclarecimiento de la “caja negra” transformada en una “caja transparente”.

### 3.1.2 Árbol funcional

En esta parte se analiza que funciones se deben satisfacer por un dispositivo para discapacidad motriz, partiendo de acciones básicas y primordiales hacia las particulares, en este caso se realizó mediante un organigrama de llaves.

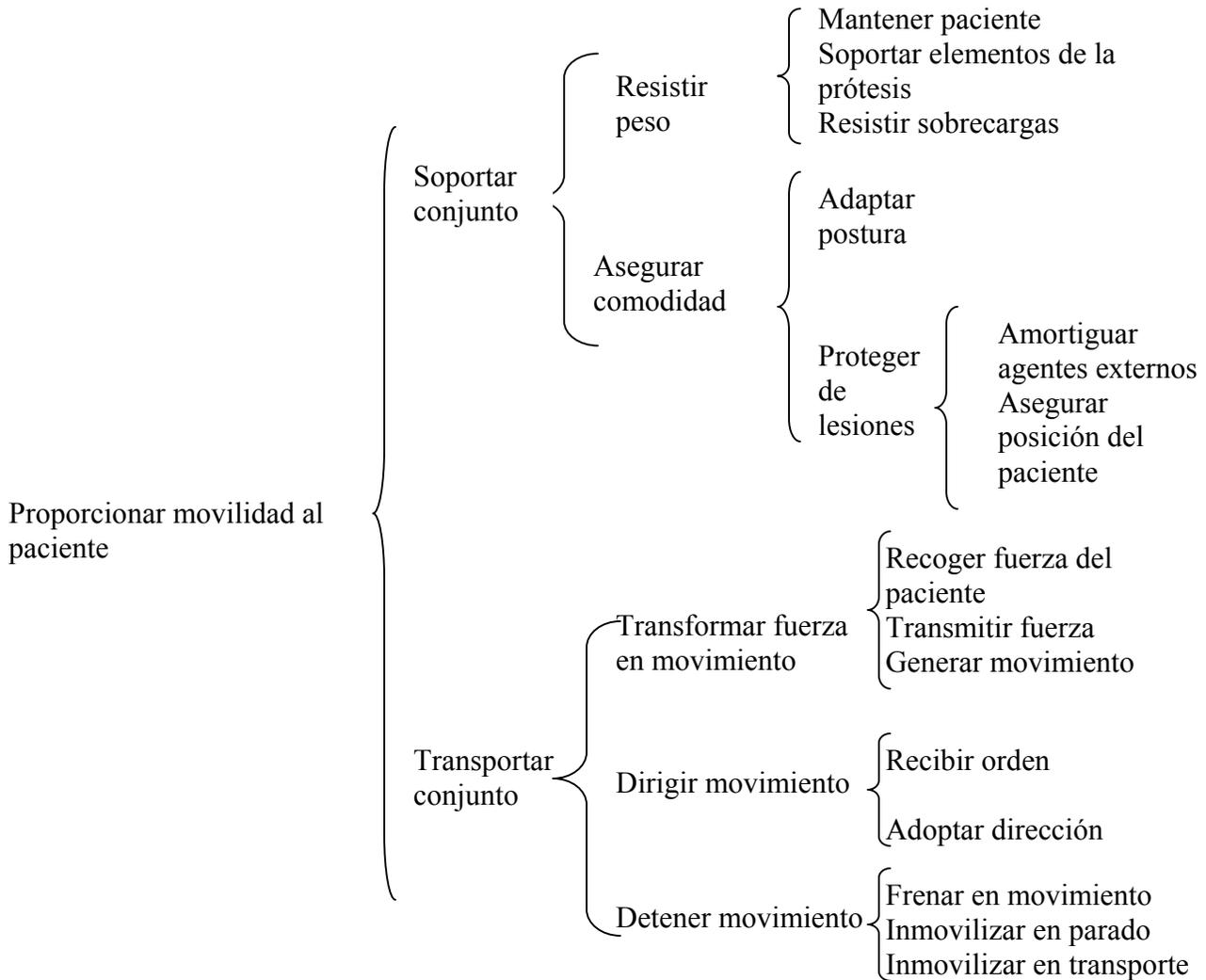


Figura 3.2 Árbol funcional

En la figura 3.2 se muestra el árbol funcional para un dispositivo que permita la movilidad de un paciente visto desde un punto de vista operativo y especifica las funciones que realizará la prótesis. En esta figura se denomina como conjunto a la suma de todas las partes que formarán parte de la prótesis y al paciente.

### 3.1.3 Definición de las funciones

Algunos de los requerimientos mencionados en el capítulo anterior se relacionan con características funcionales como “Se base en la forma de desplazarse”, “Le promueva el movimiento”, “Seguro” los cuales al ser restrictivos (tabla 2.1) son características que debe tener la prótesis entre otras que aunque no son restrictivas son importantes como “Fácil de usar”, van dando forma a las funciones que debe realizar la prótesis.

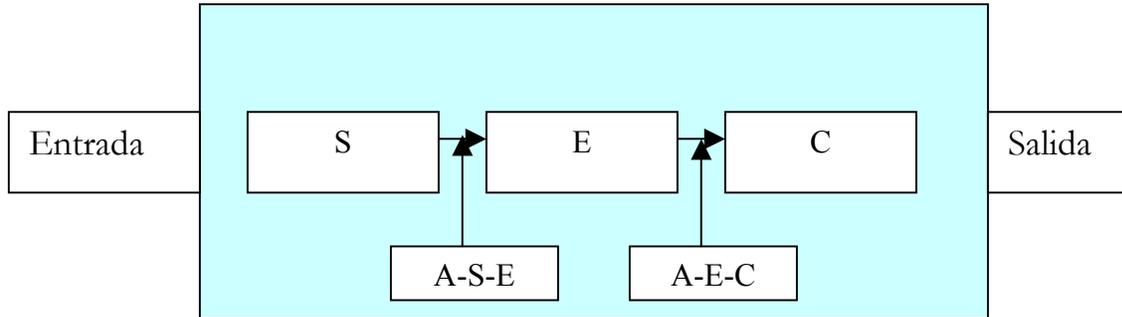


Figura 3.3 Funciones y subfunciones de la “caja transparente”

Una vez detectadas y analizadas las características funcionales que se demandan de la prótesis, el equipo de diseño determinó que los principales sistemas y subsistemas detectados de la prótesis son:

Sistemas:

**Sujetador al cuerpo (S):** Se define como el interactuar directamente entre el paciente y la prótesis, esta función en una prótesis convencional comúnmente se realiza con un socket, es de gran relevancia la ergonomía que le proporcioné la comodidad, porque es la parte que interactuara directamente con la asimilación de fuerza rotacional y en la transformación de ésta fuerza a una lineal, además es de gran relevancia la selección de material a utilizar para evitar escaras por el movimiento relativo entre el paciente y el sujetador. El diseño de este sistema influirá en la sujeción y distribución del peso sobre el mismo dispositivo y los otros sistemas y subsistemas. Este sistema reunirá las primeras tres partes mencionadas (al inicio de este capítulo) en las partes convencionales de una prótesis para miembro inferior.

**Extensión al piso (E):** Este sistema buscará separar al paciente del piso que es una de las salidas solicitadas y en conjunto con los demás sistemas y subsistemas descritos a continuación se genera la estabilidad que es necesaria para proporcionar la seguridad del usuario, su tamaño (altura) es importante para determinar la estabilidad de la prótesis.

**Contacto con el piso (C):** Sus funciones principales son soportar y apoyar en la estabilidad de todo el conjunto y absorber el rozamiento con el piso. La forma del sistema C es de suma importancia para la estabilidad de la prótesis en su total. Sin embargo la estabilidad puede distribuirse en los diferentes sistemas y subsistemas. Además del desgaste del material que conlleva el propio rozamiento con el piso y su forma son características importantes a tomar en cuenta del dispositivo terminal.

Subsistemas:

Acople entre sujetador y extensión (A-S-E): Este se define como la unión del sistema que sujeta al paciente y el de extensión al piso, sus características dependerán de los sistemas con los que interacciona, por lo que es necesaria para permitir un desplazamiento entre ambos subsistemas de la prótesis, como en la prótesis que utilizaba. Este deberá cumplir funciones semejantes a las de la articulación de cadera, además del amortiguamiento del choque entre ambos subsistemas que conecta. Además interviene directamente en la transformación de fuerza en movimiento.

Acople extensión y contacto piso (A-E-C): El acople puede ser un elemento como tal o no dependiendo de las características de los sistemas que une, puede llegar a ser parte primordial para proporcionar la estabilidad y cadencia en el desplazamiento.

Ya que se han definido los sistemas y subsistemas y las funciones a realizar por cada uno de ellos, se buscó determinar los elementos que cumplan con ellos.

Es aceptado que un elemento realiza una o varias de las funciones, por lo que no necesariamente mantienen una relación lineal el número de funciones y el número de elementos de un dispositivo [3]. Esto se refuerza al comparar las funciones mostradas en el árbol funcional y las derivadas del análisis funcional generado por medio de la “caja negra”- “caja transparente”.

## 3.2 Generación de opciones de diseño conceptual

Tomando como base el resultado obtenido de la “caja transparente” para proseguir el proceso de diseño mecánico, el cual se plantea realizando un análisis morfológico, que se basa en relacionar los elementos solución, propuestos, y los requerimientos funcionales de cada sistema subsistema.

La metodología utilizada para el análisis morfológico fue la matriz morfológica, la cual se caracteriza por ser útil para generar una mayor cantidad de opciones (figura 3.4).

Una fuente de información, para generar opciones de solución, fue la búsqueda de información comercial de prótesis y órtesis y literatura sobre estos dispositivos, para conocer la forma como se ha resuelto este problema, así como de elementos que sean solución de acuerdo a las características de los sistemas funcionales definidos.

### 3.2.1 Soluciones existentes

En la búsqueda de información se encontró que en el mercado hay muy pocos dispositivos que pudieran ser útiles, puesto que la anomalía que estamos manejando es única. Los dos dispositivos que se encontraron denotan diseños poco adecuados y además son muy caros. Por ello nos planteamos la necesidad de tomar dentro de los principales puntos del diseño el precio del dispositivo y la calidad del diseño.

Un dispositivo encontrado [23] gracias al apoyo del técnico de prótesis y órtesis Alberto E. Castillo Moreno O. P. es el que se muestra en la figura 3.5.

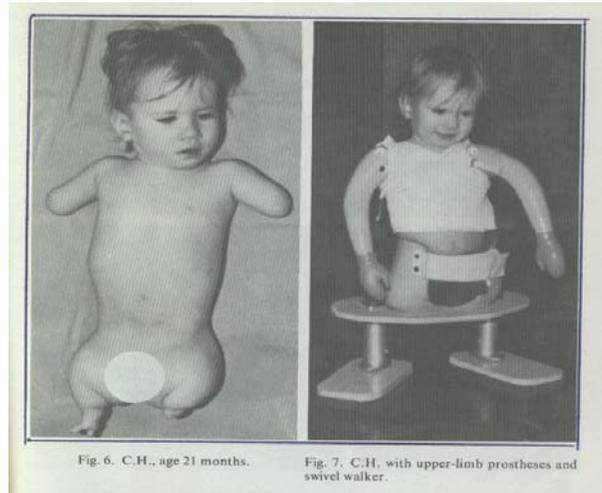


Figura 3.5 Swivel walker (andadera con giro), Creado por el centro para niños discapacitados en Ontario Canadá [23]

La solución mostrada se observa de fácil elaboración sin embargo de la consulta con el técnico Castillo nos comentaba la dificultad de conseguir materiales internos a la prótesis y un mecanismo que solo los diseñadores del Centro de Ontario poseen el diseño, lo fabrican y venden a un elevado precio. El otro dispositivo del que se tiene conocimiento es el mencionado en los antecedentes, es una prótesis que utilizó y ya no le es funcional a Carlos, es totalmente inestable.

### 3.2.2 Análisis morfológico

Sin embargo al haber dividido la prótesis en varios sistemas se encontró las opciones que se plasman en la matriz morfológica y en algunos casos se encontró elementos, de los que se tomó características importantes como la ergonomía, por ejemplo partes de órtesis.

Aunado a los elementos encontrados también se utilizó la técnica de lluvia de ideas, de la que se obtuvieron algunas de las propuestas que se marcan con ^ en la matriz morfológica.

Los elementos encontrados en el mercado se marcan sus referencias (Fig. 3.4) de la siguiente manera:

- 1- Swivel Walker modificado [23].
- 2- Prótesis que usó Carlos. Prótesis donada por Fundación Shriners de México.
- 3- Órtesis para niños parapléjicos.
- 4- Carro para niños minusválidos.
- 5- Ossur – Prótesis, Catálogo de Productos. <http://www.ossur.com>
- 6- Arnés

[http://www.vertimania.com.mx/vertical%20news/consultorio/como\\_cuidar\\_mi\\_arnes.htm](http://www.vertimania.com.mx/vertical%20news/consultorio/como_cuidar_mi_arnes.htm)

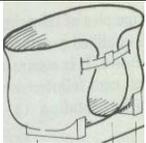
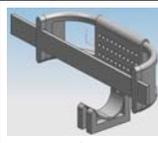
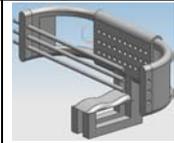
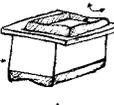
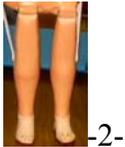
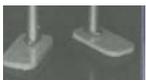
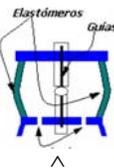
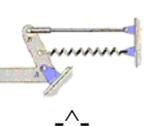
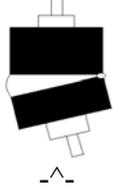
Sistema	Opcion1	Opcion2	Opcion3	Opcion4	Opcion5	Opcion6	Opcion7
Sujetador al cuerpo (S)	 -1-	 -2-	 -3-	 -6-	 -^-	 -^-	
Extensión al piso (E)	 -^-	 -2-	 -4-	 -^-	 -^-	 -^-	 -^-
Contacto con el piso (C)	 -1-	 -2-	 -^-	 -5-	 -5-		
Acople entre sujetador y extensión (A-S-E)	 -^-	 -2-	 -5-	 -^-	 -^-	 -^-	 -^-
Acople extensión y contacto piso (A-E-C)		 -2-	 -^-				

Figura 3.4 Matriz morfológica.

Como se puede observar en la matriz morfológica hay diversas opciones para el contacto con el piso, quien está estrechamente ligada con la extensión al piso, en cuanto al tipo de contacto del dispositivo terminal se puede dividir dos principios: con ruedas y sin ruedas.

Mientras que en la extensión al piso (E) es esencial para determinar la forma de transformar la fuerza rotacional en lineal, el control de la dirección, tamaño, etc., que son características básicas del dispositivo, es por ello que hay que tener bien claro lo que se quiere y se necesita, para ello toma gran relevancia la fase realizada de especificación del problema.

A continuación se utilizaron las especificaciones determinadas en el capítulo 2 para la fase de selección.

### 3.3 Evaluación de las opciones de solución

Tomando en cuenta lo explicado anteriormente se inició la selección de la opción que mejor cumple con las especificaciones determinadas (en el capítulo 2).

Durante esta parte del proyecto se analizaron las diferentes propuestas mostradas en la matriz morfológica contra las especificaciones de diseño con el objetivo de evaluar que

tanto cumplen las opciones con las especificaciones definidas en la sección 2.3 y por lo tanto seleccionar una de las propuestas y para ello se utilizó la técnica de la matriz de decisión. Para evaluar las opciones se muestra en la figura 3.6 la escala utilizada [9]

La técnica de selección aplicada consistió en: una matriz de decisión para cada uno de los sistemas y subsistemas propuestos. En la figura 3.7 se muestra la matriz de decisión realizada para el subsistema de sujeción. En el apéndice 2 se muestran las matrices de decisión de los otros sistemas y subsistemas.

Escala manejada:	0	Solución inutilizable
	1	Solución muy inadecuada
	2	Solución débil
	3	Solución pobre
	4	Solución tolerable
	5	Solución satisfactoria
	6	Solución buena con algunas desventajas
	7	Solución buena
	8	Solución muy buena
	9	Solución excelente
	10	Solución ideal

Figura 3.6 Escala utilizada en las matrices de decisión.

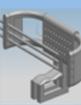
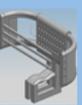
Especificaciones																	
Dimensiones		Peso	Volumen	Numero de Piezas	Mantenimiento	Costos						Opcion	Total	Jerarquía			
Ancho	Grosor				Periodicidad	Duración en mantenimiento	Cantidad de herramientas	Sensibilidad a cambios futuros	Fabricación	Materiales	Reparación						
6.35%	6.35%	4.66%	4.41%	1.94%	2.47%	0.41%	0.77%	7.47%	2.23%	3.51%	2.04%						
	S1	3	4	5	5	7	3	1	1	2	5	6	2		S1	1.6319	5
	S2	2	4	5	5	5	3	1	1	2	5	6	2		S2	1.5297	6
	S3	4	5	5	6	4	4	4	4	8	4	6	4		S3	2.2718	4
	S4	8	7	7	7	6	7	7	5	9	5	5	5		S4	3.0051	1
	S5	8	7	7	6	6	7	7	5	8	4	5	5		S5	2.8639	2
	S6	8	7	7	6	5	7	7	5	8	4	5	5		S6	2.8445	3

Figura 3.7 Matriz de decisión para el sujetador.

Es importante hacer notar que no todos los parámetros técnicos ó especificaciones se aplican a todos los elementos y por lo tanto para evaluar cada sistema se toman en cuenta solo los parámetros que se relacionan directamente con el sistema evaluado.

En la tabla 3.1 se muestra la selección de las propuestas evaluadas mediante las matrices de decisión de los diferentes sistemas, se proponen las dos opciones calificadas como mejores.

Debido a que la mejor opción para cada sistema (se muestra en la figura 3.8) no necesariamente son compatibles entre si, se prosiguió a realizar la conjunción de las opciones para cada parte y definir un dispositivo completa y detalladamente.

En esta figura no se observa a plenitud y con detalle todas las características definatorias, de las cuales se mostraran algunas en el siguiente capitulo.

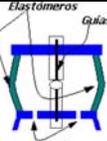
Sistema	Opción 1	Opción 2
Sujeción	 S4	 S5
Acople S-E	 A-S-E-1	 A-S-E-6
Extensión	 E6	 E5
Acople E-C	 A-E-C-2	 A-E-C-1
Contacto	 C1	 C4

Tabla 3.1.- Opciones seleccionadas

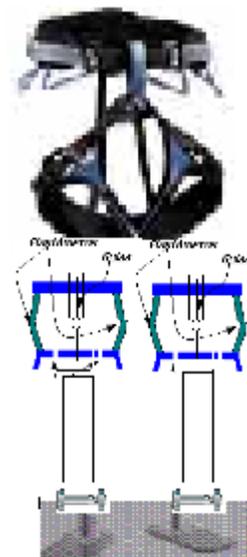


Figura 3.8 Primera opción.

Estas propuestas no son definitivas y pueden cambiar durante la fase de detalles.

## 4 Diseño conceptual detallado

Durante este capítulo se desarrolla de forma detallada las características de las partes que conforman la prótesis. Basándose en los resultados obtenidos en el capítulo anterior para las opciones seleccionadas para cada sistema. Se mostrará un esbozo de las características dimensionales de acuerdo al peso, dimensiones, funcionalidad, ergonomía., de cada una de las partes, en forma individual, para posteriormente mostrar un esbozo del ensamble. Se propone principalmente una forma detallada de los elementos de los sistemas y subsistemas.

Un apoyo importante que se utilizó para determinar éstas características detalladas fue realizar un estudio de compatibilidad individualmente y dentro del conjunto, de cada componente.

Durante todo este capítulo, así como en los anteriores, se utiliza como apoyo el uso de software de computadora, para esta sección se utiliza Unigraphics, el cual proporciona flexibilidad en el diseño de detalles y cambios posteriores.

Se incluyen finalmente un esbozo de los planos de diseño y ensamble.

### 4.1 Diseño detallado del concepto de sistema Sujetador al cuerpo (S)

El elemento seleccionado para este sistema se basa en sujetar al paciente con el principio de un arnés (figura 4.1) que implica soportar el peso por tirantes que se unen por una parte a soportes donde se apoyan las piernas y por otro lado a un cinturón pélvico que se sujeta a la cintura del usuario.



Figura 4.1 Arnés comercial

Mediante este sistema se propone que el peso sea cargado por los soportes donde entrarían las protuberancias pélvicas, que tiene el paciente en lugar de piernas y sea transmitido mediante los tirantes hacia una base formada por un cinturón pélvico.

Este sistema está relacionado totalmente con los cambios en las dimensiones de la cintura.

Realizar la proyección de la variación de las dimensiones de las partes que conforman este sistema fue un tanto complicado, ya que al ser un caso no convencional no se encontraron proyecciones de los cambios de dimensiones en la literatura. Por ello desde el inicio de los

encuentros del equipo de diseño con el paciente se tomaron las medidas de las dimensiones que se muestran en la figura 4.2. Posteriormente a los 6 meses se tomaron nuevamente las medidas.

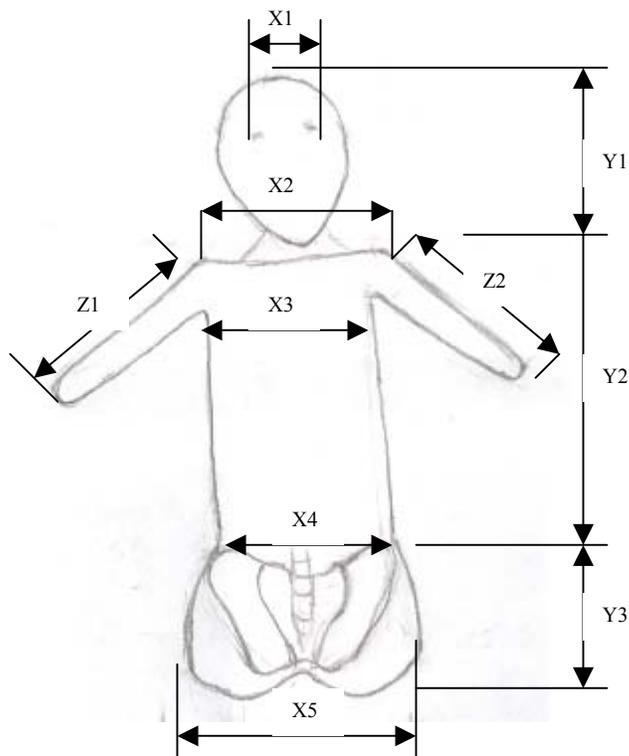


Figura 4.2 Esquema para dimensiones

Dimensión	Definición	1ª medición (4 años-3.5 meses)	2ª medición (4 años-9.5 meses)	Variación 1ª -2ª
		[cm]	[cm]	[cm]
X1	Pupilar	6	6.5	0.5
X2	Entre hombros	27	33	6
X3	Tórax 1	*P=63, *A=16	P=68, A=22.5	<b>P=5, A=6.5</b>
X4	Cintura	P=58, A=18.5	P=68.5, A=24	<b>P=10.5, A=5.5</b>
X5	Protuberancias 1	25.5	31.5	<b>6</b>
Y1	Cabeza	20	21	1
Y2	Tórax 2	26	31	5
Y3	Protuberancias 2	12	18	<b>6</b>
Z1	Muñón derecho	19	21	2
Z2	Muñón izquierdo	18	20	2
P. C.	Perímetro cefálico		51	
P	Peso	12.4 [Kg.]	14.9 [Kg.]	2.5 [Kg.]

\*Donde A se refiere a la dimensión vista en el plano frontal y P al perímetro en la misma zona.

Tabla 4.1 Cambios en dimensiones y peso

En la tabla 4.1 se puede notar los cambios dimensionales en todo el cuerpo, resaltando que las partes más cambiantes son el tórax, la cintura (de manera más notoria en el perímetro) y las protuberancias hemipélvicas, y también son importantes ya que afectan directamente en nuestro diseño.

El peso presenta un cambio significativo, sin embargo este depende de muchos factores como lo son la actividad física, hábitos alimenticios, metabolismo, entre otros. En este caso el cambio fue sustancial debido a que al dejar de utilizar la prótesis anterior (explicada en los antecedentes), Carlos dejó de realizar el ejercicio que le provocaba el usar tal prótesis, además le limitó la capacidad de desplazarse sin ayuda de sus familiares. La propuesta que se describe a continuación cumple con tal requerimiento.

Los cambios en las dimensiones X4, X5 y Y3 influyen directamente en el sistema sujetador al cuerpo (S) que debe adaptarse a ellos. Ya que como se ha dicho el sistema base es el arnés, en este caso se propone una estructura base semirígida que se acopla a los cambios, la cual consta de un soporte central (figura 4.3), dos soportes laterales (figura 4.4), los cuales forman unidos el cinturón pélvico. La manera como se acopla este cinturón pélvico a los cambios es desplazando los soportes laterales sobre el soporte central, semejante a un mecanismo de corredera, para fijarlos en una dimensión se tienen puntos específicos determinados por orificios roscados a lo largo de ambas partes que al coincidir en sus centros se acoplan por medio de unos tornillos que fijan las dos partes.

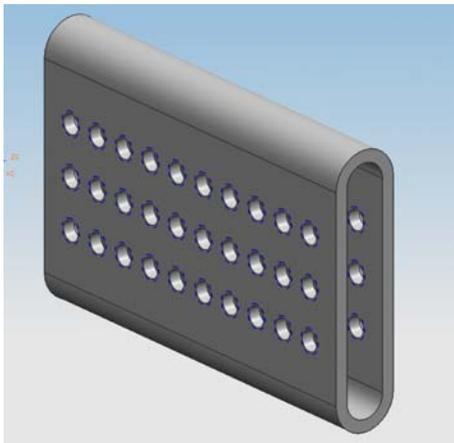


Figura 4.3 S- sop-cent.

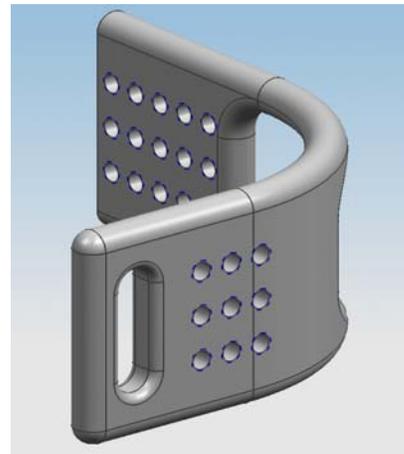


Figura 4.4 S- sop-lateral

Para solucionar el requerimiento de comodidad y ergonomía se decidió implementar al sujetador con un contenedor flexible de un material tan flexible y cómodo como lo es la tela. Al cual se le llamó revestimiento (figura 4.5) y consta de un contenedor ergonómico, que sujeta directamente al paciente, que se une al cinturón pélvico rodeándolo. Además se utilizan unos elementos que proporcionen comodidad sobre los principales puntos de apoyo del paciente sobre el cinturón pélvico (figura 4.6). Estos puntos son los costados y la parte que está en contacto con la espalda.

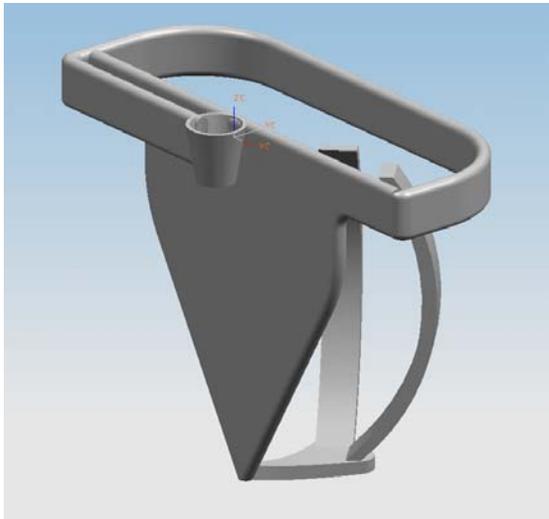


Figura 4.5 S-revestimiento

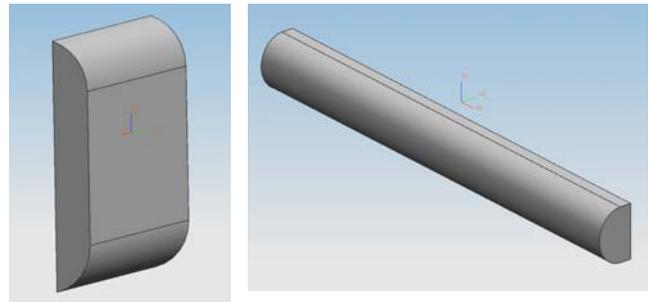


Figura 4.6 S-revest-lateral y posterior

Los orificios roscados que se muestran junto a la ranura en el soporte lateral sirven para acoplar una extensión al soporte lateral (figura 4.7) que transmite la fuerza del peso y recae en la base del sujetador (figura 4.9), este elemento se encuentra a en ambos costados, mientras que un elemento semejante llamado extensión del soporte central (figura 4.8) se sitúa en la parte posterior del cinturón pélvico y se atornilla en el soporte central del cinturón y en la base del sujetador. Estas tres partes (extensiones) generan el hueco donde se alojarán los glúteos, el aparato reproductor y la protuberancias hemipélvicas. Tienen la posibilidad de cambiar la altura, ancho y grosor del hueco.

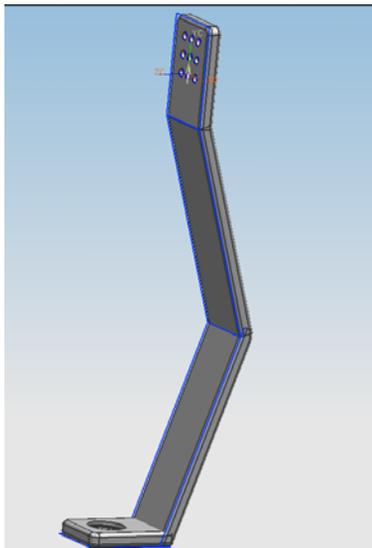


Figura 4.7 S-ext-sop-lateral

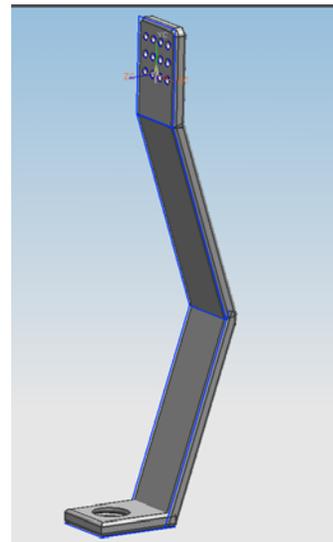


Figura 4.8 S-ext-sop-cent

La base del sujetador mostrada en la figura 4.9 tiene un sistema de corredera para cambiar la posición las extensiones de los soportes laterales y fijar con tornillos en el punto que se

requiera y soportar la extensión del soporte central. En la parte inferior se muestran dos cavidades cilíndricas que la unen con el acoplamiento soporte extensión (A-S-E).

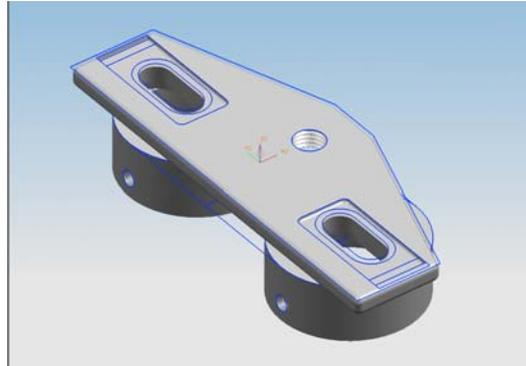


Figura 4.9 S-base

#### 4.2 Diseño detallado del concepto de subsistema Acoplamiento Sujetador-Extensión (A-S-E)

El subsistema de acoplamiento que une el sistema de Soporte con el sistema de Extensión elegido, se muestra en la figura 4.10, tiene gran importancia al relacionar y transformar la fuerza en movimiento, el concepto plantea una parte central que esta formada por dos barras guías en el centro unidas, por una articulación. Esta parte central se dispuso dentro de un cilindro hueco hecho de un material elastómero que proporciona amortiguamiento al peso. Este subsistema de acoplamiento se coloca dentro de las cavidades inferiores de la base del sistema Sujetador.

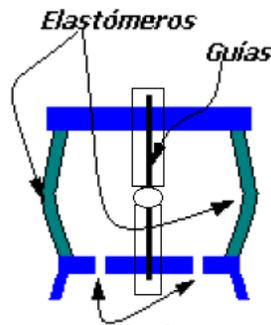


Figura 4.10 Acople S-E

A continuación se muestran las imágenes generadas de las distintas piezas que se detallaron mediante Unigraphics.

La figura 4.11 muestra la barra guía superior, en la parte superior de esta pieza se muestra una parte sobresale de la parte central (cuerpo rectangular) que sirve de unión con el cilindro hueco de elastómero, mediante un cilindro llamado balero (figura 4.12) que guía y

limita el movimiento rotatorio hasta un ángulo de  $30^\circ$ . Por el otro extremo la barra guía superior se une con la barra guía inferior mediante una articulación cilíndrica (figura 4.14). En esta zona de unión se limita la rotación, hacia atrás, hasta un ángulo de  $20^\circ$  respecto a la horizontal y hacia delante no pasa de un de ángulo  $0^\circ$  (horizontal), además se incluye una pequeña sección triangular de elastómero (Figura 4.13) adelante para amortiguar el impacto entre la parte frontal de ambas barras guías.

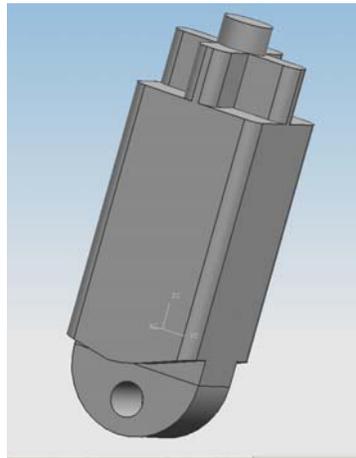


Figura 4.11 A-S-E-guía-sup

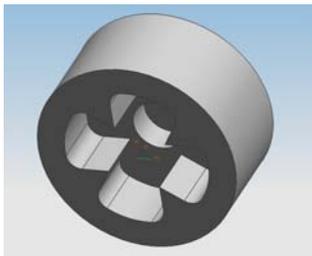


Figura 4.12 A-S-E-balero

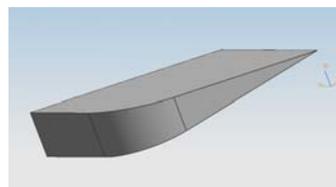


Figura 4.13 A-S-E-sección-elast

La articulación cilíndrica (figura 4.14) es solo un pasador que permite la rotación horizontal, la cual se limita en el eje horizontal por el diseño de una sección triangular en la guía superior (figura 4.11). La rotación respecto al eje vertical se limita mediante la forma de los canales que se muestran en el balero, aunado a la deformación por torsión del cilindro de elastómero (figura 4.16).

Como base del sistema de acoplamiento se tiene el cilindro que se muestra en la figura 4.17, que también hace contacto directo con la Extensión.

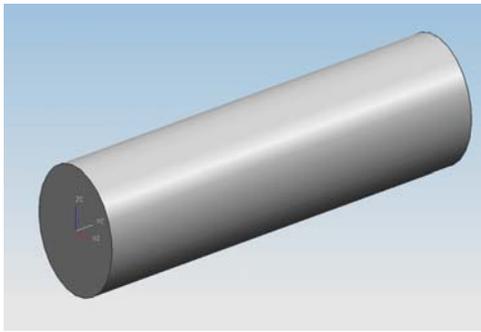


Figura 4.14 A-S-E-articulación-cilíndrica

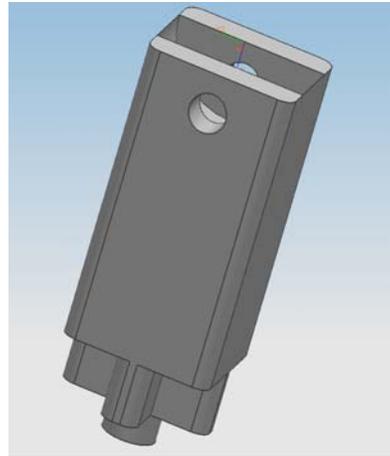


Figura 4.15 A-S-E-guía-inf

En la figura 4.15 se muestra la guía inferior que tiene una parte sobresaliente de la parte rectangular central y que sirve de acoplamiento a un balero de forma similar a la guía superior. El balero se inserta en la base del subsistema A-S-E (Figura 4.17).

Es importante resaltar que para esta propuesta es de suprema importancia las características del elastómero del cual se haga el cilindro, ya que este debe soportar parte del peso del paciente y demás partes de la prótesis que se ubican por encima de él y servir de base en los movimientos de rotación vertical, flexión y extensión del sistema E.

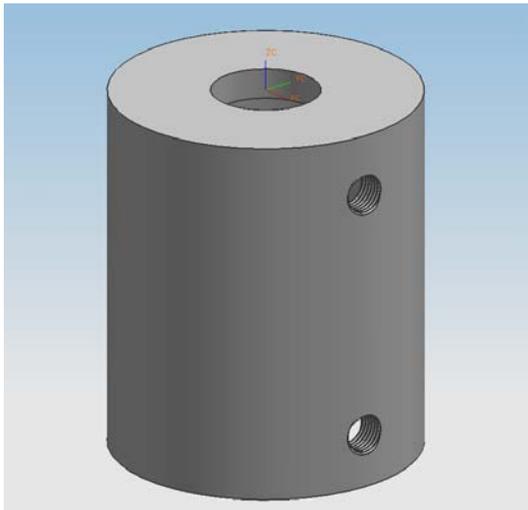


Figura 4.16 A-S-E-elastómero

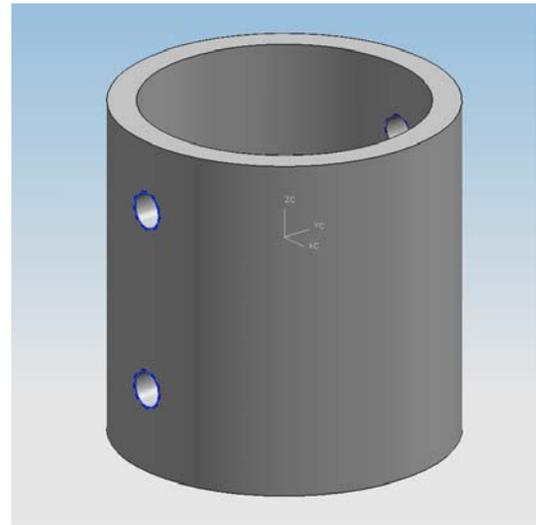


Figura 4.17 A-S-E-base

### 4.3 Diseño detallado del concepto de sistema Extensión (E)

El sistema Extensión mejor calificado en la matriz de selección es el mostrado en la figura 4.18 principalmente por la capacidad que tiene de cambiar la altura del paciente y la cantidad de piezas que utiliza entre otras características.

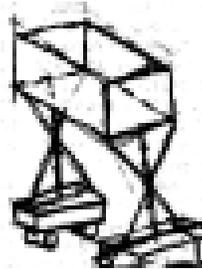


Figura 4.18 Sistema Extensión (E)

Del desarrollo de detalle de los demás sistemas, se llegó a una simplificación de este sistema propuesto en el diseño conceptual, que mejora las características necesarias para este sistema, el cual está formado por dos tubos uno externo hueco (figura 4.19) y uno sólido interno (figura 4.20), este sistema modificado desplaza el tubo interno dentro del externo de tal manera que permiten que se pueda variar la altura de la Extensión, que se fija con tornillos que se introducen los orificios roscados que tienen los tubos.

La variación en la altura es importante porque al variar el peso y el tamaño de Carlos habrá que ir acomodando la altura a esos cambios, ya que es importante notar el cambio en el centro de masa debido a esos cambios de tamaño. Otra ventaja es que al aumentar el grado de dominio sobre la prótesis puede aumentar la altura.

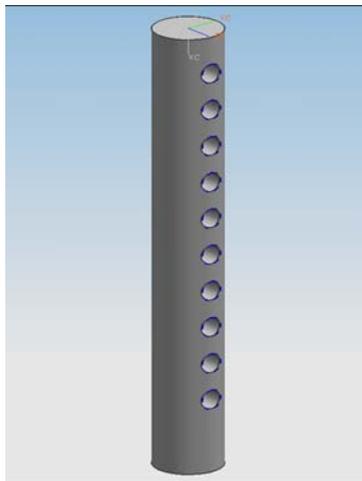


Figura 4.19 E-externo

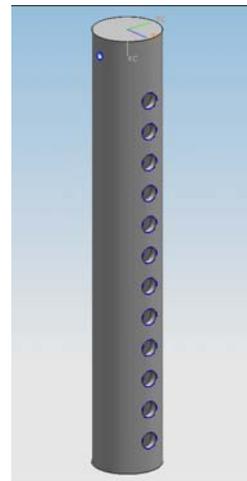


Figura 4.20 E-interno

#### 4.4 Diseño detallado del concepto de subsistema Acoplamiento Extensión-Contacto al piso (A-E-C)

El subsistema de acoplamiento entre el sistema de Extensión y el de Contacto al piso depende prácticamente de la selección del último. Para este subsistema se propuso durante el diseño conceptual un par de opciones que se muestran en la figura 4.21, de las cuales la primera consiste en un tornillo que se propone que este en posición horizontal y que apoya a la cadencia de la prótesis en movimiento, aunque esto es teóricamente. En la segunda opción se propone que sea fija la unión entre los sistemas, como en la prótesis que ya utilizaba anteriormente.

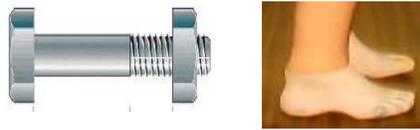


Figura 4.21 Subsistema A-E-C

De estas la seleccionada como mejor por las especificaciones es la de tornillo. Sin embargo en esta fase de detalles se decidió como mejor en este caso, por acoplarse mejor a las otras piezas seleccionadas, la fija, mediante un tornillo en el centro del sistema de contacto. La principal restricción para esta selección fue la opción seleccionada para el sistema de Contacto (Figura 4.22) al piso que se explica a continuación.

#### 4.5 Diseño detallado del concepto de sistema Contacto al piso (C)

Para este sistema se seleccionó en el capítulo anterior la opción que se muestra en la figura 4.22, la cual es una parte de la prótesis desarrollada por el centro Canadiense ya explicada en el capítulo anterior.

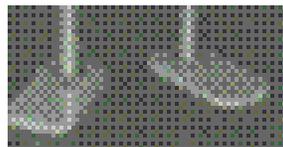


Figura 4.22 Contacto al piso

La selección de esta opción como mejor dependió de las características actuales del problema, que se basan principalmente en las características de la prótesis que utilizaba (que basa la importancia de la estabilidad de la prótesis en este sistema). Sin embargo se propone que debido a los cambios constantes, tanto físicos como intelectuales, la adaptación a la prótesis y el dominio de ella por el paciente ira en aumento, por ello lo que se propone es que entre más aumente su habilidad al deambular con la prótesis pueden cambiarse, de manera secuencial, las características de esta parte por una de las mostradas en las figuras 4.23 y 4.24. Estos cambios secuenciales pueden mejorar la cadencia de la deambulación.



Figura 4.23 C-secuencia-1



Figura 4.24 C-secuencia-2

Por lo tanto, el desarrollo del detalle de la propuesta inicial se basa en tener una base que consiste en un cubo amplio (de área superficial) que se muestra en la figura 4.25, y que se contacta directamente con un tornillo al sistema de extensión en la parte central del cubo. En la parte inferior del cubo se dispone una parte que tiene la función tanto de desgaste (ya que esta en contacto directo con el piso) así como de amortiguamiento del impacto durante el movimiento. Es importante la selección del material para esta parte ya que como se ha dicho es la parte que se desgasta, hace la función de una suela de zapato (Figura 4.26).

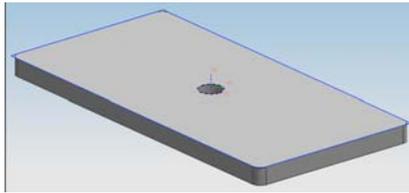


Figura 4.25 C-base

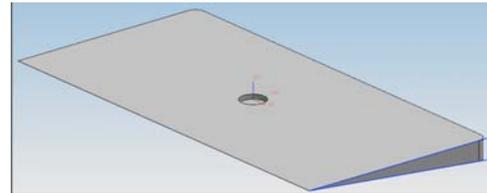


Figura 4.26 C-suela

Este capítulo se concluye con un esbozo de los planos de diseño de detalle donde se muestran las dimensiones y formas de las piezas. Estos planos están contenidos en el apéndice 3. Mientras que en el apéndice 4 se incluye un esbozo de planos de subensambles y ensamble general de la prótesis. En la figura 4.27 se muestra una vista general de la prótesis.

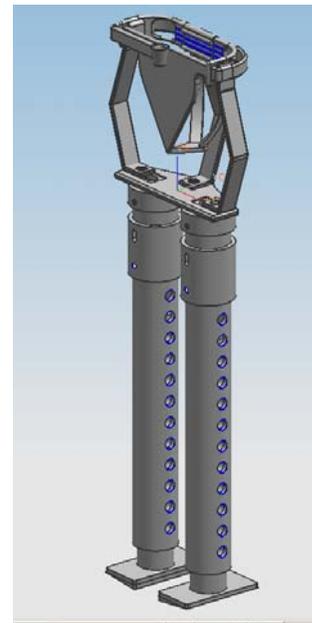


Figura 4.27 Prótesis diseñada

## Análisis de resultados y conclusiones

### Análisis de resultados

En este trabajo se buscó llegar a un diseño que cumpla con los requerimientos del paciente, para ello fueron utilizadas diferentes herramientas computacionales que facilitaron el desarrollo de las fases del proceso de diseño.

Es importante hacer notar que la directriz de este trabajo es el método de diseño mecánico comúnmente utilizado en el diseño de productos que buscan satisfacer necesidades de un consumidor con base en sus requerimientos. Este método ha demostrado que al ser aplicado correctamente puede generar resultados satisfactorios a los usuarios del producto, ya que el diseño final tiene las características que el mismo cliente ha determinado que son importantes en el producto. En la primera fase del método de diseño se realiza un análisis del problema para tener un amplio panorama del problema, del ambiente que rodea al problema y de las consecuencias, para poder comprender mejor las características necesarias e importantes a solucionar mediante el diseño.

Este diseño se ha realizado con base a los requerimientos expresados por los usuarios de la prótesis que en este caso son Carlos como principal usuario y sus padres como otros usuarios. También se tomaron características de otras prótesis aplicables a este diseño y algunas sugeridas por expertos en prótesis. Logrando al final un conjunto de requerimientos que aunque no son todos los posibles, son los necesarios para definir claramente las características necesarias de la prótesis.

En la fase de especificación del problema se llegó a una serie de especificaciones del diseño que son características medibles bajo las cuales se evaluó posteriormente las propuestas de diseño, además de ser una guía para definir las funciones mediante el método de la “caja negra”. Las especificaciones propuestas en base a los requerimientos se jerarquizaron bajo la metodología de la casa de la calidad que es solo una parte del despliegue de la función de calidad (*QFD*), pero se usó solo esta parte para determinar la importancia relativa de requerimientos y especificaciones, dando buenos resultados ya que se pretendía minimizar la subjetividad del punto de vista del diseñador sobre la determinación de la importancia de las especificaciones.

En la siguiente fase que se considera el alma del proceso de diseño ya que es donde se le dio forma real a la solución mediante las propuestas de solución. Primero se realizó un análisis funcional básico de entradas y salidas usando la metodología de la “caja negra” a “caja transparente”, mediante la cual se definieron las funciones principales de la prótesis. En base a un árbol de funciones se especificó claramente cada una de las funciones requeridas, para al final del análisis funcional simplificar las funciones en tres sistemas básicos que son el sujetar al paciente (S), separarlo del piso (E), y el contacto con el piso (C), mientras que estos sistemas se interrelacionan mediante acoplamientos entre el sujetador y el extensor (A-S-E) y otro entre el extensor y el contacto al piso (A-E-C), estos son los mínimos necesarios para la prótesis, sin embargo estos se pueden multiplicar y

generando una solución que genere una forma de desplazarse mejor con otra cadencia. En la figura 6.1 se muestra la cadencia de movimiento que logrará Carlos con uso de esta prótesis.

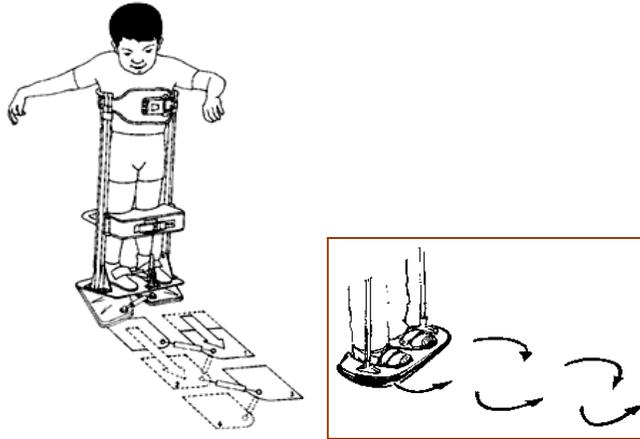


Figura 6.1 Cadencia de desplazamiento

En cuanto a la forma del dispositivo del sistema Contacto al piso, que en este caso resultó seleccionada y es un cubo (Figura 4.25), puede cambiar por una que tenga una apariencia semejante a un pie humano, de acuerdo a la necesidad de estabilidad, para ello se plantea el desarrollo de un prototipo y pruebas sobre éste.

## Conclusiones

El diseño conceptual de la prótesis al que se llegó en esta tesis tiene las características necesarias para cumplir con los requerimientos planteados en la especificación del problema, ya que se tomaron en cuenta las especificaciones generadas en el proceso, para evaluar las propuestas de solución planteadas en este proceso de diseño y se escogió la mejor opción propuesta para cada sistema y subsistema mediante la matriz de decisión.

La cantidad de requerimientos se puede multiplicar para definir otra cadencia de desplazamiento, o resultar como mejor opción otra de las propuestas en la matriz morfológica, por ejemplo una con ruedas, con una transmisión de movimiento de partes mecánicas ó el uso de mecatrónica.

Uno de los requerimientos limitantes más importantes como se muestra al final del capítulo de especificación del problema es que le promueva el movimiento, hecho que cumple cabalmente este diseño ya que la relación entre el esfuerzo físico de Carlos y el movimiento que se genera es lineal porque si no hace el esfuerzo para moverse no se desplazará. De no haberse tenido esta restricción el desarrollo hubiera tendido en otro sentido, como una silla con ruedas, mecánica o mecatrónica.

Otra restricción relevante es que se base en la forma de desplazarse que ya poseía Carlos, al llegar al Centro de Diseño y Manufactura (CDM), de la rehabilitación que él hizo para poder usar la anterior prótesis, que también se cumple, pero este es de gran importancia, ya que funciona como vínculo hacia la anterior prótesis y como se explicó en la tesis una

importante conclusión en cuanto a la problemática en general en la vida de Carlos, debida a la ausencia de miembros pélvicos, es que toda su vida va a necesitar prótesis y por lo tanto se tiene que realizar un plan de vida de las diferentes prótesis que va a necesitar en la diferentes etapas de crecimiento físico y desarrollo mental de su vida. En este trabajo solo se buscó apoyar con el diseño de una prótesis que no solo resuelva problemas de la anterior si no que lo prepare para una posterior.

En lo general las partes de la prótesis cumplen con la mayoría de las especificaciones evaluadas, aunque no en su totalidad, como se ve en el apéndice dos en las matrices de decisión, sin embargo esto puede mejorarse planteando opciones de solución que pretendan mejorar las características mas débiles de los diseños tomados en cuenta en la evaluación.

Al final del diseño conceptual de la prótesis se consideró conveniente hacer un esbozo del diseño de detalle que aclarará mejor el concepto para en una etapa posterior del proyecto (que no esta en los alcances de esta tesis) realizar un análisis de elemento finito estático y dinámico, una simulación del movimiento y determinar que tan correcta puede ser la solución para que se desplace Carlos con la prótesis.

La presentación del diseño generado hasta aquí a los usuarios es importante, ya que este diseño muestra la interpretación del equipo de diseño de los requerimientos expresados por el usuario y que el equipo de diseño los plasma en el diseño concepto, para proseguir con la construcción del prototipo.

El objetivo de utilizar el proceso de diseño utilizando diversas metodologías en cada paso, tomando en cuenta los requerimientos del paciente, desde un inicio para definir las especificaciones y calificarlas mediante la casa de la calidad, llevó a calificar y seleccionar una opción más objetivamente y agilizar un poco el proceso.

## Trabajo a futuro

Es mucho el trabajo a futuro necesario tanto para este proyecto como para el desarrollo de este tipo de proyectos en el CDM.

En cuanto al proyecto es necesario realizar análisis tanto simulados del diseño, como lo son estáticos y dinámicos, un análisis extenso y profundo de los materiales y procesos de manufactura necesarios, para posteriormente realizar prototipos. Para esto es relevante que se acorte el tiempo de diseño, ya que por ejemplo para este proyecto el niño esta cambiando constantemente y entre más tarde el proyecto, ya no se trata el problema con las variables de inicio reales.

Este tipo de proyectos requieren instalaciones apropiadas ya que no es lo mismo ver al paciente en una oficina que en un consultorio, para este tipo de proyectos de prótesis es importante tener instalaciones como un laboratorio de análisis de marcha que tal vez nos cambiaría la percepción de las capacidades de desplazamiento de un paciente con y sin prótesis y así evaluar de mejor manera un desempeño dinámico de la prótesis, que es una medida más real que una simulación dinámica.

# Apéndice 1

## *Antecedentes*

## Apéndice antecedentes

### Definición de la enfermedad

Este anexo muestra los resultados de la investigación bibliográfica referente al estudio que nos ocupa, para determinar las causas, condiciones y requerimientos del dispositivo que usará Carlos.

El defecto de desarrollo por haberse presentado desde el nacimiento constituye una enfermedad congénita.

Una enfermedad congénita del tipo de la displasia ósea es aquella que presenta anomalías, durante el desarrollo del embrión o del feto en algún momento específico de la gestación, que se pueden manifestar físicamente al nacimiento y otras que se manifiestan a edades más avanzadas. Las anomalías del desarrollo pueden ser defectos estructurales y/o morfológicos (llamados defectos congénitos o malformaciones congénitas fenotípicas), también hay anomalías funcionales, metabólicas, y del comportamiento. Estos defectos en su conjunto constituyen la principal causa de muerte en los recién nacidos hasta el primer año de vida. Principalmente por problemas de malformaciones cardíacas [10].

Anomalia Congénita o Defecto Congénito: Es cualquier anomalía del desarrollo morfológico, estructural, funcional o molecular presente al nacer (aunque se manifieste tardíamente), familiar o esporádica, hereditaria o no, externa o interna, única o múltiple [15] La ciencia que estudia las malformaciones congénitas es la Teratología, que literalmente significa “el estudio de los monstruos” [10]. Aunque el origen etimológico pudiera ser confuso, ya que el término monstruosidades se refería en primer término a alteraciones de las proporciones e integridad de los miembros en relación con el torso, sin denotar la etiología entendida como la causa de la aparición de un conjunto de signos y síntomas que constituyen un síndrome de presentación clínica [10].

El caso motivo de este estudio constituye una anomalía estructural que se manifiesta por una malformación de miembros pélvicos (ausencia total o amelia) y torácicos (desarrollo parcial o rhizomiéla).

### Causas de la enfermedad

La malformación de los miembros puede originarse por diversas causas específicas o por una interacción de varios factores:

Genética: Aunque las células y los organismos tienen los mecanismos para copiar y transmitir fielmente la información genética, a veces se producen errores en esta transmisión y por tanto alteraciones o mutaciones en la información genética de las células ó durante el proceso de desarrollo del producto, ya sea de la fusión de los gametos femenino y masculino que pasa por una serie de etapas en las que hay tanto duplicación,

como división del material genético del nuevo individuo. Se denomina enfermedad hereditaria aquella que puede transmitirse a los descendientes [12]

Las causas pueden darse por errores en la información transmitida en los genes que determinan el genotipo y fenotipo del desarrollo del feto, por ejemplo se pueden producir errores en el número de cromosomas, en este caso, el defecto es intrínseco. Pueden ser causados por una mutación aleatoria, como ocurre en muchos cánceres [10]. Los trastornos que causan las enfermedades hereditarias son congénitos, aunque los síntomas pudieran manifestarse más tarde, incluso años después del nacimiento.

Factores ambientales: Estos alteran los procesos de desarrollo y maduración embriológicos en presencia de un genotipo normal. Un ambiente nocivo puede ser generado por la ingestión de alcohol, drogas, medicinas, exposición a altos niveles de radiación, metales tóxicos como el plomo, determinadas infecciones (como la rubéola o sífilis) u otros productos químicos principalmente durante la gestación [14]. A estos agentes nocivos se les llama Teratógenos [10].

Las exposiciones a productos químicos en el medio ambiente pueden perjudicar la función reproductiva humana de muchas maneras. Los sistemas reproductivos masculino y femenino son importantes sistemas de órganos, los cuales son sensibles a numerosos agentes químicos, físicos y biológicos. La amplia gama de resultados reproductivos adversos incluye una reducción en la fertilidad, abortos espontáneos, bajo peso al nacer, malformaciones congénitas y deficiencias del desarrollo y maduración.

La transmisión de la información básica para el desarrollo embrionario y posteriormente fetal esta codificada en los genes en las cadenas de ADN, pero durante el despliegue de las instrucciones a través del RNA mensajero y de transcripción que da como resultado la síntesis de nuevas proteínas, las estructuras y órganos se ven influenciados por el ambiente intra y extrauterino, que puede ser compatible con el desarrollo normal o puede entorpecerlo.

Muchos defectos congénitos pueden prevenirse, esto es, los que se producen por sustancias ingeridas en las 8 primeras semanas del embarazo, llamado período de embriogénesis aún antes de que la mujer sepa que está embarazada, como es el caso de muchos antihistamínicos que se utilizan para disminuir las molestias de la gripe. La futura madre puede estar expuesta a ambientes perjudiciales como sucede en las fábricas de productos químicos, imprentas, etc.

El periodo de máxima susceptibilidad al desarrollo anómalo se presenta entre las semanas 3 y 8, que es cuando están comenzando a desarrollarse la mayoría de los principales órganos y regiones corporales. Mientras que las anomalías funcionales (por ejemplo retraso mental) o trastornos del crecimiento y maduración de segmentos corporales ya formados que se generan desde el tercero hasta el noveno mes de gestación [10]. En la figura A1.1 se muestra la susceptibilidad a las distintas anomalías.

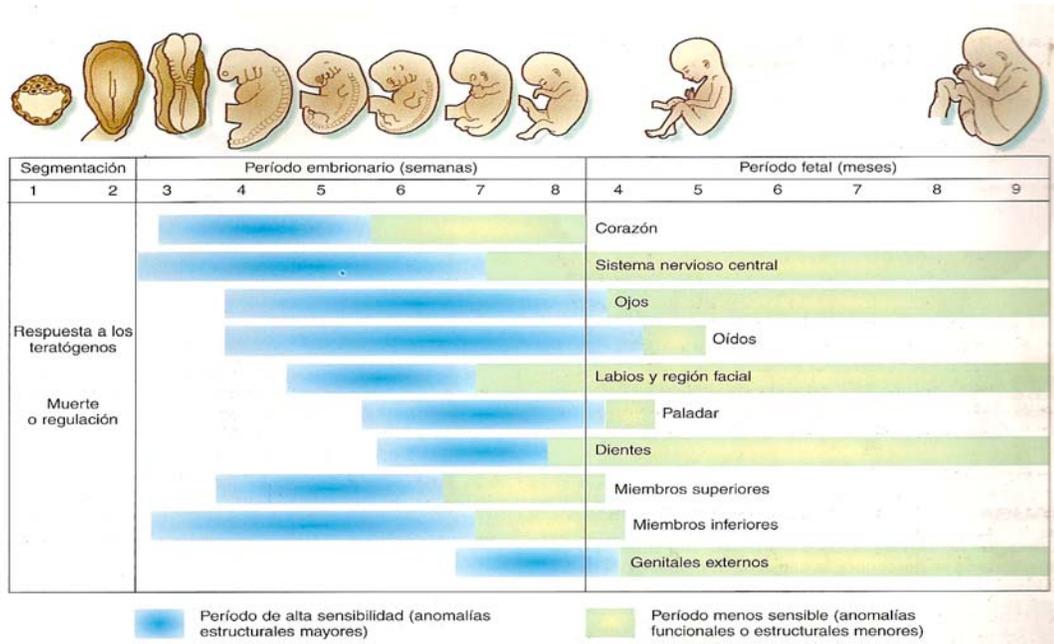


Figura A1.1 Periodos y grados de susceptibilidad de los órganos embrionarios (modificado de Moore KL. Persaud TVN: The developing Human, 5a ed., Filadelfia. 1993. WB Saunders) [10]

Los factores que se asocian con la incidencia de diversos tipos de malformaciones congénitas son [10]:

- La edad de los padres
- La estación del año
- El país de residencia
- La raza
- Las enfermedades familiares

Todavía se desconocen las causas de la mayoría de los defectos congénitos. Sin embargo, con los estudios del genoma humano, en todo el mundo hay investigadores que trabajan para descubrir las causas de estos defectos y encontrar forma de prevenirlos o intervenir en que se manifiesten por medio de procedimientos de Ingeniería Genética.

Las malformaciones congénitas reconocibles al nacimiento ocurren en el 3% de todos los recién nacidos. Son de origen genético el 90% de los casos y ambientales el 10% [11]. En la siguiente figura se muestra una grafica de las principales causas de defectos congénitos [10].

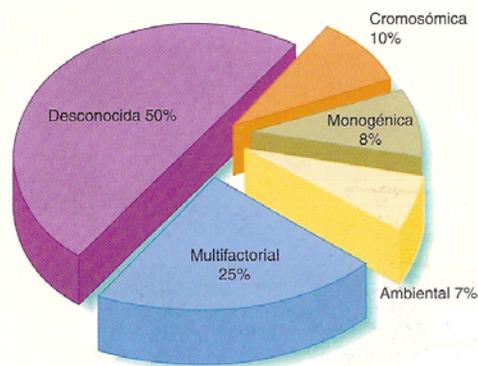


Figura A1.2 Principales causas de las malformaciones congénitas. (tomado de Persaud TVN, Chudley AE, Shaiko RC, eds. Basic concepts in teratology, Nueva York, 1985, Liss) [10]

Para determinar la causa específica o etiología del defecto congénito que afectó a Carlos sería necesario realizar un estudio genético que podría encontrar al gene o genes responsable. Se sabe que este tipo de problemas en algunos casos son multifactoriales y la apariencia externa o fenotipo no hace por sí misma el diagnóstico. Por las características visibles que presenta el paciente y después de realizar una Exploración física la Dra. Cristina León (quien asesora como parte del equipo de trabajo) no se pudo descartar que nuestro caso se tratara de una enfermedad congénita genética, ambiental ó combinación de ambas.

Los defectos genéticos o hereditarios pueden transmitirse en la familia, aunque sólo uno de los miembros de la familia biológica manifieste la enfermedad. Esto se debe a que las enfermedades genéticas pueden heredarse de tres formas diferentes: ligadas al cromosoma X, autosómicas dominantes y autosómicas recesivos [15].

Ligado al cromosoma X significa que la mutación genética (o defecto) se encuentra en el cromosoma X. En el caso de muchas enfermedades ligadas al cromosoma X, una copia normal del gene puede compensar la copia defectuosa. Debido a que los varones tienen sólo un cromosoma X, mientras que las mujeres tienen dos, las enfermedades ligadas al cromosoma X casi siempre se manifiestan en los varones. Existen genes recesivos y dominantes ligados al cromosoma X [15].

#### Recesivos ligados al cromosoma X

- Los hombres son los más afectados ya que con una madre portadora el carácter se puede expresar fenotípicamente. Si un niño recibe el cromosoma X defectuoso de su madre, la herencia de la anomalía relacionada con esa copia del cromosoma X será la causa del defecto (figura A1.3a) [15]. En las mujeres se necesita que ambos padres sean portadores. Si el carácter es recesivo, casi todas las personas que mostrarán el fenotipo serán hombres [13].

- Ningún descendiente varón de un hombre afectado mostrará el fenotipo pero todas sus hijas mujeres, por recibir de él uno de sus cromosomas X serán portadoras (heterocigotas). La mitad de los hijos varones de estas mujeres mostrarán el fenotipo (Figura A1.3b) Una niña no exhibe el trastorno de la misma forma en que un niño lo haría porque ella tiene dos cromosomas X y el dominante sano compensa el defecto en el X recesivo. Sólo si ambos padres de una mujer tienen el defecto en sus cromosomas X [14].

#### Dominantes ligados al cromosoma X

- Los hombres afectados pasan su condición a todas sus hijas pero a ninguno de sus hijos.
- Las mujeres heterocigotas afectadas casadas con hombres normales pasan su condición a la mitad de sus hijos varones y mujeres. (Figura A1.5)

Hay desórdenes genéticos causados por [15]:

- Duplicación accidental de cromosomas, como en el síndrome de Down.
- Duplicación repetida de una parte del cromosoma, como en el síndrome de cromosoma X frágil.
- Existen varios trastornos genéticos recesivos asociados al cromosoma X, tales como la hemofilia y la distrofia muscular. éstos se heredan a través de un defecto genético en el cromosoma X.

Autosómico se refiere a que la mutación ocurre en otro cromosoma que no es el cromosoma X o Y, no ligado al sexo. Por consiguiente, estas enfermedades afectan tanto a hombres como mujeres por igual [15].

Autosómico recesivo significa que se requieren dos copias del gene defectuoso para que ocurra la enfermedad en toda su amplitud. Se hereda una copia del padre y otra de la madre, ninguno de los que presentaría normalmente la enfermedad [15].

Autosómico dominante significa que una copia del gene defectuoso es suficiente para ocasionar la enfermedad. Por lo tanto, una persona que hereda el gene defectuoso de su padre o madre tendrá la enfermedad, al igual que el padre o la madre [15].

Las miopatías hereditarias que se transmiten en un patrón autosómico dominante pueden rastrearse fácilmente en el árbol genealógico. Por el contrario, parece que las enfermedades ligadas al cromosoma X o los padecimientos autosómicos recesivos ocurren repentinamente. Pero en realidad, uno o ambos, padre y madre, pueden ser portadores, es decir, que como no necesariamente se manifiesta en el fenotipo portan silenciosamente una mutación genética. Muchos padres de familia no tienen idea de que son portadores de una enfermedad hasta que tienen un hijo o hija con la enfermedad [15].

Las miopatías hereditarias pueden aparecer en realidad "espontáneamente" cuando ocurre una nueva mutación durante la concepción de un niño o niña. [15] Estas se denominan mutaciones espontáneas y después de que ocurren, pueden transmitirse a la generación siguiente.

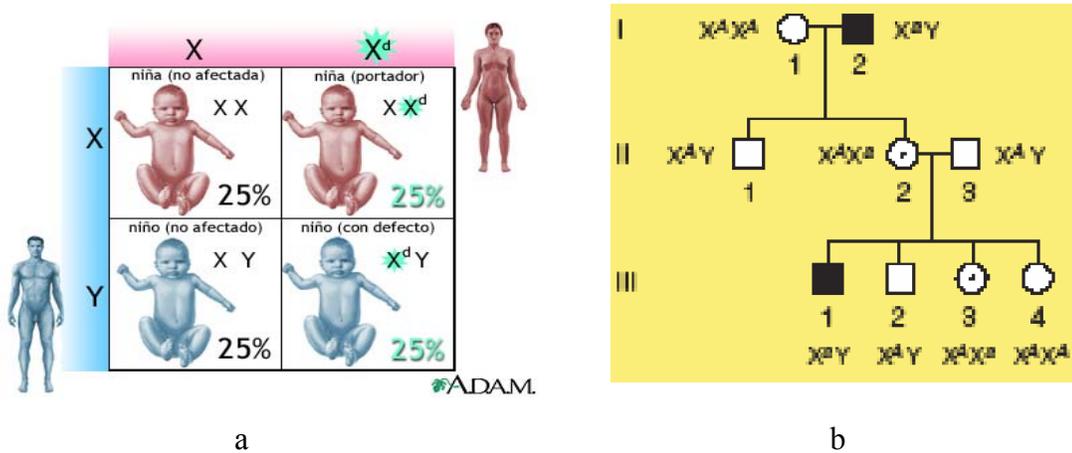


Figura A1.3 Probabilidad de transmisión de un defecto recesivo en niño [16], [15]

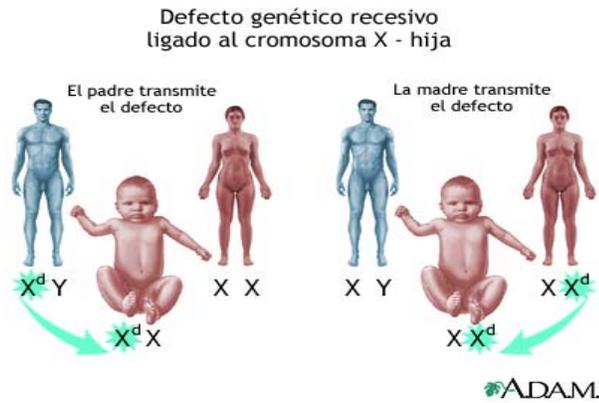


Figura A1.4 Transmisión de un defecto recesivo en niñas [16].

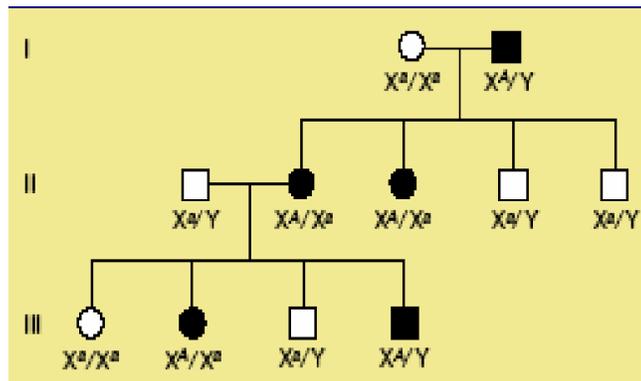


Figura A1.5 Transmisión de un defecto dominante [15].

## Tipos de displasias esqueléticas

Hasta hace poco tiempo, la clasificación de las displasias esqueléticas ha sido difícil por lo extraordinario de la condición y la falta de discernimiento de la etiología. Así pues, los trastornos con presentación similar fueron asimilados, y posteriormente separados bajo nuevas entidades.

En un intento por poner cierto orden, un grupo de expertos propuso una Nomenclatura Internacional para las Displasias Esqueléticas en París en el año de 1977. Esta clasificación fue revisada en Alemania en 1992 y más recientemente en Los Ángeles en 1998. La versión actual cambió su nombre a “Nomenclatura Internacional de los Trastornos Constitucionales de los Huesos” [18]

Las 5 categorías generales originales han sido ampliadas a 32 grupos.

Aquí se muestran (Figura A1.6) y se definen las seis más útiles (originales) para un diagnóstico general de displasias esqueléticas con extremidades cortas basado en el segmento de hueso largo afectado más severamente [17].

Acortamiento rhizomiélico.- segmentos proximales cortos, ejemplos: húmero, fémur.

Acortamiento mesomélico.-segmentos medios cortos, ejemplos: radio, cúbito, tibia, peroné.

Acortamiento acromegálico.- segmentos distales cortos, ejemplo: metacarpales, falanges.

Acortamiento acromesomélico.- segmentos medios y distales cortos, ejemplos: antebrazos, manos

Acortamiento micromelia.- acortamiento de las extremidades afectando la extremidad completa

Amelia.- ausencia total de la extremidad.

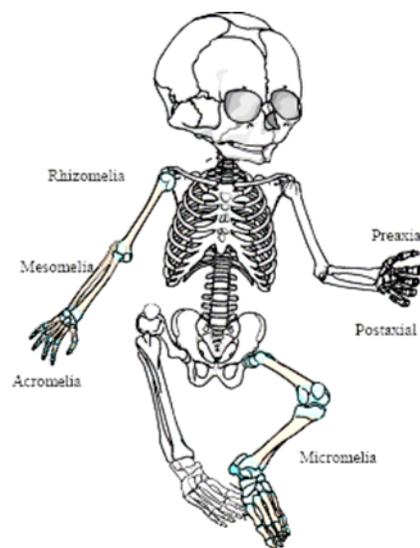


Figura A1.6 Displasias esqueléticas con extremidades cortas [17].

Hasta aquí se han definido claramente las características, las causas y otras bases necesarias para entender de manera amplia la problemática. Estas sirven de apoyo durante el desarrollo de los capítulos 2, 3 y 4, de este trabajo.

# Apéndice 2

Especificaciones																					Total	Jerarc
Dimensiones			Peso	Volumen	Numero de Piezas	Fuerza de impulso	Relación fuerza-impulso	Ángulo de giro	Tiempo de reacción al frenado	Tiempo de reacción al impulso	Tiempo de frenado	Máxima velocidad	Mantenimiento	Duración en mantenimiento	Cantidad de herramientas	Sensibilidad a cambios futuros	Costos					
Altura	Ancho	Grosor											Periodicidad			Fabricación	Materiales	Reparación				
7.15%	6.35%	6.35%	4.66%	4.41%	1.94%	11.10%	11.78%	5.94%	4.38%	5.56%	4.07%	7.42%	2.47%	0.41%	0.77%	7.47%	2.23%	3.51%	2.04%			
Opciones																						
	6	4	4	4	3	8	7	7	5	7	7	8	5	8	7	5	5	7	7	7		
E1	0.429250994	0.2539075	0.2539075	0.18621654	0.13237465	0.15497215	0.77666904	0.82432063	0.29688025	0.30674176	0.368894964	0.32525406	0.37108566	0.197777	0.028432391	0.03866493	0.37356569	0.15637815	0.24577615	0.14298212	5.8841	3
	6	3	2	5	7	7	7	7	6	5	5	6	3	3	2	2	1	5	5	2		
E2	0.429250994	0.19043063	0.12695375	0.23277067	0.30887419	0.13560063	0.77666904	0.82432063	0.3562563	0.21910126	0.27782117	0.24394054	0.2226514	0.0741664	0.00812354	0.01546597	0.07471314	0.11169868	0.17555439	0.04085203	4.8452	5
	3	3	4	4	4	3	6	6	4	6	6	6	4	4	5	6	3	5	4	4		
E3	0.214625497	0.19043063	0.2539075	0.18621654	0.17649954	0.05811456	0.66571632	0.70656054	0.2375042	0.26292151	0.33338541	0.24394054	0.29688853	0.0988885	0.020308851	0.04639791	0.22413941	0.11169868	0.14044351	0.08170407	4.5503	7
	6	4	5	3	4	3	8	8	4	6	6	6	4	5	5	6	4	5	3	4		
E4	0.429250994	0.2539075	0.31738438	0.1396624	0.17649954	0.05811456	0.88762176	0.94206072	0.2375042	0.26292151	0.33338541	0.24394054	0.29688853	0.1236106	0.020308851	0.04639791	0.29685255	0.11169868	0.10533264	0.08170407	5.367	4
	7	5	6	7	7	4	7	7	6	7	7	7	6	7	7	6	5	6	7	7		
E5	0.500792826	0.31738438	0.38086125	0.32587694	0.30887419	0.07748608	0.77666904	0.82432063	0.3562563	0.30674176	0.368894964	0.2845973	0.4453028	0.1730548	0.028432391	0.04639791	0.37356569	0.13403841	0.24577615	0.14298212	6.4384	2
	8	5	6	6	7	5	7	7	6	7	7	8	6	7	7	7	7	7	7	7		
E6	0.572334659	0.31738438	0.38086125	0.27932481	0.30887419	0.0968576	0.77666904	0.82432063	0.3562563	0.30674176	0.368894964	0.32525406	0.4453028	0.1730548	0.028432391	0.0541309	0.52299196	0.15637815	0.24577615	0.14298212	6.7029	1
	3	4	4	4	4	3	8	6	3	6	4	4	5	6	5	4	3	3	4	3		
E7	0.214625497	0.2539075	0.2539075	0.18621654	0.17649954	0.05811456	0.88762176	0.70656054	0.17812815	0.26292151	0.22225694	0.16262703	0.37108566	0.1483327	0.020308851	0.03093194	0.22413941	0.06701921	0.14044351	0.06127805	4.6269	4

Figura Matriz de decisión para la Extensión.

		Especificaciones																			
		Dimensiones			Peso	Volumen	Numero de Piezas	Ángulo de giro	Tiempo de reacción al frenado	Tiempo de reacción al impulso	Tiempo de frenado	Máxima velocidad	Mantenimiento	Costos							
		Altura	Ancho	Grosor									Periodicidad	Duración en mantenimiento	Cantidad de herramientas	Sensibilidad a cambios futuros	Fabricación	Materiales	Reparación		
		7.15%	6.35%	6.35%	4.66%	4.41%	1.94%	5.94%	4.38%	5.56%	4.07%	7.42%	2.47%	0.41%	0.77%	7.47%	2.23%	3.51%	2.04%		
<b>Opciones</b>																				Total	Jerarc
		5	5	6	8	8	7	8	8	8	8	7	7	7	7	7	8	8	7		
C1		0.357709162	0.31738438	0.38086125	0.37243308	0.35299907	0.13560063	0.4750084	0.35056201	0.44451388	0.32525406	0.51951993	0.17305484	0.02843239	0.0541309	0.522991962	0.17871789	0.28088703	0.14298212	5.413	1
		6	6	6	7	8	8	5	8	8	8	5	8	5	8	3	5	7	4		
C2		0.429250994	0.38086125	0.38086125	0.32587894	0.35299907	0.15497215	0.29688025	0.35056201	0.44451388	0.32525406	0.37108566	0.19777696	0.02030885	0.0618639	0.224139412	0.11169868	0.24577615	0.08170407	4.7564	4
		7	4	4	4	6	8	4	8	7	8	5	8	5	5	5	8	7	7		
C3		0.500792826	0.2539075	0.2539075	0.18621654	0.2647493	0.15497215	0.2375042	0.35056201	0.38894964	0.32525406	0.37108566	0.19777696	0.02030885	0.0386649	0.373565687	0.17871789	0.24577615	0.14298212	4.4857	6
		8	8	8	9	9	8	7	7	8	8	5	8	7	5	7	2	2	2		
C4		0.572334659	0.507815	0.507815	0.41898721	0.39712395	0.15497215	0.41563235	0.30674176	0.44451388	0.32525406	0.37108566	0.19777696	0.02843239	0.0386649	0.522991962	0.04467947	0.07022176	0.04085203	5.3659	2
		8	8	8	7	8	7	7	8	8	8	5	7	7	4	7	2	2	2		
C5		0.572334659	0.507815	0.507815	0.32587894	0.35299907	0.13560063	0.41563235	0.35056201	0.44451388	0.32525406	0.37108566	0.17305484	0.02843239	0.0309319	0.522991962	0.04467947	0.07022176	0.04085203	5.2207	3
		6	7	7	6	6	3	3	4	4	6	8	6	6	4	5	3	6	4		
C6		0.429250994	0.44433813	0.44433813	0.27932481	0.2647493	0.05811456	0.17812815	0.175281	0.22225694	0.24394054	0.59373706	0.14833272	0.02437062	0.0309319	0.373565687	0.06701921	0.21066527	0.08170407	4.27	6
		6	6	6	6	5	4	3	6	8	7	8	6	6	4	5	7	7	7		
C7		0.429250994	0.38086125	0.38086125	0.27932481	0.22062442	0.07748608	0.17812815	0.26292151	0.44451388	0.2845973	0.59373706	0.14833272	0.02437062	0.0309319	0.373565687	0.15637815	0.24577615	0.14298212	4.6546	5

Figura Matriz de decisión para el Contacto.

		Especificaciones																		
		Peso	Volumen	Numero de Piezas	Fuerza de impulso	Relación fuerza-impulso	Ángulo de giro	Tiempo de reacción al frenado	Tiempo de reacción al impulso	Tiempo de frenado	Máxima velocidad	Mantenimiento	Duración en mantenimiento	Cantidad de herramientas	d a cambios futuros	Costos				
												Periodicidad			Fabricación	Materiales	Reparación			
		4.66%	4.41%	1.94%	11.10%	11.78%	5.94%	4.38%	5.56%	4.07%	7.42%	2.47%	0.41%	0.77%	7.47%	2.23%	3.51%	2.04%		
Opciones																			Total	Jerarquía
	A-S-E-1	8	7	4	7	7	6	7	7	7	7	5	5	5	7	7	5	5		
		0.372433078	0.30887419	0.07748608	0.77666904	0.82432063	0.3562563	0.30674176	0.38894964	0.2845973	0.51951993	0.1236106	0.020308851	0.03866493	0.522992	0.156378151	0.17555439	0.10213009	5.355	1
	A-S-E-2	8	8	7	7	5	3	4	5	6	4	6	7	7	3	9	8	8		
		0.372433078	0.35299907	0.13560063	0.77666904	0.58880045	0.17812815	0.175281	0.27782117	0.24394054	0.29686853	0.14833272	0.028432391	0.0541309	0.2241394	0.201057622	0.28088703	0.16340814	4.499	6
	A-S-E-3	3	4	3	4	5	4	8	6	7	6	6	6	3	5	2	2	2		
		0.139662404	0.17649954	0.05811456	0.44381088	0.58880045	0.2375042	0.35056201	0.33338541	0.2845973	0.4453028	0.14833272	0.024370621	0.02319896	0.3735657	0.044679472	0.07022176	0.04085203	3.783	7
	A-S-E-4	5	5	7	7	8	7	4	6	7	7	5	5	4	6	5	5	4		
		0.232770674	0.22062442	0.13560063	0.77666904	0.94208072	0.41563235	0.175281	0.33338541	0.2845973	0.51951993	0.1236106	0.020308851	0.03093194	0.4482788	0.111698679	0.17555439	0.08170407	5.028	3
	A-S-E-5	6	5	5	6	7	6	6	6	6	6	4	4	5	6	6	4	5		
		0.279324809	0.22062442	0.0968576	0.66571632	0.82432063	0.3562563	0.26292151	0.33338541	0.24394054	0.4453028	0.09888848	0.016247081	0.03866493	0.4482788	0.134038415	0.14044351	0.10213009	4.707	5
	A-S-E-6	7	7	4	7	8	8	5	7	7	7	5	5	7	4	8	7	5		
		0.325878944	0.30887419	0.07748608	0.77666904	0.94208072	0.4750084	0.21910126	0.38894964	0.2845973	0.51951993	0.1236106	0.020308851	0.0541309	0.2988525	0.178717887	0.24577615	0.10213009	5.342	2
	A-S-E-7	7	7	5	7	6	6	7	6	7	4	5	4	5	5	8	6	5		
		0.325878944	0.30887419	0.0968576	0.77666904	0.70656054	0.3562563	0.30674176	0.33338541	0.2845973	0.29686853	0.1236106	0.016247081	0.03866493	0.3735657	0.178717887	0.21066527	0.10213009	4.836	4

Figura Matriz de decisión para el Acople S-E.

		Especificaciones																		
		Peso	Volumen	Numero de Piezas	Fuerza de impulso	Relación fuerza-impulso	Ángulo de giro	Tiempo de reacción al frenado	Tiempo de reacción al impulso	Tiempo de frenado	Máxima velocidad	Mantenimiento	Duración en mantenimiento			Costos				
												Periodicidad	Cantidad de herramientas	d a cambios futuros	Fabricación	Materiales	Reparación			
Opciones		4.66%	4.41%	1.94%	11.10%	11.78%	5.94%	4.38%	5.56%	4.07%	7.42%	2.47%	0.41%	0.77%	7.47%	2.23%	3.51%	2.04%	Total	Jerar
	A-E-C-1	9	9	9	9	8	5	5	6	7	5	7	8	5	3	8	8	4		
	A-E-C-1	0.418987213	0.39712395	0.17434367	0.99857447	0.94208072	0.29688025	0.21910126	0.33338541	0.2845973	0.37108566	0.17305484	0.032494161	0.03866493	0.2241394	0.178717887	0.28088703	0.08170407	5.4458	2
	A-E-C-2	8	8	8	9	8	5	4	5	7	8	6	7	8	7	6	5	8		
	A-E-C-2	0.372433078	0.35299907	0.15497215	0.99857447	0.94208072	0.29688025	0.175281	0.27782117	0.2845973	0.59373706	0.14833272	0.028432391	0.06186388	0.522992	0.134038415	0.17555439	0.16340814	5.684	1

Figura Matriz de decisión para el Acople E-C.

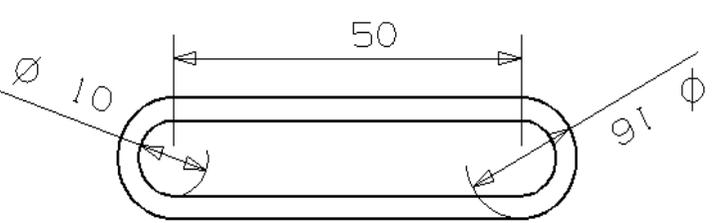
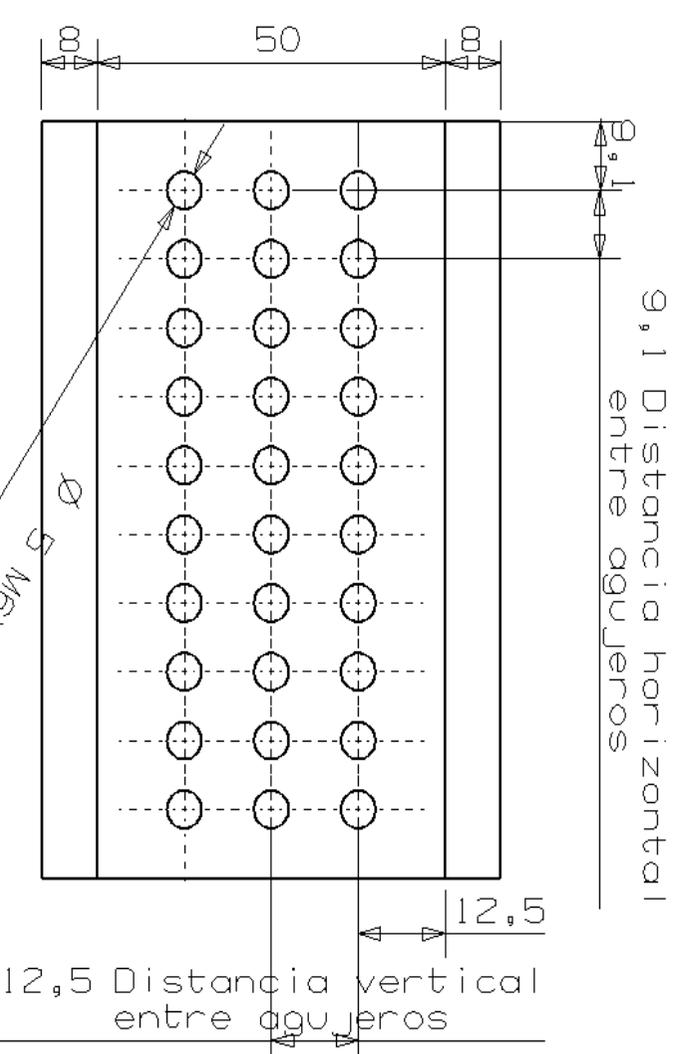
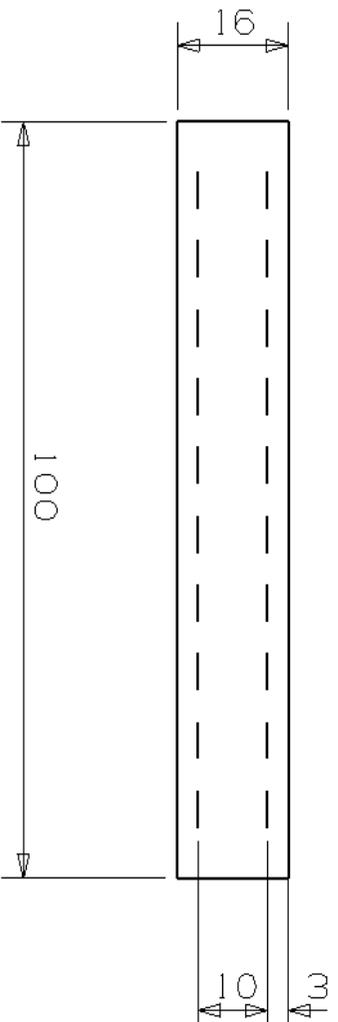
# Apéndice 3

*Nota:* Los planos no están a la escala marcada en el cuadro de referencia, ya que no se acoplaba el tamaño del formato A4 al tamaño de la hoja carta y por ello se escaló hasta ajustarlo a la hoja tamaño carta. En conclusión solo son imágenes de los planos y no se puede tomar medidas sobre los planos.

Tolerancias no especificadas			
>0.2	>0.5	>3	>6
0.5	3	6	30
±0.1	±0.1	±0.1	±0.2
			±0.3
			±0.4

Radios y chaflanes			
±0.1	±0.2	±0.5	±1
			±2
			±4



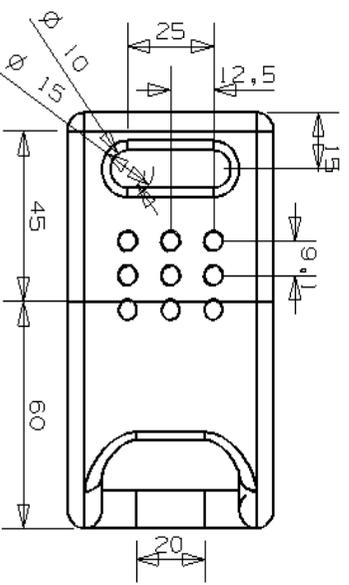
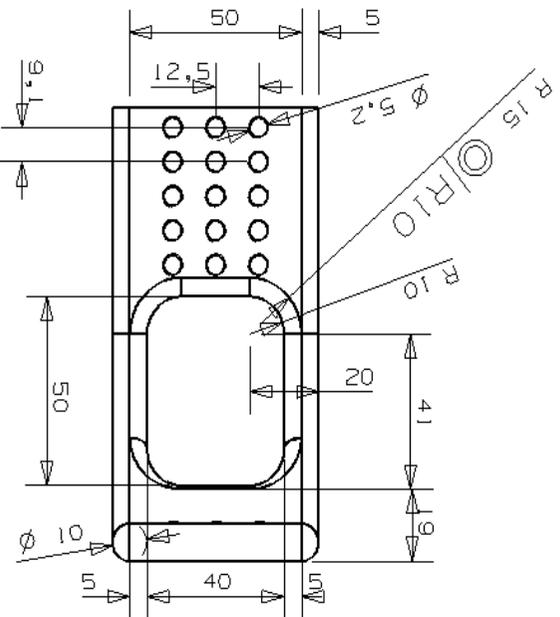
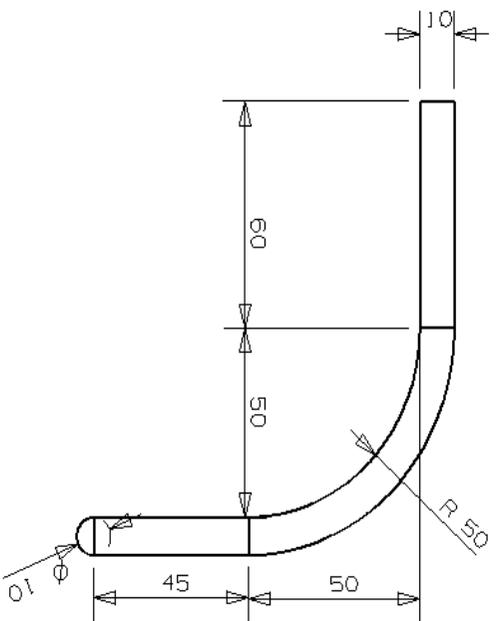
Especificaciones particulares: Todos los agujeros son del mismo diametro y rosca.

### SopORTE central

Rev. No.:		Codigo: S-sop-cent			Fecha: 7-11-06	Cant: 1
Form.:	A4	Esc: 1:1			Dibuj: EVA	Reviso:



Tolerancias no especificadas			
>0.2	>0.5	>3	>6
0.5	3	6	30
±0.1	±0.1	±0.1	±0.2
			±0.3
			±0.4
Radios y chaflanes			
±0.1	±0.2	±0.5	±1
			±2
			±4



Especificaciones Particulares:

## SopORTE lateral

Rev.No.

Form.  
A4

Codigo:5-sop-lat

Fecha:7-11-06

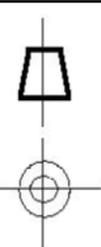
Cont.: 2

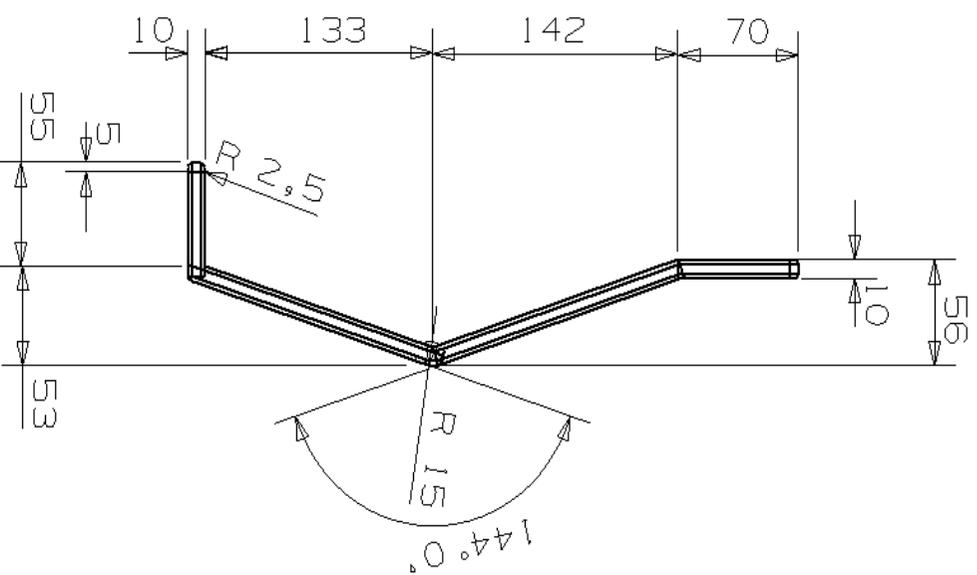
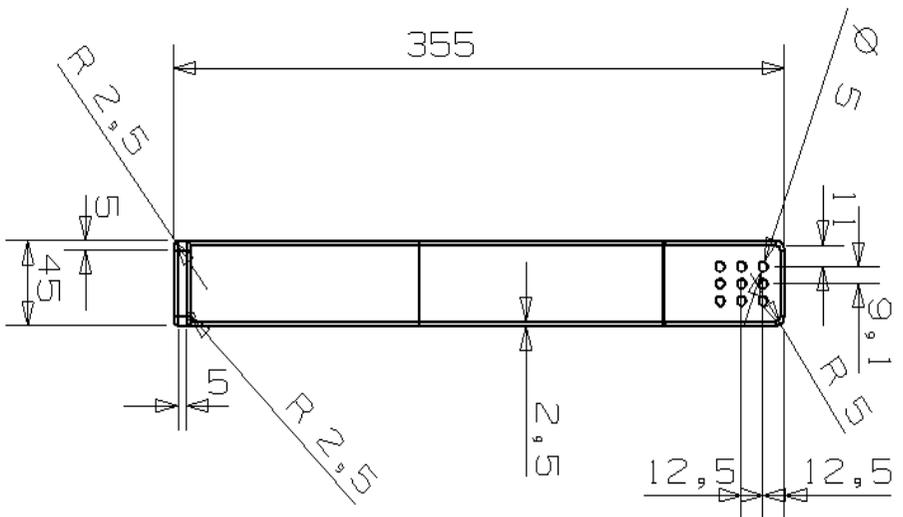
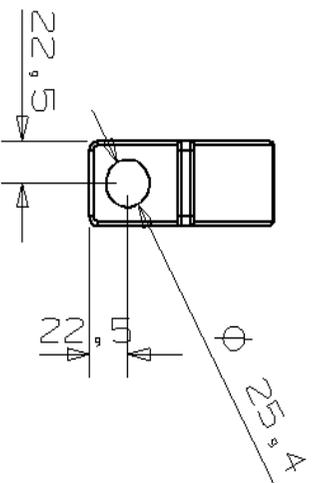
Esc:1:1

Dibujó:EVA

Revisó:

Dim:mm





Tolerancias no especificadas	
>0.2	>0.5
>3	>6
>30	>120
±0.1	±0.1
±0.1	±0.2
±0.3	±0.4
Radios y chaflanes	
±0.1	±0.2
±0.5	±1
±2	±4

Especificaciones particulares: El ángulo de 144 puede variar, es importante que en esa zona se cuente con un filleteado que redondee la zona.

## Extension soporte lateral

Rev.No.

Form.  
A4

Cod:5-ext-sop-lot

Fecha:7-11-06

Cont:2

Esc: 1:4

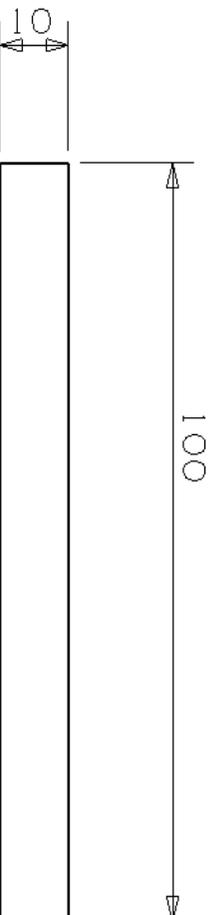
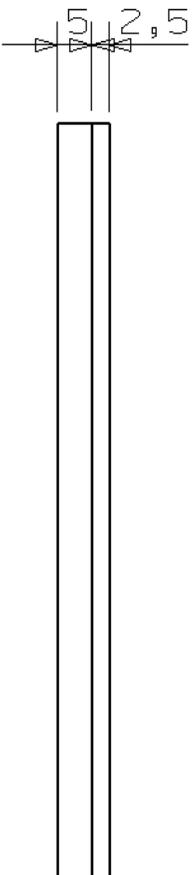
Dibujos:EVA

Revisor:

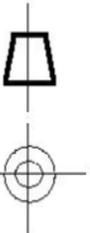
Dim:mm



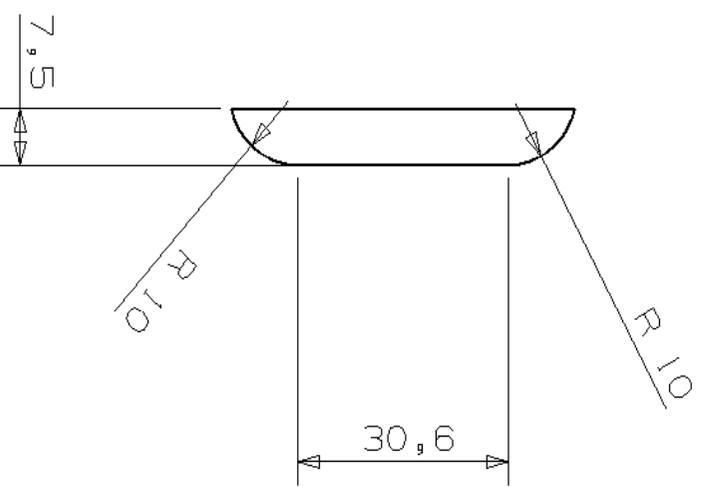
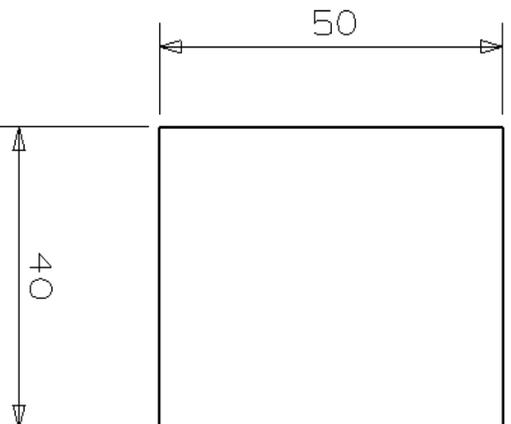
Tolerancias no especificadas				
>0.2	>0.5	>3	>6	>120
0.5	3	6	30	120
±0.1	±0.1	±0.1	±0.2	±0.3 ±0.4
Radios y chaflanes				
±0.1	±0.2	±0.5	±1	±2 ±4



Especificaciones particulares:				
Rev. No.:				
Form.:	A4			
<b>Revestimiento posterior</b>				
Codigo:5-rev-post	Fecha:7-11-06	Cant.:2		
Esc:1:1	Dibujó:EVA	Revisó:	Dim:mm	



Tolerancias no especificadas				
>0.2	>0.5	>3	>6	>120
0.5	3	6	30	120
±0.1	±0.1	±0.1	±0.2	±0.3 ±0.4
Radios y chaflanes				
±0.1	±0.2	±0.5	±1	±2 ±4



Especificaciones particulares:

Rev. No.:

# Revestimiento lateral

Código: S-rev-1at

Fecha: 7-11-06

Cont.: 2

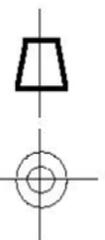
Form. A4

Esc: 1:1

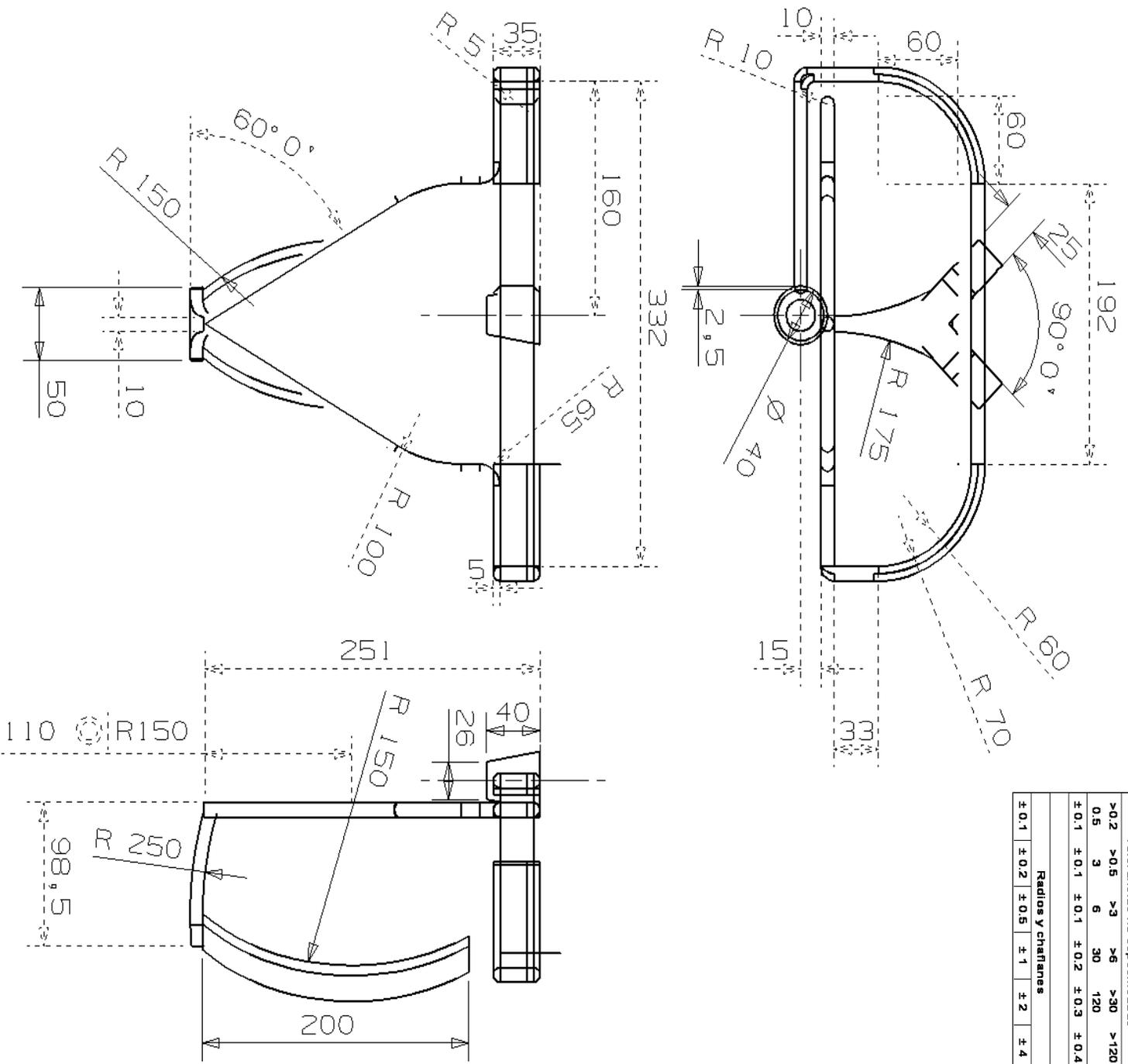
Dibujó: EVA

Revisó:

Dim: mm



Tolerancias no especificadas			
>0.2	>0.5	>3	>6
0.5	3	6	30
±0.1	±0.1	±0.1	±0.2
			±0.3
			±0.4
Radios y chaflanes			
±0.1	±0.2	±0.5	±1
			±2
			±4



Especificaciones particulares: Las formas se pretenden que sean lo mas ergonomicas posibles.

## Revestimiento

Rev.No:

Form. A4

Codigo:S-revest

Fecha:7-11-06

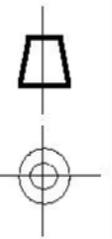
Cant:1

Esc: 1:4

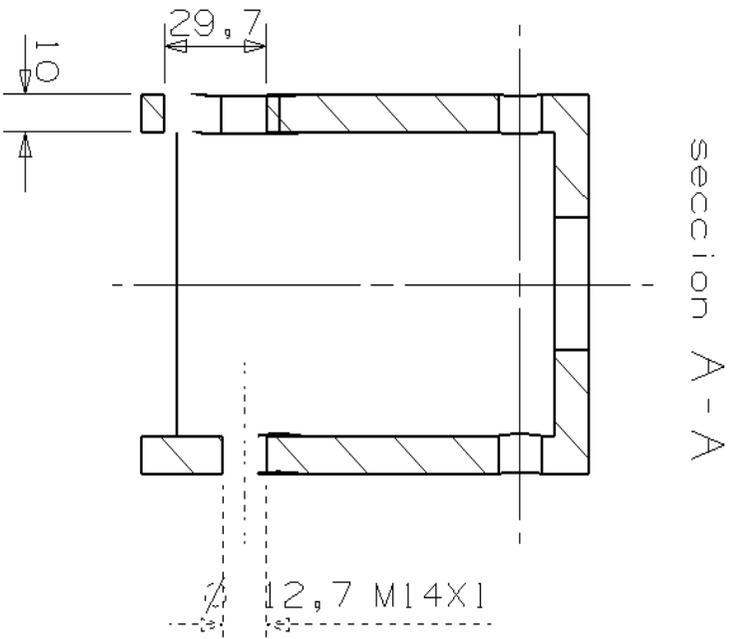
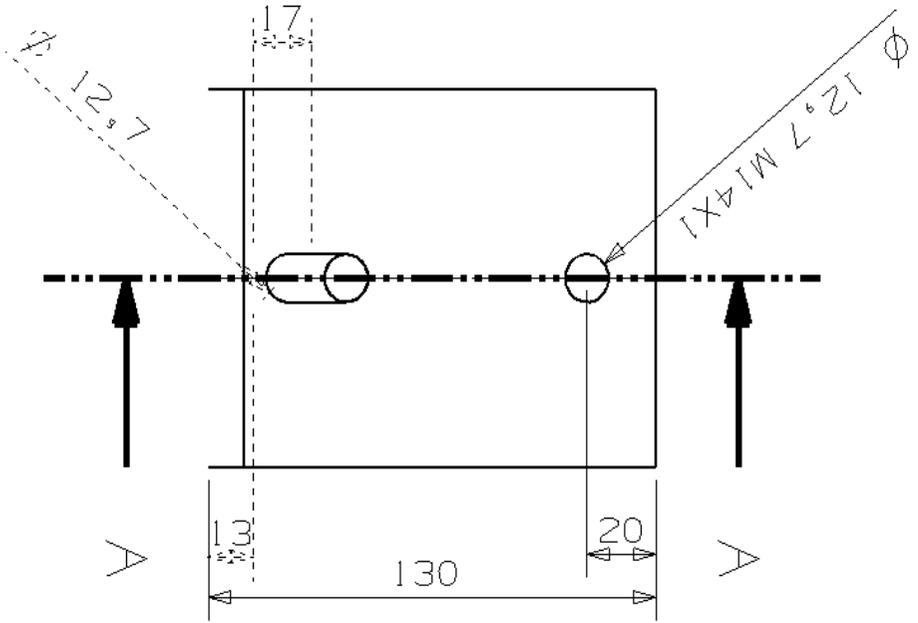
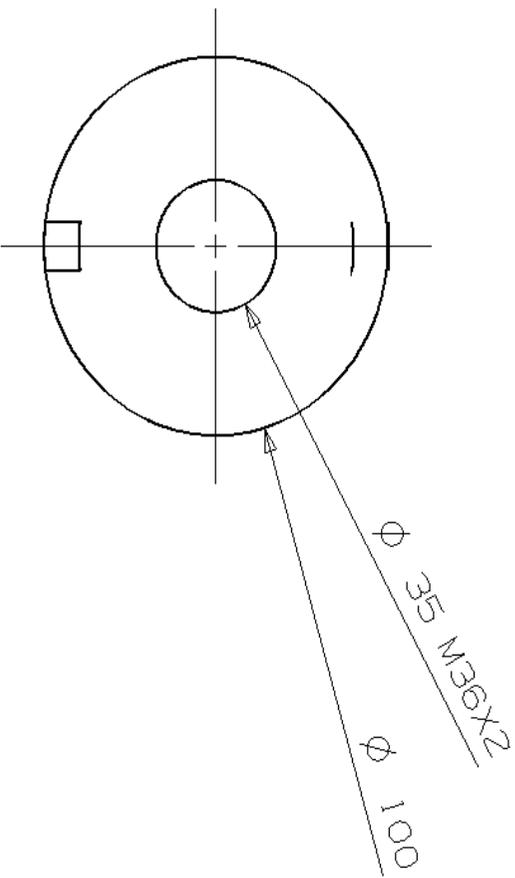
Dibujo:EVA

Revisor:

Dim:mm

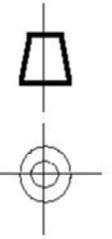




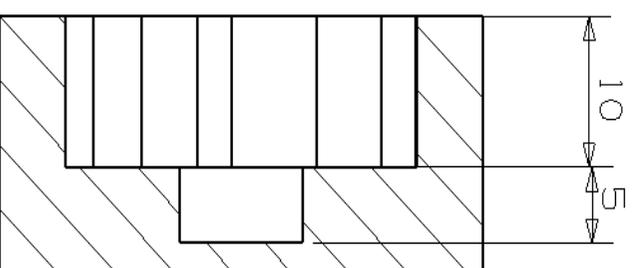
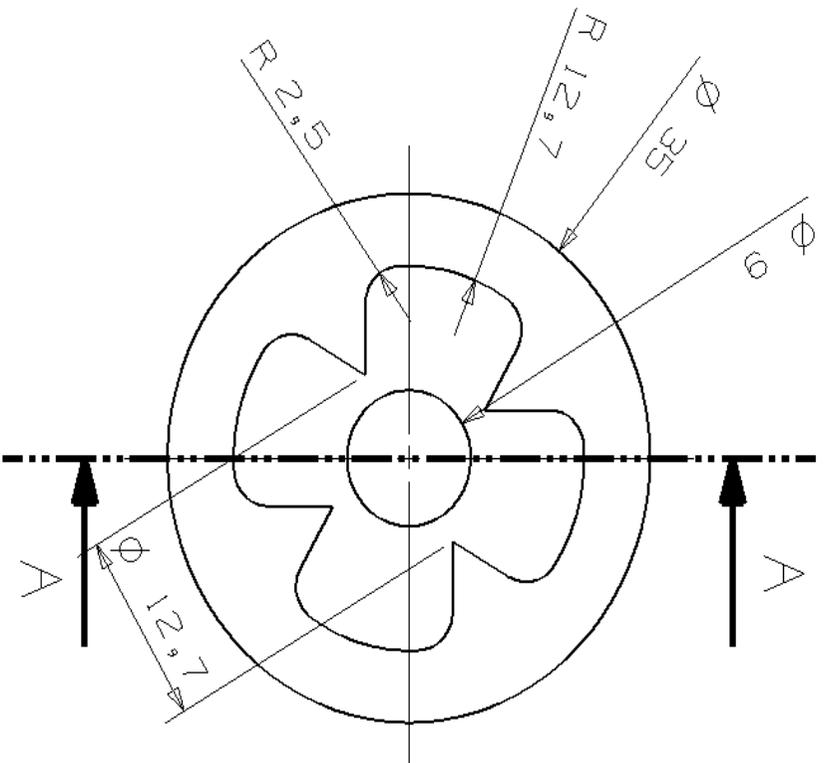
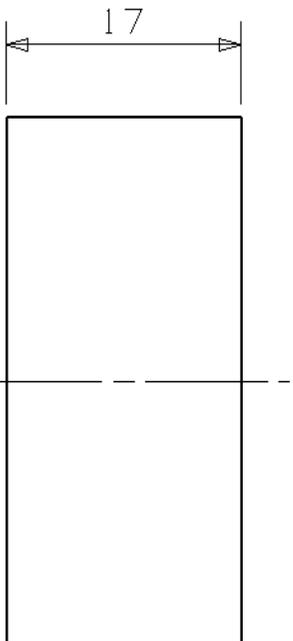


Tolerancias no especificadas	
>0.2	>3
>0.5	>6
0.5	30
±0.1	±0.2
±0.1	±0.3
±0.1	±0.4
Radios y chaflanes	
±0.1	±0.2
±0.2	±0.5
±1	±2
±2	±4

Especificaciones particulares:			
<b>Elastomero</b>			
Rev. No.			
Form. A4	Cod: A-S-E-elast	Fecha: 7-11-06	Cant.: 2
	Esc: 1:2	Dibujo: EVA	Reviso:
			Dim: mm



Tolerancias no especificadas			
>0.2	>0.5	>3	>6
0.5	3	30	120
±0.1	±0.1	±0.1	±0.2
		±0.3	±0.4
Radios y chaflanes			
±0.1	±0.2	±0.5	±1
		±2	±4



seccion A - A

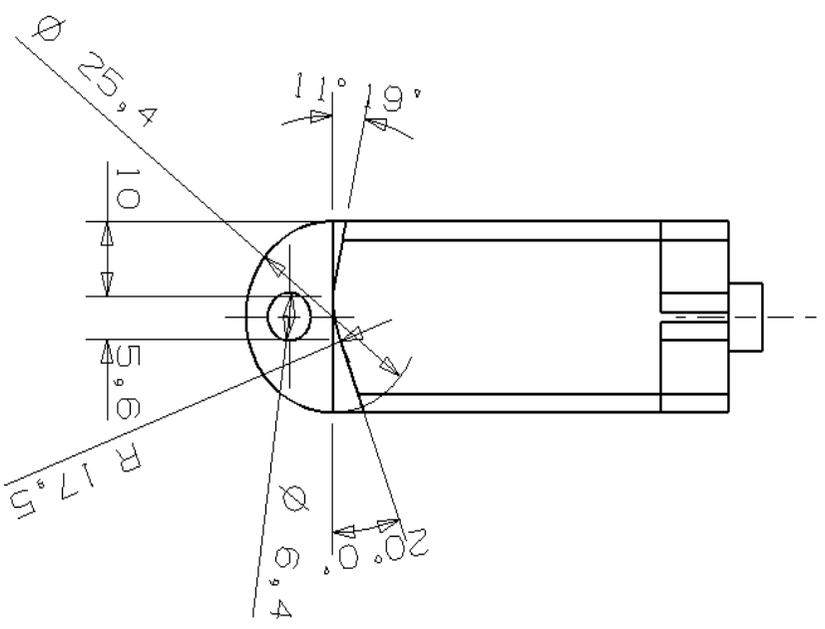
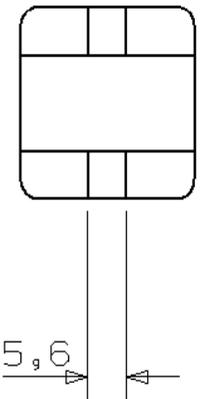
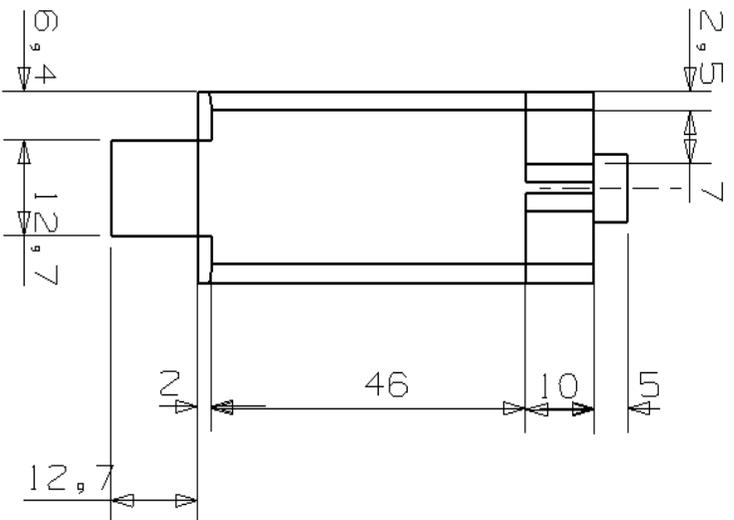
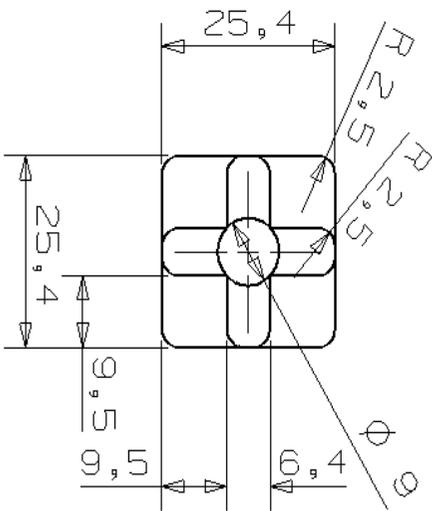
Especificaciones Particulares:

## Balero

Rev. No.		Cod: A-S-E-balero		Fecha: 7-11-06		Cant.: 4	
Form. A4		Esc: 2:1		Dibujó: EVA		Revisó:	
							



Tolerancias no especificadas					
>0.2	>0.5	>3	>6	>30	>120
0.5	3	6	30	120	
± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.4
Radios y chaflanes					
± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1	± 2	± 4

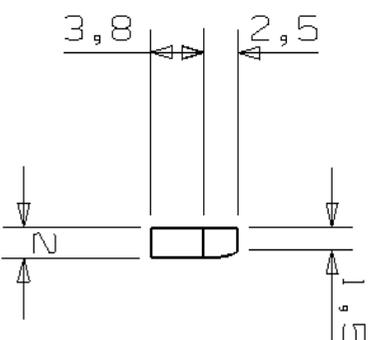
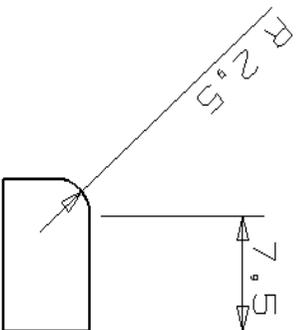
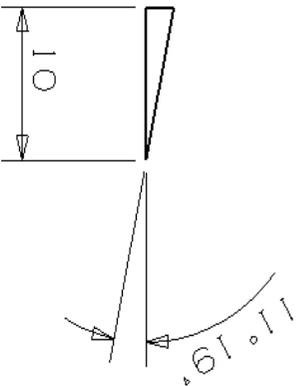


Especificaciones particulares: Es de gran relevancia los angulos de 11,90 y de 20°

## Guia superior

Rev.No		Cod:A-S-E-Guia-sup		Fecha:7-11-06		Cont.:2	
Form.A4		Esc:1:1		Dibujo:EVA		Reviso:	
							

Tolerancias no especificadas	
>0.2	>3
>0.5	>6
0.5	30
3	120
±0.1	±0.1
±0.1	±0.2
±0.1	±0.3
±0.1	±0.4
Radios y chaflanes	
±0.1	±0.2
±0.2	±0.5
±1	±1
±2	±2
±4	±4

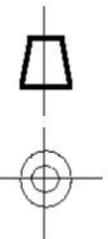


Especificaciones particulares:

## Seccion elastica derecha

Rev. No.

Form.  
A4



Codigo: A-S-E-elast

Fecha: 7-11-06

Cant.: 2

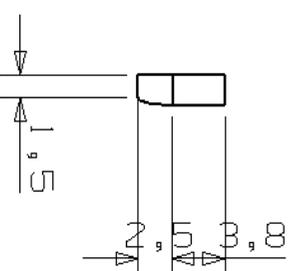
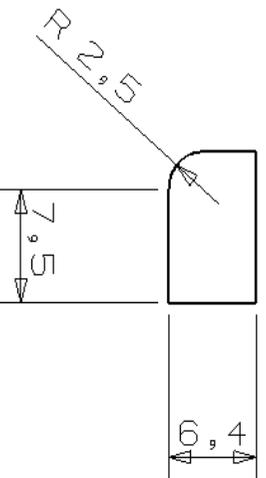
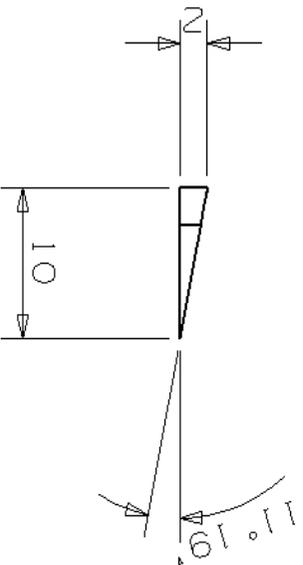
Esc: 2:1

Dibujo: EVA

Reviso:

Dim: mm

Tolerancias no especificadas			
>0.2	>0.5	>3	>6
0.5	3	6	30
±0.1	±0.1	±0.1	±0.2
			±0.3
			±0.4
Radios y chaflanes			
±0.1	±0.2	±0.5	±1
			±2
			±4



Especificaciones particulares:

Rev. No.:

## Seccion elastica izquierda

Codigo: A-S-E-elast

Fecha: 7-11-06

Cont.: 2

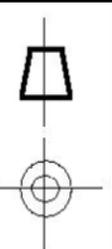
Form. A4

Esc:

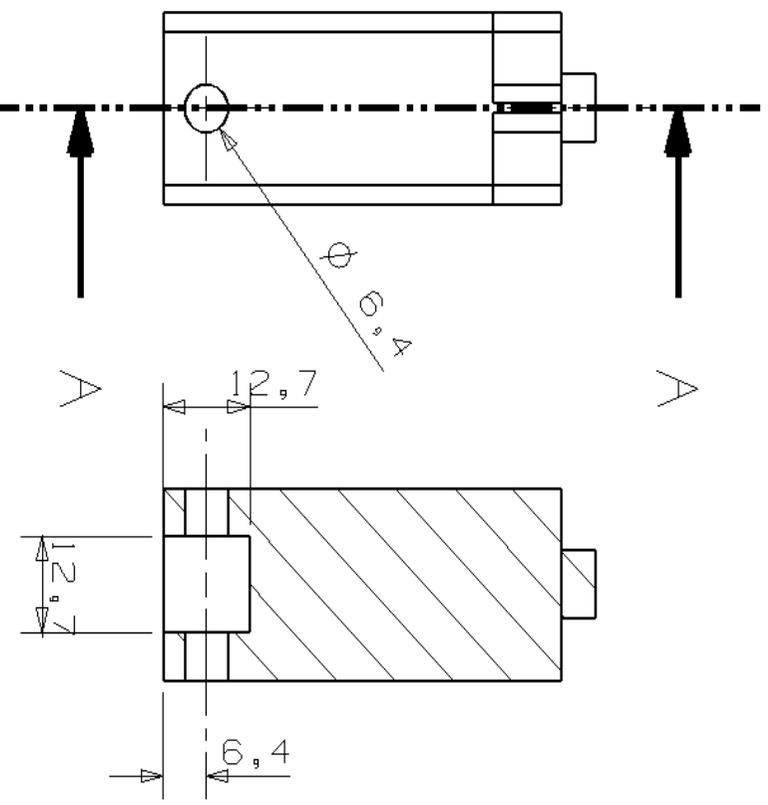
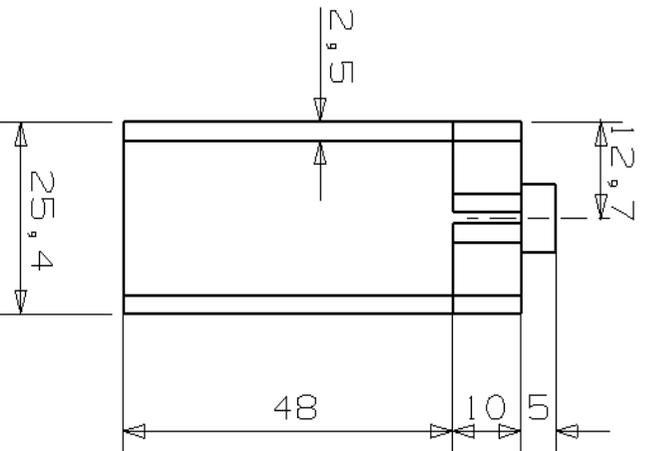
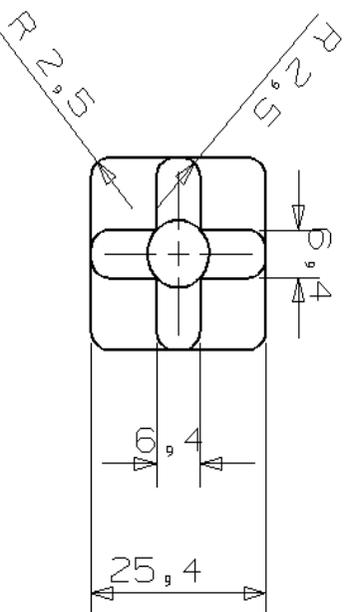
Dibujo:

Reviso:

Dim: mm



Tolerancias no especificadas			
>0.2	>0.5	>3	>6
0.5	3	6	30
±0.1	±0.1	±0.1	±0.2
			±0.3
			±0.4
Radios y chaflanes			
±0.1	±0.2	±0.5	±1
			±2
			±4



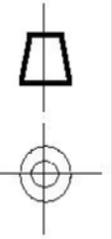
Sección A - A

Especificaciones particulares:

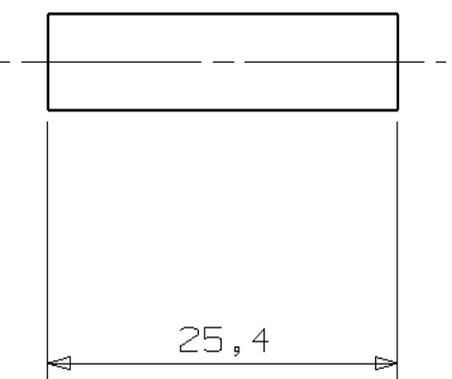
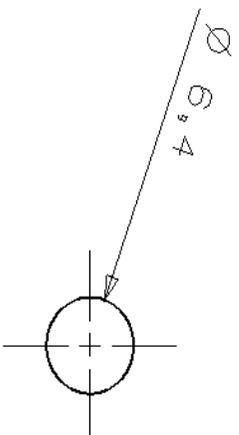
### Guia inferior

Rev. No.	
Form.	A4

Cod: A-5-E-guia inf	Fecha: 7-11-06	Cant.: 2
Esc: 1:1	Dibujo: EVA	Reviso:
		Dim: mm



Tolerancias no especificadas				
>0.2	>0.5	>3	>6	>30
0.5	3	6	30	120
±0.1	±0.1	±0.1	±0.2	±0.3 ±0.4
Radios y chaflanes				
±0.1	±0.2	±0.5	±1	±2 ±4



Especificaciones particulares:

Rev. No.

**Pasador**

Form. A4

Codigo: A-S-E-pas

Fecha: 7-11-06

Reviso:

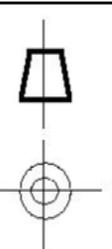
Cont.: 2

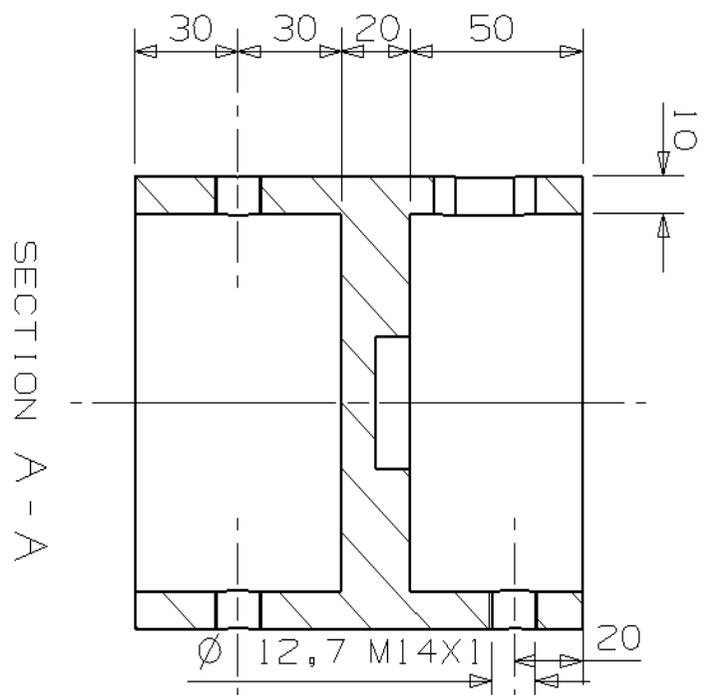
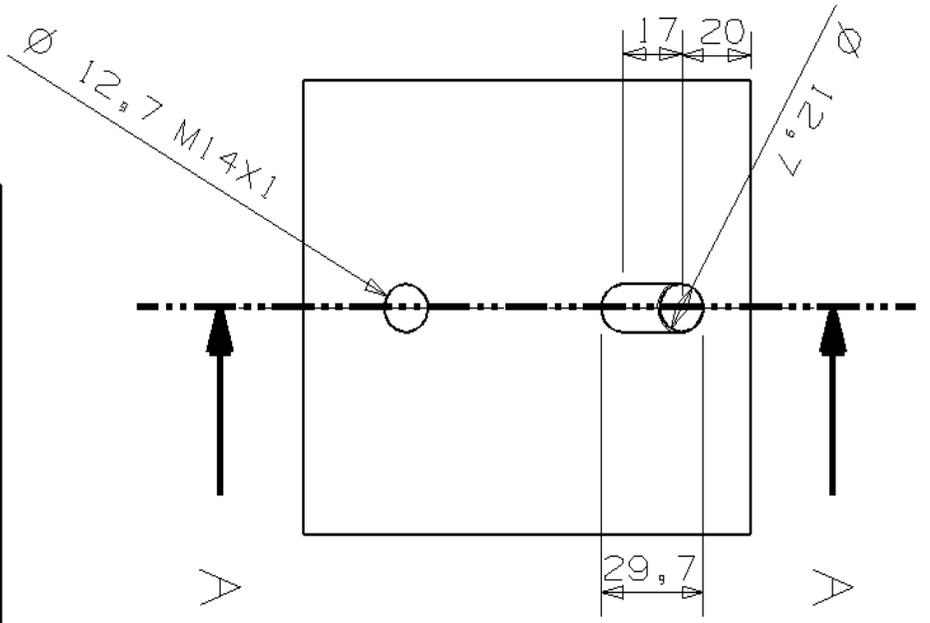
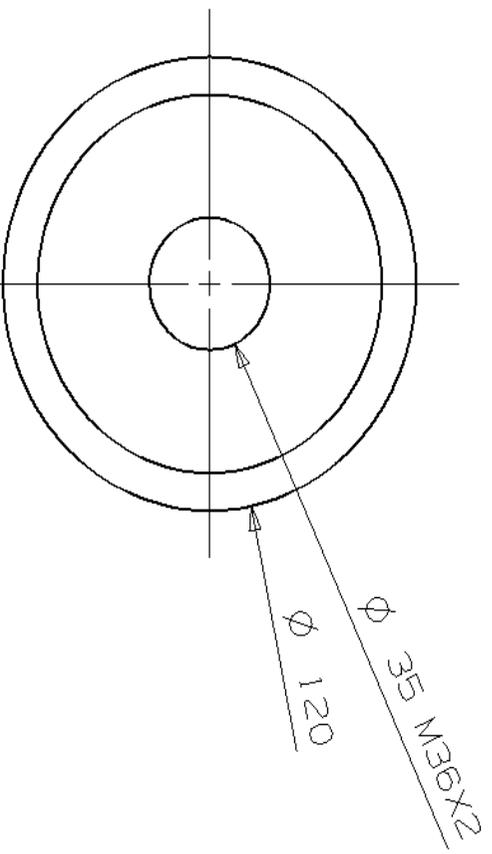
Esc: 2:1

Dibujo: EVA

Reviso:

Dim: mm



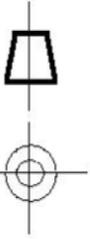


Tolerancias no especificadas			
>0,2	>0,5	>3	>6
0,5	3	6	30
±0,1	±0,1	±0,1	±0,2
			±0,3
			±0,4
Radios y chaflanes			
±0,1	±0,2	±0,5	±1
			±2
			±4

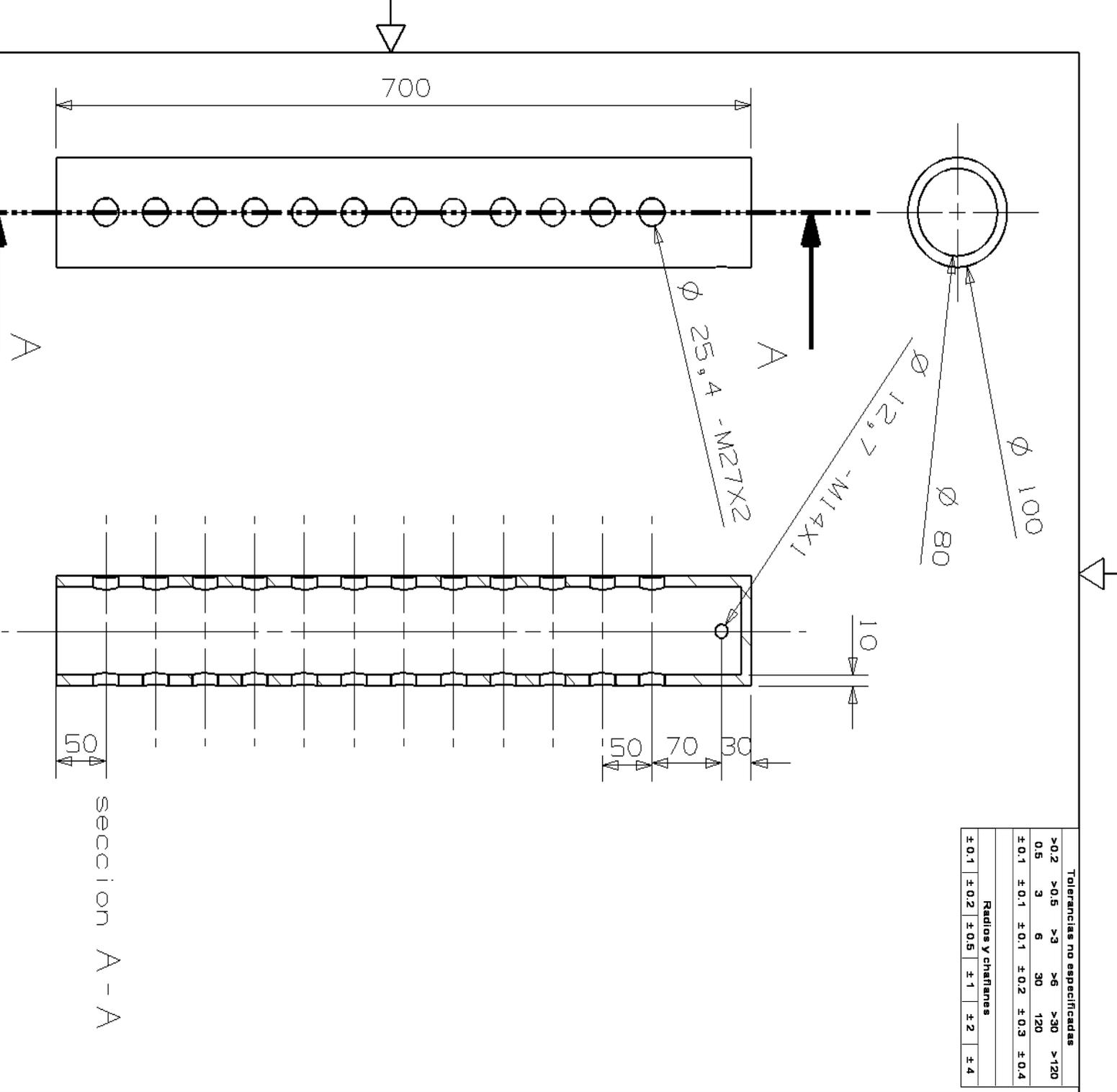
Especificaciones Particulares:

### Base

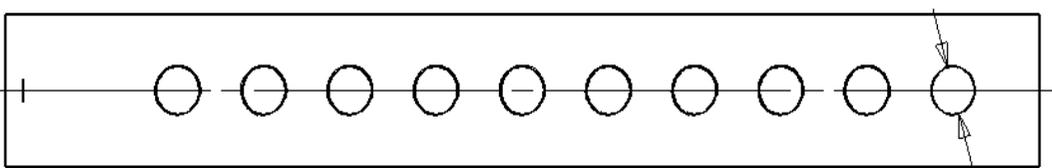
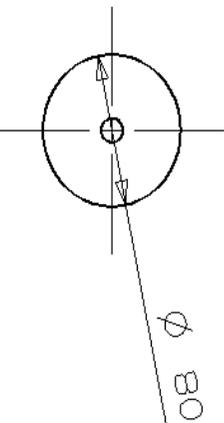
Rev.No.		Form.	A4	Cod: A-5-E-base			Fecha: 7-11-06	Cont.: 2
				Esc: 1:2			Dibujo: EVA	Reviso:
								Dim: mm



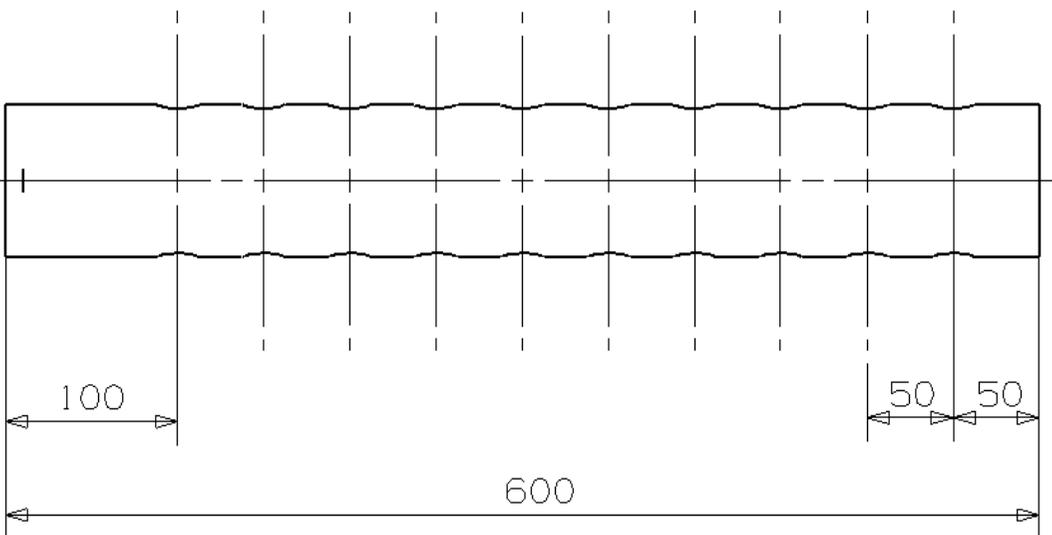
Tolerancias no especificadas			
>0.2	>0.5	>3	>6
0.5	3	6	30
±0.1	±0.1	±0.1	±0.2
			±0.3
			±0.4
Radios y chaflanes			
±0.1	±0.2	±0.5	±1
			±2
			±4



Especificaciones particulares:		Rev. No.	
Extension-externo-		Form. A4	
Codigo: E-ext	Fecha: 7-11-06	Cont.: 12	
Esc.: 1:5	Dibujó: EVA	Revisó:	



$\phi 25,4 - M27 \times 2$



Tolerancias no especificadas			
>0.2	>0.5	>3	>6
0.5	3	6	30
$\pm 0.1$	$\pm 0.1$	$\pm 0.2$	$\pm 0.3$
$\pm 0.1$	$\pm 0.2$	$\pm 0.5$	$\pm 1$
$\pm 1$	$\pm 2$	$\pm 4$	$\pm 8$

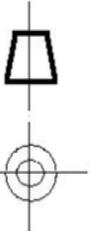
  

Radios y chaflanes			
$\pm 0.1$	$\pm 0.2$	$\pm 0.5$	$\pm 1$
$\pm 1$	$\pm 2$	$\pm 4$	$\pm 8$

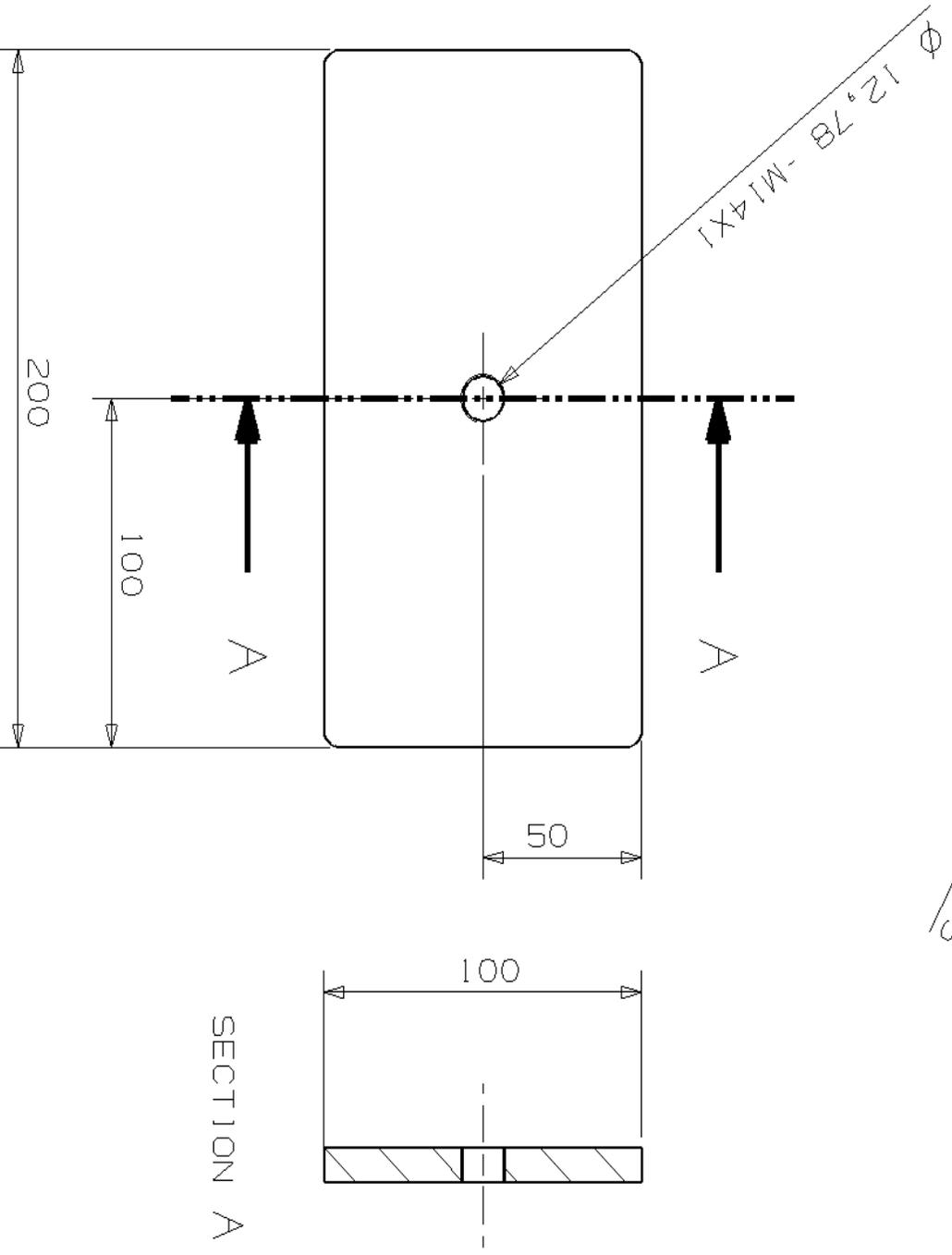
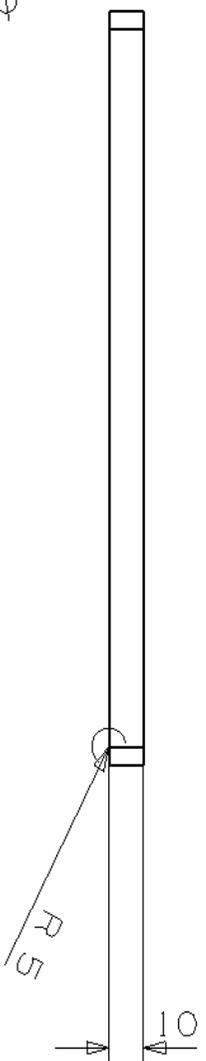
Especificaciones particulares:

### Extension - interno -

Rev. No.	Forma		
	A4		
Codigo: E-int		Fecha: 7-11-06	Cont.: 2
Esc: 1:4		Dibuj: EVA	Reviso:
			Dim: mm

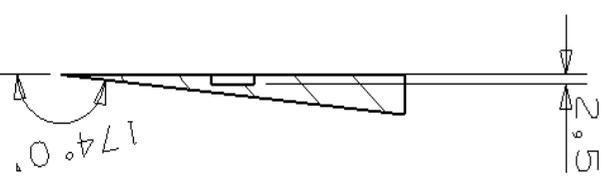
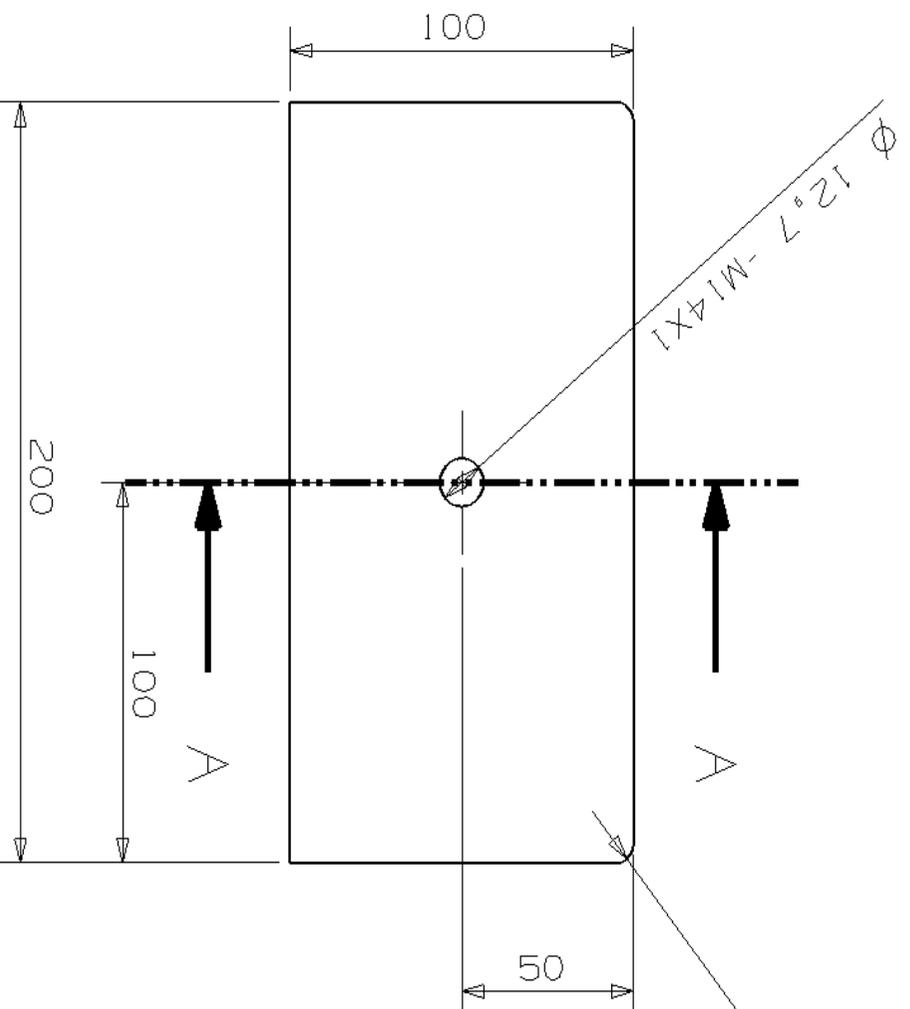
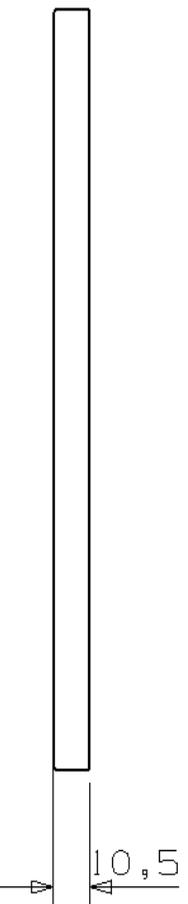


Tolerancias no especificadas			
>0.2	>0.5	>3	>6
0.5	3	6	30
±0.1	±0.1	±0.1	±0.2
			±0.3
			±0.4
Radios y chaflanes			
±0.1	±0.2	±0.5	±1
			±2
			±4



Especificaciones particulares:			
Rev. No.			
Form. A4			
<b>Contacto - base -</b>			
Codigo: C - base	Fecha: 7 - 11 - 06	Cant. : 2	
Esc: 1:2	Dibujo: EVA	Reviso:	Dim: mm

Tolerancias no especificadas			
>0.2	>0.5	>3	>6
0.5	3	6	30
±0.1	±0.1	±0.1	±0.2
			±0.3
			±0.4
Radios y chaflanes			
±0.1	±0.2	±0.5	±1
			±2
			±4



Seccion A - A

Especificaciones particulares:

### Contacto - suelta -

Rev. No.:

Form. A4

Codigo: C - suelta

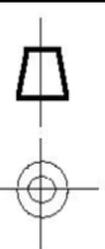
Esc: 1:1:2

Reviso:

Fecha: 7-11-06

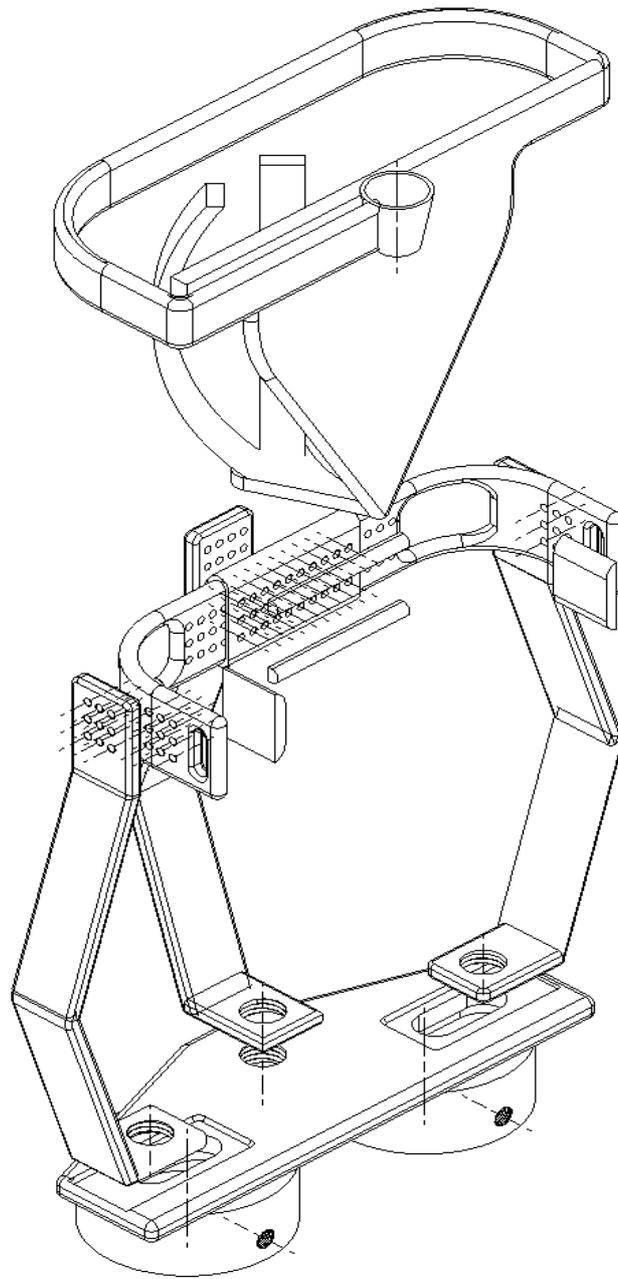
Cont.: 2

Dim: mm

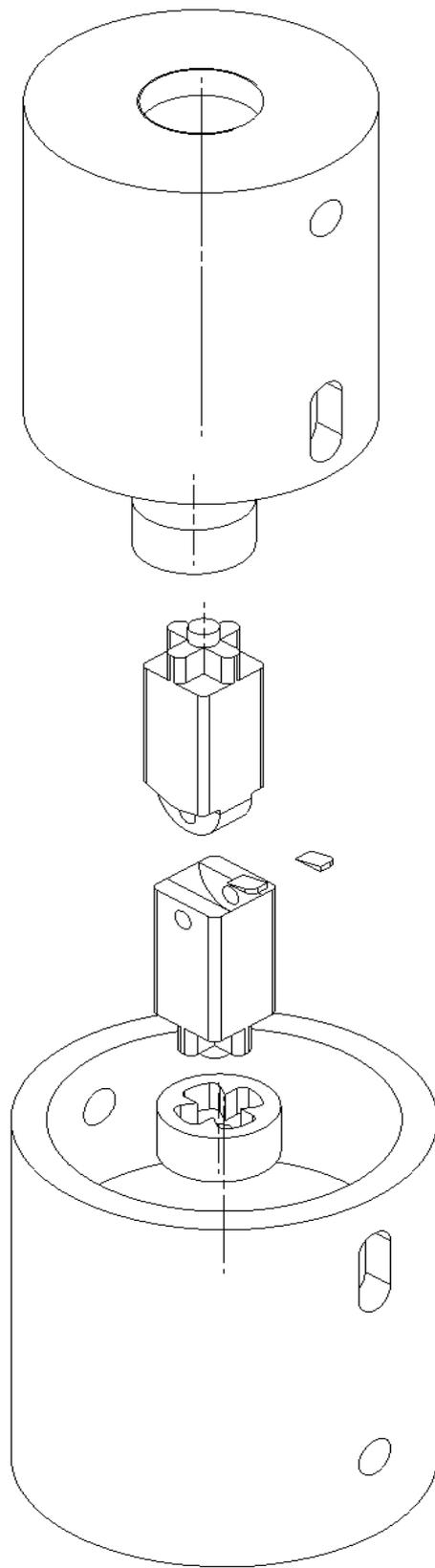


# Apéndice 4

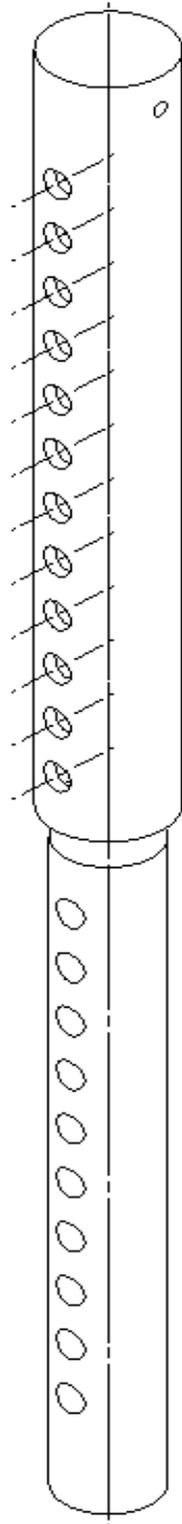
*Nota:* Los planos no están a la escala marcada en el cuadro de referencia, ya que no se acoplaba el tamaño del formato del plano, al tamaño de la hoja carta y por ello se escaló la figura hasta ajustarlo a la hoja tamaño carta. En conclusión solo son imágenes de los planos. Es este caso se omiten los tornillos, ya que en algunos casos de ensamble no se ha determinado la cantidad necesaria de tornillos.



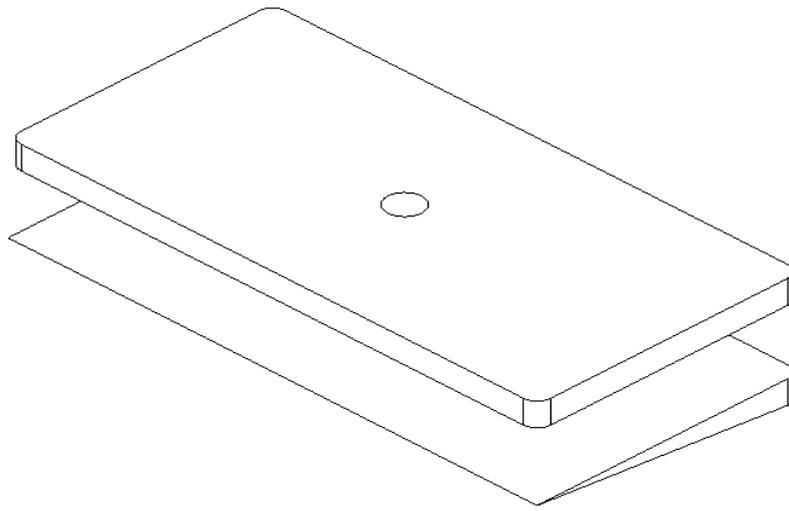
		Especificaciones particulares: El revestimiento se pone al final.		
	Rev.No.	Ensamble Soporte		
	Forma	Código: S-ens	Fecha: 7-11-06	Cont.: 11
	A2	Esc: 1:2	Dibujó: EVA	Revisó:



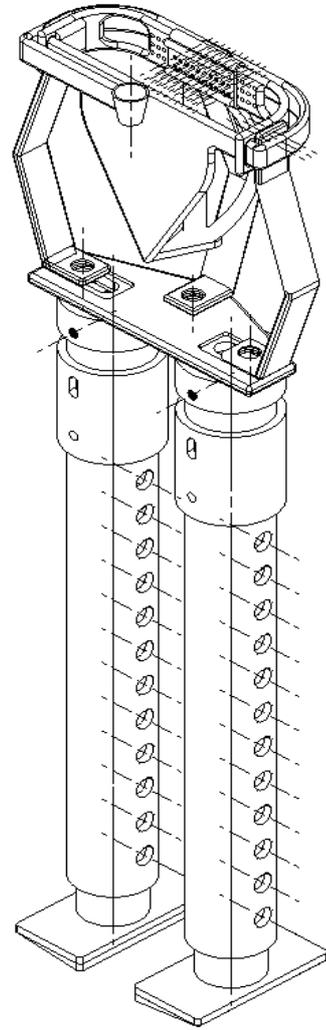
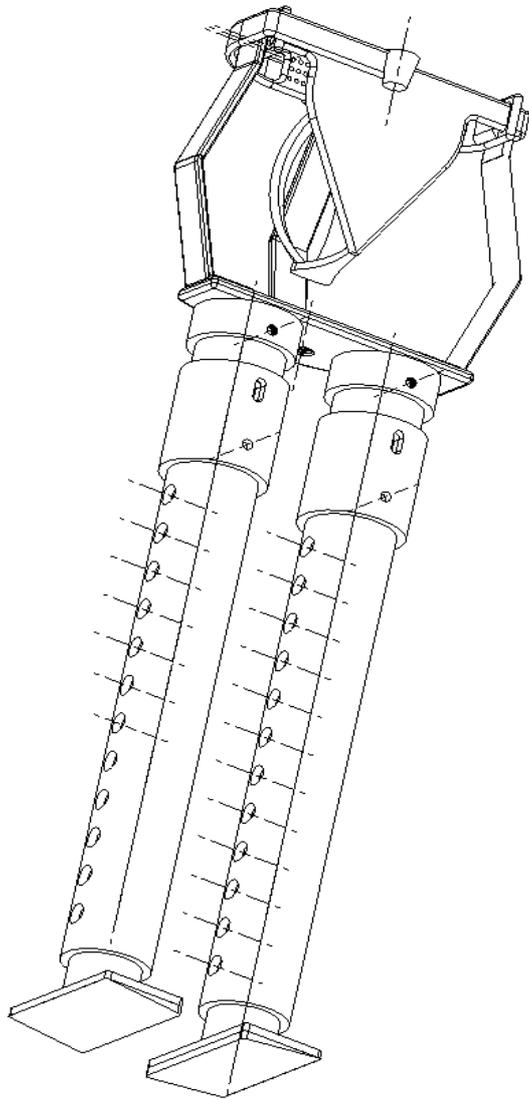
		Especificaciones particulares: Todos los elementos son concéntricos.		
	Rev. No.	Ensamble A-S-E		
	Form.	Código: A-S-E-ens	Fecha: 7-11-06	Cont.: 2
	A2	Ecd111	Dibujó: EVA	Revisó:



		Especificaciones particulares Los 00% Tubos con Concentradores		
Rev. no.		Ensamble Extension		
Form.		Código E-ens	Factor 7-17-06	Cant. 12
AZ		Elc 1342.3	Dibuja EIV	Revisor
				Dimens.



Material:		Especificaciones particulares:			
	Rev. No.	Ensamble Contacto			
	Form.	CodigotC-ens	Fecha: 7-11-06	Cont.: 2	
	A2	Esc1:1	Dibu_jotEVA	Revisor:	Dimens:



		Especificaciones particulares		
	Rev. No.	Ensamble		
	Form.	Código Ensamble	Fecha: 7-11-06	Camb.: 1
	A4	Esc: 1:4	Dibujo: EVA	Revisor:

## Referencias

- [1] French, M.J., Conceptual Design for Engineers. First ed. 1971, London: Springer Verlag.
- [2] Cross Nigel, Métodos de diseño, estrategias para el diseño de productos, Universidad Milton Keynes, Reino Unido: 2003 Limusa-Wiley.
- [3] Ullman, D., The Mechanical Design Process. 2nd ed. 1997, London: The McGraw Hill Companies, Inc. 336.
- [4] Gómez-Senet Martínez Eliseo, El proyecto -diseño en ingeniería-, 1ª ed. 2001, Universidad politécnica de Valencia, Alfaomega.
- [5] Qualica QFD Software GmbH, Muenchner Technologiezentrum, Frankfurter Ring 193a, 80807 München, Germany. Internet: [www.qualica.net](http://www.qualica.net)
- [6] Accord Desktop ed. 2.1 R1 Build\_\_1, Robust Decisions. Inc copyright©2003, [www.rubustdecisions.com](http://www.rubustdecisions.com)
- [7] <http://www.tsrhc.org/>
- [8] Alcaide M. J., Diego M. J.A., Artacho R. M.A., Diseño de producto, métodos y técnicas, 1ª ed. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España: 2004 Alfaomega. Grupo Editor, S.A. de C.V. 378
- [9] Dieter, G. E., “Engineering design”, Third edition, McGraw Hill, 2000.
- [10] Carlson, Bruce M., Embriología humana y biología del desarrollo, Segunda edición en español 2000. Ed. Harcourt
- [11] Organización Mundial de la Salud (OMS),
- [12] <http://www.asemcatalunya.com/herencia.htm>
- [13] <http://www.mdausa.org/espanol/esp-fa-myop-family.html>
- [14] March of Dimes Perinatal Data Center. Maternal <http://nbdpn.org/NBDPN>
- [15] <http://www.iib.unsam.edu.ar/IIBINTECH/html/docencia/GenHumana/detsexual.pdf>
- [16] Revisión suministrada por: A.D.A.M. Medical Illustration Team A.D.A.M., Inc. está acreditada por la Comisión Norteamericana de Certificación de la Atención Médica (American Accreditation HealthCare Commission, URAC: [www.urac.com](http://www.urac.com)). <http://www.adam.com/urac/edrev.htm>
- [17] Jeanty Philippe MD, Valero PhD, Gloria, MD, La valoración del feto con displasia esquelética

[http://www.thefetus.net/files/skeletal\\_spa.PDF#search=%22displasias%20esquel%C3%A9ticas%22](http://www.thefetus.net/files/skeletal_spa.PDF#search=%22displasias%20esquel%C3%A9ticas%22)

[18] <http://www.isds.ch/ISDSframes.html>

[19] SESCOAM, Artículo 108 de la Ley General de Seguridad Social, texto refundido aprobado por Decreto 2065/1974, de 30 de mayo. - Real Decreto 63/95, de 20 de enero, sobre ordenación de prestaciones sanitarias del Sistema Nacional de Salud.

[20] Viladot Pericé R., Cohí Riambau O, Clavell Paloma S., Ortesis y prótesis del aparato locomotor 2.2 Extremidad inferior, Barcelona 2000. Ed. Masson.  
[www.ortoweb.com](http://www.ortoweb.com)

[21] Beckers Alberto, Morales Julio, “Diseño para la discapacidad en Chile, una propuesta de diseño apropiado”. Universidad José Santos Ossa, Antofagasta, Chile.  
<http://www.sidar.org/acti/jorna/5jorna/ponencias/ponencia3-9.doc>

[22] Fernández Mendoza Oscar, González Moreno Ángel, Cirugía radical en el aparato locomotor.

[23] Moreno, A.E.C., EL MUNDO DE LAS PROTESIS Y ORTESIS EN ESPAÑOL. Foro de Información Iberoamericano. 2005. Ciudad de México - 29 de Octubre, 2005

## Bibliografía

[www.discapacinet.gob.mx](http://www.discapacinet.gob.mx)

[http://www.centerfororthoticsdesign.com/isocentric\\_rgo/index.html](http://www.centerfororthoticsdesign.com/isocentric_rgo/index.html)

<http://www.microsoft.com/enable/microsoft/understand-u.htm>

Cremin B. J., Beighton P., Bone dysplasias of infancy, a radiological atlas, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, New York, 1978.

Baiget i Bastús .Montserrat, La herencia de las enfermedades neuromusculares.

Lisuardi Michelle M., Nielsen Caroline C., *Orthotics and prosthetics in rehabilitation* Ed. Butterworth-Heinemann 2000.

Ascurra M., Rodríguez S., Herreros M.B., Nissen J.C. Departamento de Genética del Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de Asunción Cátedra de Pediatría del Hospital de Clínicas, Universidad Nacional de Asunción

Vázquez Corbea Dunia, Asesoramiento genético a una familia con hijo con discapacidad física por defectos por reducción de extremidades.

<http://www.cdc.gov/ncbddd/bd/research.htm> Center for Disease Control de Atlanta

Larson Jeffrey P. RPT., *Congenital amputation*

[http://www.lifesteps.com/gm/Atoz/ency/congenital\\_amputation.jsp](http://www.lifesteps.com/gm/Atoz/ency/congenital_amputation.jsp)

<http://dxprenatal.sld.cu/sections.php?op=viewarticle&artid=8>

<http://www.antropos.galeon.com/html/biogenetica.htm>

<http://www.anm.org.ve/dyncat.cfm?catid=1284>

<http://www.espanol.geocities.com/ginecobstetricia2000/anomalias.html> - 44k

[http://www.healthsystem.virginia.edu/UVAHealth/peds\\_hrpregnant\\_sp/typegene.cfm](http://www.healthsystem.virginia.edu/UVAHealth/peds_hrpregnant_sp/typegene.cfm)

<http://www.fundacion1000.es/stxtf1B.htm>

[http://www.sabadelluniversitat.org/Cat/SBD%20Universitat%20\(Cat\)/documents/ROliva-S8.pdf](http://www.sabadelluniversitat.org/Cat/SBD%20Universitat%20(Cat)/documents/ROliva-S8.pdf)

<http://216.239.51.104/search?q=cache:qTMYcbKkOfwJ:www.encuentros.uma.es/encuentros97/97.pdf+cromosoma+SOX9&hl=es>

<http://db.doyma.es/cgi-bin/wdbcgi.exe/doyma/mrevista.fulltext?pid=13048406>

<http://www.seep.es/privado/download.asp?url=congresos/C2003/8.pdf>

<http://www.csmc.edu/3808.html>

Cons Molina Fidencio, Unidad de Diagnóstico de Osteoporosis, Mexicali BC México,

<http://www.osteoporosis-center.com/OSTCENTER.COM/c005-5B.htm>

<http://www.emedicine.com/pmr/topic175.htm>

[http://www.vasi.on.ca/orthotic/orth\\_std.htm](http://www.vasi.on.ca/orthotic/orth_std.htm)

<http://www.prowalk.de/sprachen/englisch/swivel.html>

<http://www.centerfororthoticsdesign.com/index.html>

<http://www.adaptivemall.com/4wheelwitswi.html>

<http://usinfo.state.gov/journals/itsv/0199/ijss/assistiv.htm>

<http://www.resortesplus.com>

<http://www.ossur.com>

[http://www.vertimania.com.mx/vertical%20news/consultorio/como\\_cuidar\\_mi\\_arnes.htm](http://www.vertimania.com.mx/vertical%20news/consultorio/como_cuidar_mi_arnes.htm)