

## **AUTONOMÍA ENERGÉTICA**

CONVERSIÓN DEL MOVIMIENTO CORPORAL EN ELECTRICIDAD

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE DISEÑADOR INDUSTRIAL

TOMÁS RODRIGO BARAHONA CÁCERES  
PROFESOR GUÍA: MARCELO QUEZADA MONCADA

SANTIAGO DE CHILE, JULIO 2009



# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>4</b>
<b>MARCO CONCEPTUAL</b>	<b>7</b>
<b>MARCO DE REFERENTES PARA EL DISEÑO</b>	<b>16</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO</b>	<b>22</b>
<b>GENESIS FORMAL</b>	<b>24</b>
<b>PRODUCTO</b>	<b>33</b>
<b>PRODUCCIÓN Y COSTOS</b>	<b>36</b>
<b>PLANIMETRÍA</b>	<b>39</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>48</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>50</b>



## INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, el hombre como modificador del entorno, se ha hecho de herramientas orientadas a facilitar el quehacer o proveer de cualidades físicas que no se poseen naturalmente. Estas herramientas son producto de la *técnica*<sup>1</sup> correspondiente a la época donde se mire y como lo demuestra la historia, evoluciona al transcurrir el tiempo basada en el conocimiento humano; de esto podemos llamar a la tecnología como *un concepto amplio que abarca un conjunto de técnicas, conocimientos y procesos, que sirven para el diseño y construcción de objetos con el fin de satisfacer necesidades humanas*<sup>2</sup>. Como un efecto tecnológico, en el ámbito de la electrónica, aparece el concepto de miniaturización.

Se denomina miniaturización al proceso tecnológico mediante el cual se intenta reducir el tamaño de los dispositivos electrónicos; Según el diccionario informático de alegsa, *es una fuerte tendencia en la actualidad, pero puede remontarse hasta el mismísimo comienzo de la humanidad*<sup>3</sup>. Es pertinente citar la ley de Moore, la cual señala que aproximadamente cada 18 meses se duplica el número de transistores en un circuito integrado<sup>4</sup>

En términos generales, los efectos de la miniaturización pueden resumirse en la posibilidad de construir componentes electrónicos de menor tamaño y que gastan menos energía, lo que hace posible tanto que existan aparatos electrónicos portables/portátiles como la aparición de otros, que debido a la dependencia energética no podían separarse del cable.

La cualidad de portabilidad que ofrecen los aparatos electrónicos tiene sentido hasta el punto que pierde su capacidad de autonomía, la cual está ligada comúnmente al uso de baterías como fuente de electricidad.

Cabe destacar respecto a las baterías, que también por efecto de la tecnología han evolucionado, tendiendo al eliminar elementos contaminantes, otorgar mayor capacidad de carga y permitir su recarga una vez agotadas. Esta última cualidad las hace dependiente de una fuente de electricidad, que en un contexto urbano no presenta más limitantes que tener un cargador y un enchufe.

En la situación de entregar autonomía mediante baterías recargables a los aparatos electrónicos, estando a kilómetros de alguna fuente de energía eléctrica propiciada por la ciudad, el tema de recargar se transforma en un problema, en la medida que el aparato va perdiendo su capacidad de autonomía se transforma gradualmente en una masa inútil.

Para el desarrollo del presente proyecto se ha identificado un segmento de personas que necesitan de soporte energético para asegurar la autonomía de sus objetos electrónicos portables. Específicamente aquellas que realizan actividades alejadas de la ciudad relativas al desplazarse por bipedestación en un medio natural<sup>5</sup>, léase senderismo (hiking), excursionismo (trekking), montañismo y expedición, los cuales caminan desde un día hasta varias semanas y supone de un equipo -tecnológicamente<sup>6</sup> adecuado- ante eventualidades programadas y no programadas.

<sup>1</sup> Procedimiento o conjunto de reglas, normas o protocolos, que tienen como objetivo obtener un resultado determinado en una actividad determinada

<sup>2</sup> <http://www.alegsa.com.ar/Dic/tecnologia.php>

<sup>3</sup> <http://www.alegsa.com.ar/Dic/miniaturizacion.php>

<sup>4</sup> Ley empírica, formulada por el co-fundador de Intel, Gordon E. Moore el 19 de abril de 1965, cuyo cumplimiento se ha podido constatar hasta hoy

<sup>5</sup> Se ha complementado con la norma chilena NCh2985-2005, donde especifica términos de turismo aventura - excursionismo

<sup>6</sup> Derivado de tecnología: Conjunto de habilidades que permiten construir objetos y máquinas para adaptar el medio y satisfacer nuestras necesidades



Respecto al tipo de aparatos portables que requieren mantener su autonomía en relación a las actividades mencionadas, se encuentran cámaras, linternas, aparatos de audio, telefonía celular y otros potencialmente descartables, sin embargo, por efectos tecnológicos hay unos que se han vuelto imprescindibles como los de orientación, localización y comunicación, que en situaciones adversas pueden hacer la diferencia entre sobrevivir o morir. En estos casos la autonomía se vuelve fundamental, para lo cual existen diversos sistemas capaces de administrar la energía como celdas fotovoltaicas, generadores eólicos, generadores cinéticos entre otros, los que se pueden ubicar dentro de la categoría “energías alternativas”<sup>7</sup>, relativo al marco de este proyecto.

El sistema más usado corresponde a las fotoceldas, cuyo rendimiento en un día soleado puede abastecer de energía suficiente las baterías, no así en un día nublado, o en situaciones donde la travesía tenga lapsos sombreados (bosques, cuevas u otras situaciones de esta índole), restringiendo su uso a las horas de luz. Por otro lado, la mayoría de los productos que actualmente utilizan esta tecnología requieren de un tiempo en que el usuario debe permanecer estático por el tiempo que dure la carga, por lo que es adecuado utilizarlo al momento que se acampa, sobre todo por los de mayor rendimiento, ya que su tamaño es directamente proporcional a la energía que es capaz de entregar; simultáneamente son la opción más costosa y más frágil.

Otra tecnología utilizada es la cinética, pero los aparatos ofrecidos en el mercado tienen un rendimiento muy bajo respecto a los solares por el hecho de necesitar esfuerzo y atención exclusiva del usuario para operarlo, lo que significa cortos períodos de carga; sin embargo, es la opción más barata.

Analizando a las personas identificadas en el segmento descrito, se observa que se mantienen la mayor parte del día en movimiento, el cual puede ser utilizado bajo el mismo principio que los actuales cargadores cinéticos, con la diferencia que puede lograrse una transformación de ese movimiento en electricidad de manera “no\_dedicada”, es decir, utilizar la gestualidad propia de la actividad de bipedestación para la generación de energía para el aseguramiento de la autonomía de los objetos portables de importancia. En resumidas cuentas es posible lograr con tecnología de bajo costo un rendimiento similar a los colectores solares, con una fuente de energía mucho más segura y sin más condicionantes que el propio movimiento de la persona.

Teniendo en consideración lo expuesto anteriormente es posible abordar el problema de la autonomía desde el diseño, traduciendo lo requerido en una forma que permita la obtención de energía eléctrica independiente de factores medioambientales, que emerja de los gestos propios de la actividad y que responda al contexto donde se utiliza.

---

<sup>7</sup> *fuentes de energía alternativa* es aquella que puede suplir a las energías o fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto contaminante, o fundamentalmente por su posibilidad de renovación.



## TEMA

Autonomía energética

## OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un objeto que convierta el movimiento corporal en energía eléctrica que supla necesidades de autonomía para objetos electrónicos portables de importancia para la seguridad humana en situaciones de lejanía de fuentes eléctricas fijas

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Ubicar el aparato en el cuerpo del usuario, de modo que se logre una transformación adecuada del movimiento en electricidad para las necesidades energéticas.
- Lograr que el objeto con sus dimensiones y peso no presente impedimentos de movimiento al usuario.
- Lograr una relación costo/rendimiento diferenciada positivamente de otros sistemas ERNC utilizados para asegurar la autonomía de objetos portables.

## REQUERIMIENTOS

- La electricidad generada se almacenará en baterías estándar AA
- La forma debe cumplir con exigencias de la actividad (clima, esfuerzos, movimientos, entorno)
- Sus componentes deben reciclarse fácilmente

## ALCANCES DEL PROYECTO

El objeto a diseñar está enfocado a la transformación de una parte del movimiento corporal que se realiza al caminar en electricidad, por lo tanto, si deja de usarse por motivos de un eventual accidente que impida moverse al usuario o se encuentre en estado de acampamiento, perderá la capacidad de generar energía para almacenarla, pero podrá utilizar la carga que ha generado hasta ese momento.

El hecho que se accidente o sufra de otros percances son variables externas al uso normal del aparato a diseñar y no se consideraran como determinantes de la forma.



## MARCO CONCEPTUAL

Debido a que la orientación de este proyecto es el aseguramiento de la autonomía de artefactos electrónicos mediante la carga de baterías, se aclararán términos técnicos que servirán para un mejor entendimiento de los contenidos presentados.

ERNC: Energías renovables no convencionales, término para catalogar la generación energética desde fuentes como la pequeña hidráulica (centrales hidroeléctricas < 20 MW), biomasa y biogás, geotérmica, solar, eólica, de los mares, cinética, etc. En términos generales es aquella que puede suplir a las energías o fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto contaminante, o fundamentalmente por su posibilidad de renovación.

Batería: dispositivo electroquímico que almacena energía para su posterior uso, en la medida que los químicos internos de la batería cambian, la energía eléctrica es almacenada o entregada.

En las baterías recargables, este proceso puede realizarse repetidamente.

mA: medida de corriente, desprendida de la ley de Ohm, donde La intensidad (medida en Ampere) de la corriente eléctrica que circula por un dispositivo es directamente proporcional a la diferencia de potencial (voltaje) aplicada e inversamente proporcional a la resistencia del mismo<sup>8</sup>  $[I=v/r]$ .

1[A] Ampere = 1000[mA] miliampere

mAh: La capacidad de carga en las baterías esta medida en mAh (miliampere-hora), indicador de cuanta corriente es capaz de descargar por hora de uso.

Rendimiento: Relación inversamente proporcional entre capacidad de generar corriente y tiempo en realizar la tarea, relativo a un sistema de generación eléctrica. Se entenderá como buen rendimiento aquel sistema que en menos tiempo logre una mayor generación de energía eléctrica.

El tiempo de carga de las baterías dependerá de la cantidad de corriente erogada por la fuente, es decir, si un cargador entrega un máximo de 500mA, cargará una batería de 2000mAh en cuatro horas.

Para efectos de estandarizar los datos, se tomará un valor promedio de carga de 4000mAh como medida base para el aseguramiento de la autonomía de los artefactos requeridos por las actividades del segmento en estudio. El segmento objetivo en el cual se basará el desarrollo de la propuesta de diseño, corresponde a las personas que realizan actividades recreativas fuera de la ciudad, relativas al desplazarse por bipedestación en un medio natural, dentro del contexto del “deporte aventura y turismo ecológico” que necesitan mantener la autonomía de ciertos equipos electrónicos relativos a la comunicación, localización y orientación principalmente, pudiendo incluir otros que son accesorios o de menor importancia.

<sup>8</sup>

[http://www.fisicanet.com.ar/fisica/electrodinamica/ap13\\_ley\\_de\\_ohm.php](http://www.fisicanet.com.ar/fisica/electrodinamica/ap13_ley_de_ohm.php)



## IDENTIFICACION DE SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

Sobre la base que el grupo de personas identificadas para el desarrollo del presente proyecto realizan actividades en bipedestación y se mantienen la mayor parte del día **caminando** como su principal actividad, portan objetos electrónicos vitales para la supervivencia que requieren mantener su autonomía; definiéndose como situación problemática, que los artefactos destinados para abastecer de electricidad a estos objetos portables mediante ERNC no aúnan individualmente las características requeridas para suplir adecuadamente las necesidades energéticas, a saber:

Si cubren la demanda energética, son de alto costo, frágiles, de gran tamaño y requieren de una permanencia temporal del usuario para su uso, por lo cual quedan restringidos al momento de acampar.

Si disminuyen en tamaño, baja su rendimiento y para ser utilizados necesitan de gestos exclusivos para su operación, siendo usados en estado de permanencia (o pausas obligadas ante una emergencia) sumado a una insuficiente generación energética.

Algunos dependen de las condiciones ambientales, haciendo variable o nulo su rendimiento de carga

De lo anterior se tiene que los sistemas disponibles en el mercado para asegurar la autonomía de objetos electrónicos portables no son del todo compatibles con las actividades realizadas en bipedestación lo que afecta directamente en el rendimiento, factor trascendental en este proyecto.

Para invertir esta situación, se debe actuar sobre la compatibilidad, lo que significa la concepción de un generador eléctrico que actúe en base a los gestos realizados por el usuario al desarrollar normalmente la actividad. De este modo se puede sacar provecho de un recurso energético no explotado: el movimiento que se realiza al caminar; como se mencionaba anteriormente, actividad central del segmento observado para este proyecto.





## PROBLEMA DE DISEÑO

Vistas las variables presentadas, el problema para el diseño es de resolver una interface que integre la tecnología de generación eléctrica en una forma determinada por el gesto al realizar actividades en bipedestación y el contexto donde estas se desarrollan.

El problema se abordó desde 3 aspectos, que son:

- Tecnología adecuada para transformar la energía, definida por las comparaciones [precio/rendimiento]-[operatividad/compatibilidad respecto a la actividad] de las utilizadas actualmente.

- Posibilidades de intervención brindada por la actividad

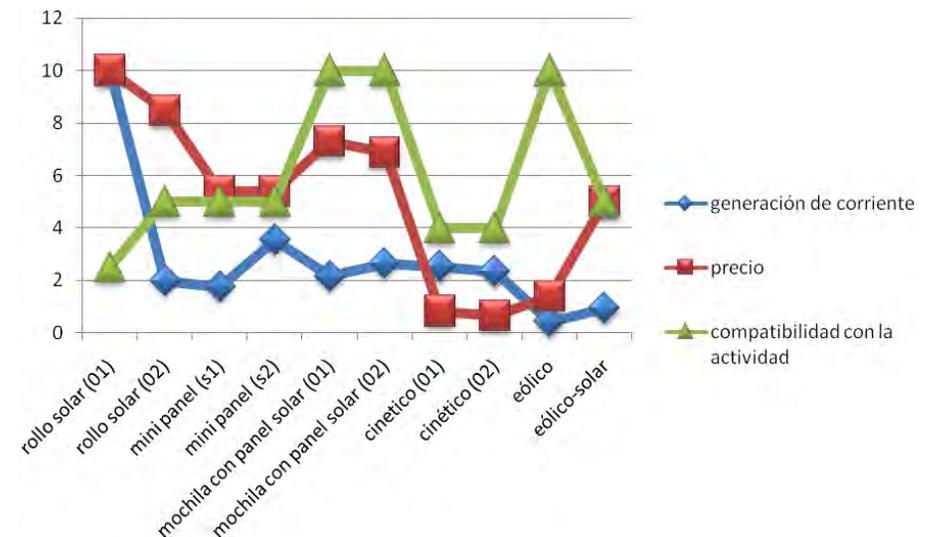
- Movimientos del cuerpo rescatables para la generación de electricidad

## ANÁLISIS DE PRINCIPIOS APLICABLES A LA SOLUCIÓN

### TECNOLOGÍA

Se realizó un análisis comparativo de tecnologías actuales destinadas a cargar baterías utilizando ERNC, donde se consideró precio, rendimiento por hora de funcionamiento y compatibilidad con la actividad. Este último concepto tiene relación con el gesto realizado para la obtención de la energía, en términos de destinación de esfuerzos o acciones externas al desarrollo normal de la actividad.

El resultado de la comparación arrojó lo siguiente (datos normalizados a escala de 1-10, donde el valor 10 representa el estándar de carga mínima necesaria. Ver anexo 1)





De las gráficas se puede sintetizar, orientado hacia el segmento objetivo, que es difícil encontrar un artefacto que sea compatible con el desarrollo de la actividad y que a su vez permita obtener un rendimiento de carga efectivo a razón de un precio acorde para cubrir las necesidades energéticas.

Los datos representados suponen de condiciones óptimas de funcionamiento, sin embargo, los que ocupan fuentes energéticas del ambiente como los rollos, las mochilas, el mini\_panel y el generador eólico no siempre funcionarán a su máxima capacidad, ya que algunos no pueden utilizarse constantemente y dependen de las condiciones climáticas.

Los sistemas cinéticos de generación, además de su baja generación de electricidad requieren de un ejercicio y gestualidad externa al desarrollo normal de la actividad, sin embargo la tecnología utilizada les brinda un bajo precio.

Los sistemas de captación solar, exceptuando las mochilas, suponen de una captación pasiva de energía, es decir, que pueden ser usados en períodos de descanso, acampamiento o en una emergencia suspender la actividad para utilizarlos (factor de compatibilidad), además de su alto costo producto de la fabricación de los paneles.

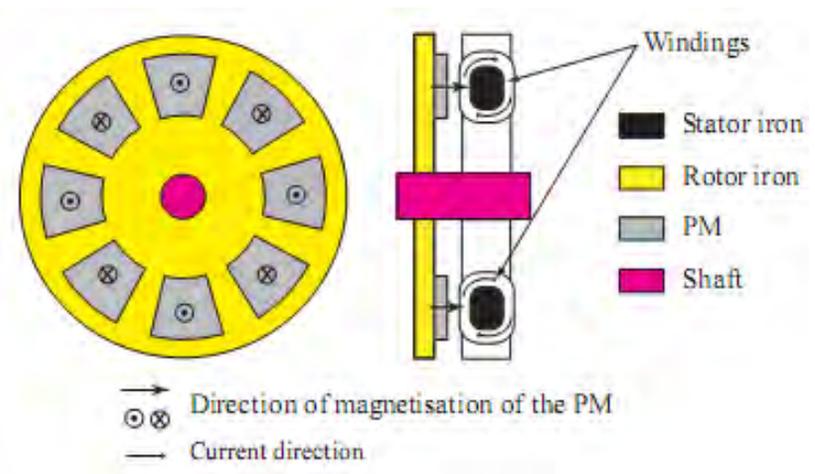
Las mochilas que tienen los paneles solares son las que obtienen el máximo valor respecto a la compatibilidad con la actividad SOLO en el caso que se use como el contenedor de los elementos propios del viaje, ya que se vuelve convierte en un elemento de captación “activa” sin afectar el desarrollo de la actividad.

Concluyendo respecto al análisis de los resultados de las gráficas, la intervención tiene sentido en el caso que se diseñe un artefacto/sistema que logre un alto rendimiento energético con tecnología de bajo costo y que sea compatible con el libre

movimiento del cuerpo al realizar actividades en bipedestación. Para cumplir con estos requerimientos es necesario concebir desde la ingeniería un generador acorde a las necesidades, cuyas dimensiones y peso sean acordes al contexto, dejándolo como material disponible para ser integrado en el proceso de diseño, donde la forma responda a la variable “compatibilidad con la actividad”.

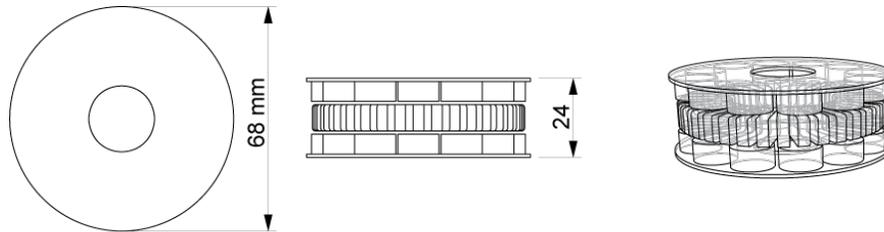
La tecnología de menor costo es presentada por los artefactos cinéticos donde la transformación se realiza dándole movimiento a un dínamo o motor eléctrico convencional, sin embargo es el sistema que muestra el menor rendimiento.

Para revertir esto se ha diseñado para este proyecto un generador de imanes permanentes de flujo axial con estator toroidal, debido que presenta una óptima relación tamaño / RPM para generar electricidad (ver cálculos en anexo 2).





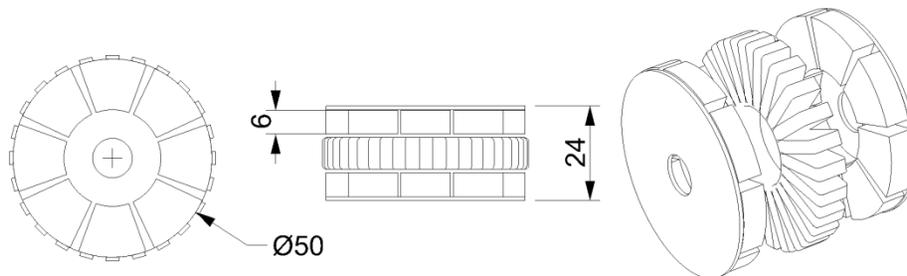
El diseño inicial contemplaba un generador que giraba a 200 RPM con una masa de 300g y entregaba 570mAh, cuyas dimensiones son las siguientes:



Los datos de masa y volumen del generador dan las primeras pautas para la configuración de la forma final.

Es importante mencionar que el generador fue pensado para trabajar en pares, de modo que la carga sobre el cuerpo del usuario sea simétrica.

Posteriormente se hicieron pruebas respecto a la velocidad posible de lograr mediante engranes y se replanteó el cálculo, pero esta vez con 400 RPM, resultando en una disminución de tamaño y masa (200g) sin disminuir la corriente:





## POSIBILIDADES DE INTERVENCIÓN

Una vez resuelto el tema de la suficiencia energética se procede al análisis de las variables de la actividad que serán determinantes de la forma.

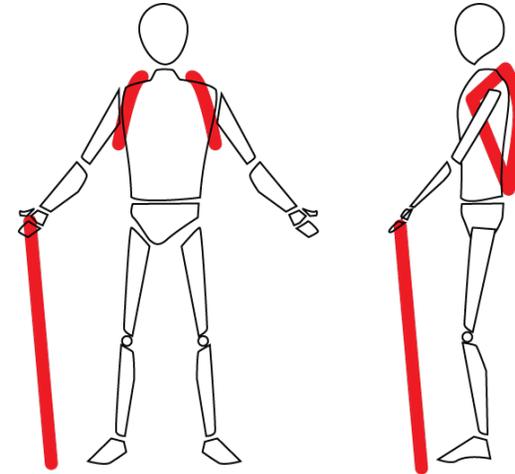
### Senderismo

Actividad deportiva no competitiva, que se realiza sobre rutas predefinidas, preferentemente tradicionales, ubicados en el medio natural; busca acercar a las personas al medio natural y al conocimiento del país a través de los elementos patrimoniales y etnográficos que caracterizan las sociedades preindustriales, recuperando el sistema de vías de comunicación<sup>9</sup>; Constituye una simbiosis entre deporte, cultura y medio ambiente. La duración normal del senderismo no excede de un día, en casos especiales podría extenderse un par de días, el equipo necesario recomendado consta de ropa adecuada, mochila, botas, navaja, brújula/gps, bastón, agua, cámara fotográfica, teléfono celular.

La disposición del equipo se concentra principalmente en la espalda, dejando el resto del cuerpo con posibilidad de moverse libremente. En algunos casos usará uno o dos bastones para agregar un impulso y estabilidad extra a la caminata.

El desarrollo de la actividad se realiza en bipedestación a un ritmo moderado, de modo que se mantenga el grupo unido, el movimiento de las extremidades corresponden al caminar regular, variando en los casos con bastón.

El descanso se realiza en posición sedente, siendo el suelo el soporte más comúnmente utilizado; se libera al cuerpo de la mayor cantidad de elementos posible.



<sup>9</sup>“ Actividades en el Medio Natural: Senderos y Senderismo en los pequeños municipios”, Antonio Merino Mandly

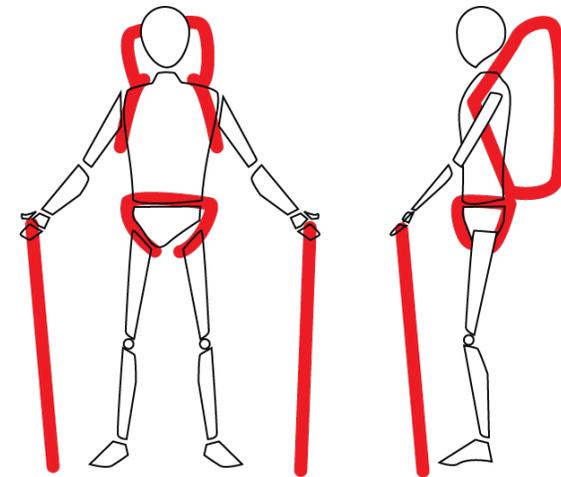


## Excursionismo\_expedición\_montañismo

para los efectos de este proyecto, se entenderán como actividades recreativa que se realiza a pie en algún medio natural por más de un día, mezclándose con la acampada, donde el equipo variará según el espacio geográfico a recorrer. Se agregará la expedición dentro del excursionismo, con la salvedad que este término se ocupa cuando la salida colectiva excede los 12 días<sup>10</sup>, pudiendo ser también de carácter científico o militar, pero en este caso en particular se entenderá que se trata de una “expedición deportiva”. Entre los elementos necesarios se encuentran cuerdas, arnés, mochila, botas, navaja, equipo de cocina, de acampada, bastón, víveres, agua y elementos electrónicos como cámara de fotos, filmadoras, linterna, siendo de **vital importancia** para la supervivencia el gps, localizadores, teléfono satelital y equipos de radiocomunicación.

Al desarrollar actividades que pueden extenderse por más de 12 días, donde se mezcla la acampada con largas caminatas, ascensos verticales y rapel, es necesario contar con un equipo adecuado para soportar la travesía. El hecho que la actividad se realiza por bipedestación y escalada restringirá el equipo a la parte posterior del cuerpo, regularmente hasta el límite lumbar, de modo que las extremidades inferiores queden libres. Además se complementa el andar con bastones, y, en los casos de escalada\_ rapel el correspondiente arnés. Dependiendo del trazado se utilizará ropa térmica, o ropa cómoda que permita desarrollar la actividad adecuadamente.

Al descansar se procura despejar la carga sobre la espalda, y en la medida de las posibilidades del momento, parte o el resto del equipo.



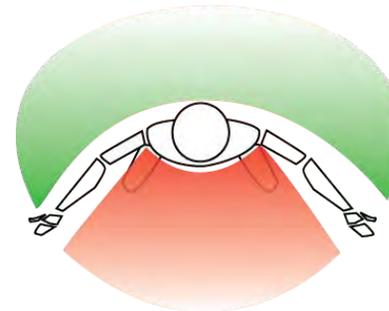
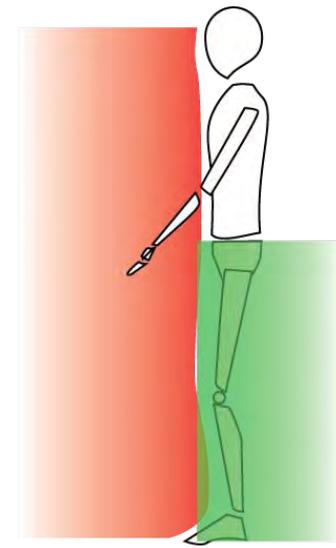
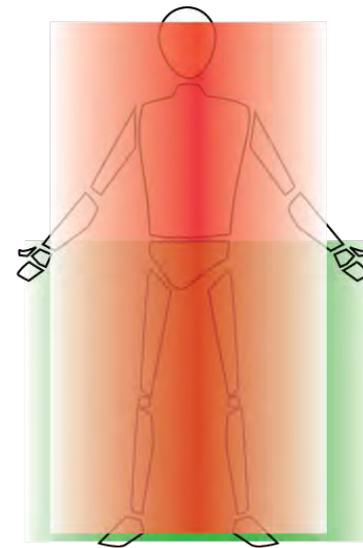
<sup>10</sup> Según NCh2985-2005



Haciendo una comparación entre las actividades se ha reconocido que existe una zona que no puede ser intervenida, por un lado, al moverse en bipedestación es esencial que el frente del cuerpo se mantenga despejado para cubrir cualquier eventualidad y reaccionar utilizando las extremidades libremente; y por otro, si se está ante un caso de escalada o rapel, la zona frontal se enfrenta al plano vertical con el espacio justo para pasar la indumentaria de sujeción hacia el arnés, donde las extremidades también deben tener la suficiente libertad para permitir un ascenso/descenso seguro.

De lo anterior se puede inferir, que hay una zona posible de intervenir, correspondiente a la parte lateral y posterior del cuerpo, bajo la cintura, ya que la porción de la espalda desde la zona lumbar hasta la zona cervical se conservará intacta para el uso de la mochila.

Respecto a la etapa de descanso se reconoce que el equipo de apoyo es retirado en la medida de lo posible, para aliviar de cargas y presiones el cuerpo; en síntesis, acciones necesarias para que la instancia corresponda a un “descanso”.



-  Zona no intervenible
-  Zona con posibilidades de intervención



## MOVIMIENTOS DEL CUERPO RESCATABLES PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

Se analizó de diversos movimientos dentro del área de intervención quedando como los de mayor potencial el movimiento generado por el efecto del peso sobre la planta del pie al dar un paso y la flexión de la rodilla en el paso.

### Peso sobre la planta



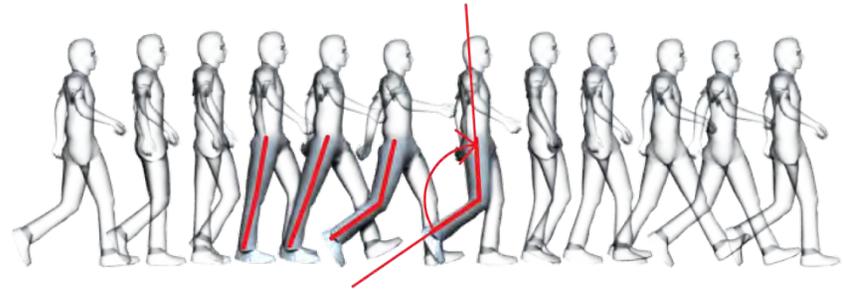
Se experimentó con una maqueta para comprobar la cantidad de rotaciones posibles de lograr con un mecanismo y el peso del cuerpo en un paso como fuerza motriz. El resultado fue favorable, logrando sobre 400 RPM, cumpliendo con los requerimientos de movimiento del generador.



Se descartó seguir por esta vía debido que era potencialmente peligroso adosar un elemento al calzado, sobre todo cuando se está caminando por terrenos agrestes.

### Flexión/extensión de la rodilla

Según el estudio realizado por J. M. Donelan, Q. Li, V. Naing, J. A. Hoffer, D. J. Weber, A. D. Kuo, investigadores de las universidades Simon Fraser University (Canadá), University of Pittsburgh (E.E.U.U) Y University of Michigan (E.E.U.U) denominado "Biomechanical Energy Harvesting: Generating Electricity During Walking with Minimal User Effort" expresan en medidas de gasto energético para el cuerpo humano la posibilidad de transformar movimiento en electricidad, donde concluyen que en la fase pasiva del paso, es decir, cuando la pierna se extiende para apoyar el peso del cuerpo antes de dar el siguiente paso, el gasto energético es menor que el producido al flectar la rodilla (ver anexo 3); por lo tanto se transforma en el movimiento conveniente para obtener energía a través de un dispositivo ideado para esta situación



El dispositivo generado para el estudio consta de una serie de engranajes que transmiten el movimiento a un generador convencional y todo el sistema montado sobre una carcasa rígida que se adosa a la pierna mediante bandas.

Sin embargo, al ser un prototipo para el estudio del movimiento, permite la utilización de los datos que presenta y contextualizarlos en una aplicación favorable, en este caso, las personas que se desplazan por bipedestación en un medio natural.

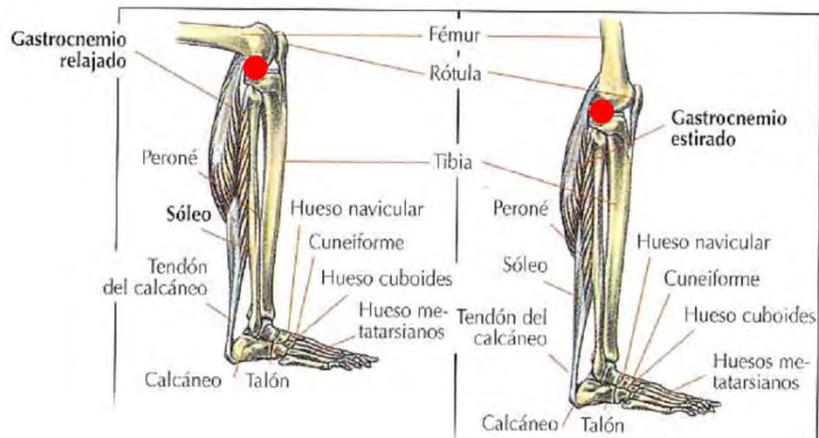


## MARCO DE REFERENTES PARA EL DISEÑO

### Anatomía

Eje de rotación rodilla / modo de captación

El hecho que la pierna se doble al nivel de la rodilla supone de un pivote, cuyo centro permitirá dar ubicación al eje de rotación del sistema mecánico, tomando este dato como medida inicial de la construcción física del modelo

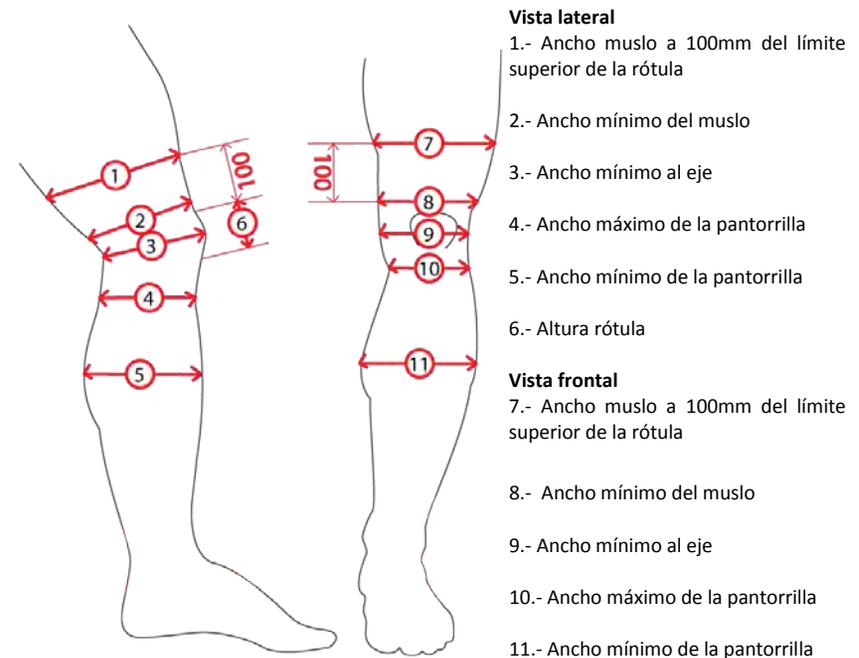


Por otro lado, la pierna al caminar cambia su geometría, por lo que el apoyo/modo de extracción debe ir ubicado de manera que pueda amoldarse al movimiento de las partes internas. Se optó por aumentar la superficie rígida de contacto, envolviendo los miembros, haciendo que la estructura permita flexibilidad a la deformación y rigidez para la extracción

### Ergonomía

En el aspecto ergonómico se realizó un levantamiento antropométrico, para determinar las exigencias hacia la forma respecto a los tamaños, de modo que el objeto fuera capaz de ser utilizado por la mayor cantidad de personas.

Se tomó una muestra de 10 personas de ambos sexos, en bipedestación, donde se consideraron además de la altura (alt), las siguientes medidas:

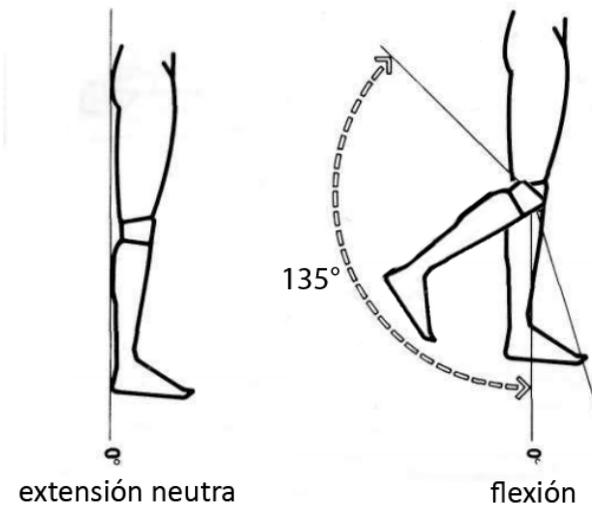




	h	h	h	h	h	m	m	m	m	m	Criterio
alt	1670	1840	1770	1710	1950	1670	1560	1610	1580	1650	AER - AEF - ES - EI
1	175	148	135	153	170	126	131	128	127	125	AER
2	125	128	119	124	150	107	113	110	109	107	AER
3	122	133	120	125	150	108	114	111	110	108	AER
4	110	110	110	110	130	107	109	108	107	108	AER
5	119	120	115	118	130	109	112	111	110	109	AER
6	64	58	59	60	60	49	54	52	50	51	ES
7	142	132	106	127	165	125	116	120	123	124	AER
8	113	115	107	112	130	104	106	107	106	105	AER
9	112	123	109	115	120	103	106	105	104	103	AER
10	99	106	97	101	125	96	98	97	95	96	AER
11	112	113	106	110	125	104	105	105	104	104	AER

De la tabla se concluye que el criterio para el diseño del objeto serán los valores extremos, pero deberá permitir su regulación para cubrir la mayor cantidad de usuarios, excepto en la medida de altura rotular, donde se utilizará el extremo superior para el diseño.

Respecto a la biomecánica, al tratarse de un elemento que copia el movimiento no forzará al usuario adoptar nuevas posturas. Como se trata de la acción de caminar, la flexión de la rodilla siempre se encontrará dentro del rango normal de movimiento desde la extensión neutra.





Se observa la posibilidad de que se adopte la postura de flexión máxima de las rodillas, por lo que se debe pensar en un acolchado que pueda ajustarse para cubrir la variedad de usuarios



### **Materialidad**

El artefacto será diseñado para su uso a la intemperie, por lo que estará expuesto a los cambios climáticos y a colisiones con elementos del entorno. Esto implica consideraciones respecto a sellos para los componentes eléctricos y resistencia tanto a los impactos como a los cambios de temperatura por parte del material.

A lo anterior se suma la importancia de la ligereza del objeto, donde el polipropileno en su versión copolímero es idóneo para las exigencias tanto de flexibilidad como liviandad, ya que posee el menor peso específico dentro de los plásticos, es resistente al impacto, posee buena capacidad de recuperación elástica y conserva su ductilidad hasta los  $-40^{\circ}\text{C}$ .

Otro factor fundamental de este material es su condición de termoplástico, que le permite ser 100% reciclable.

Para el acolchado se utilizará espuma de polietileno de baja densidad, por su reciclabilidad, aislación y presentar mejor resistencia a los impactos que otras espumas<sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup> Handbook of polymer foams



## Referentes objetuales

Se analizaron objetos utilizados en las actividades relativas al proyecto para traspasar criterios respecto al lenguaje de los elementos.

En el aspecto simbólico se utilizan colores planos, contrastantes con el medio, con el motivo de resaltar la presencia, facilitando la ubicación ante una situación de búsqueda o rescate .





Respecto a lo indicativo, los elementos evidencian claramente el modo de uso, ya sea por texturas o cambios de materiales.





Para el desarrollo de la significación estética del proyecto, se tomó referentes del documento "A Periodic Table of Form: The secret language of surface and meaning in product design" (ver anexo 4), escrito por Gray Holland, el cual expone respecto a las distintas significancias que adopta la forma según la continuidad entre las superficies, que para el entendimiento se midió en lenguaje CAD, vale decir posicional, tangencial y curvatura; se ejemplifica en el diseño de medios de transporte:

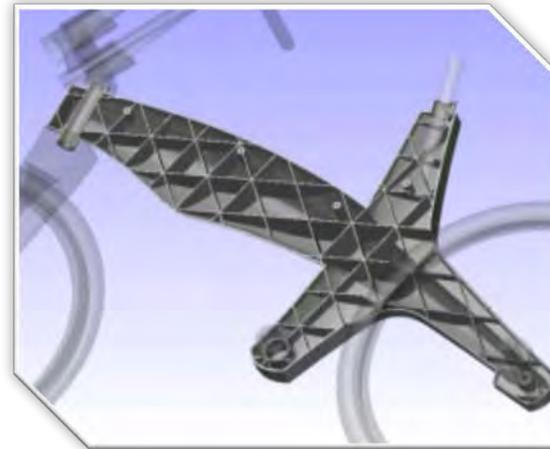
### Continuity in Transportation Design



La continuidad posicional otorga características de sofisticación, precisión y fidelidad; la curvatura proporciona fluidez y elegancia; lo tangencial se relaciona con la utilidad, función y eficiencia, apelando a que las formas concebidas con continuidad tangencial son inexistentes en la naturaleza por lo que pertenecen 100% a la técnica, de ahí su connotación funcional.

### Estructura en el plástico

A diferencia con otros materiales, es posible concebir objetos en plástico con doble curvatura, siendo una manera recurrente de estructurarlo; también se utilizan costillas, o se pueden configurar ambos métodos simultáneamente en la misma forma.





## PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

### PRIMERA HIPÓTESIS DE TRABAJO

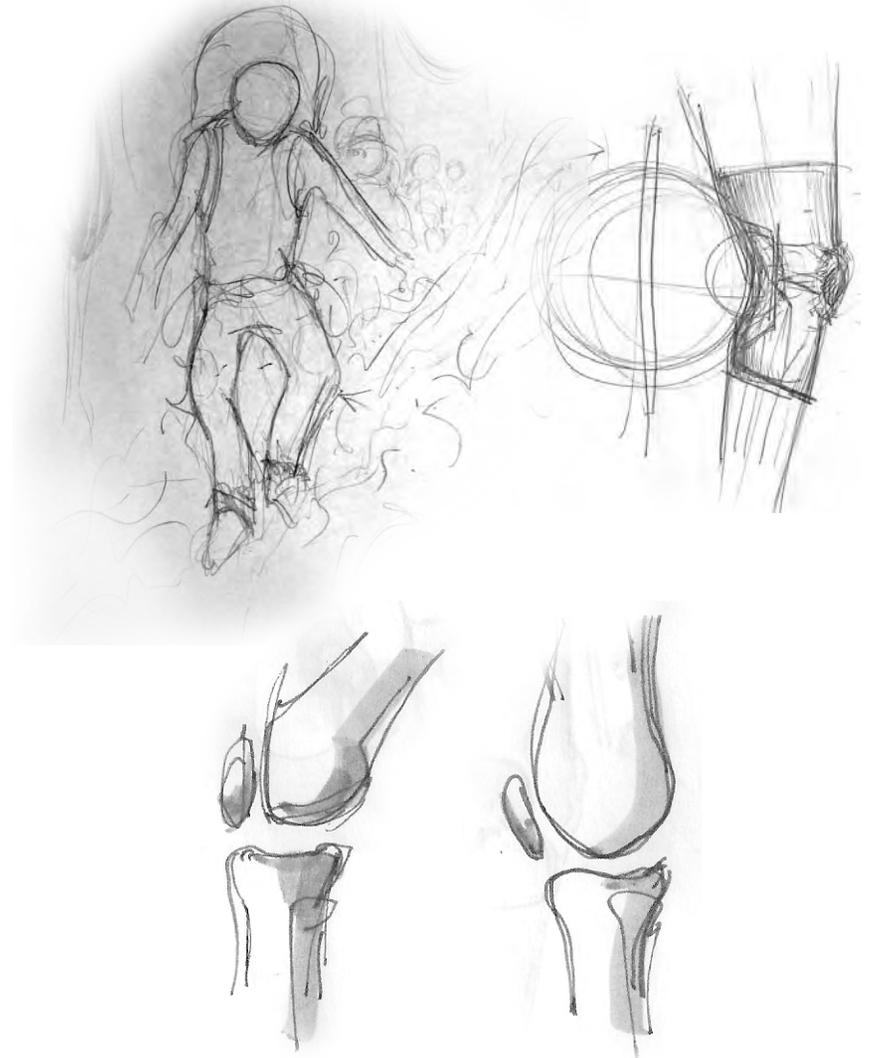
Si se diseña una interface que se adose al cuerpo a la altura de la rodilla, que transforme el movimiento que realiza la articulación al extenderse en energía eléctrica, permitirá asegurar la autonomía de objetos electrónicos portables esenciales utilizados por el segmento de personas en estudio.

### PROBLEMA ESPECÍFICO DERIVADO DE LA HIPÓTESIS DE TRABAJO

El diseño de la interface debe hacerse cargo por un lado de la relación física con el usuario, donde aparecen variables como ubicación adecuada respecto al eje de rotación de la rodilla, sujeción, amortiguación y flexión; y por otro, de la relación con las variables del entorno donde se usa.

Estructuralmente será en parte flexible para adaptarse a cada usuario, teniendo ciertas zonas más rígidas para optimizar la extracción del movimiento, además de considerar las variables climáticas y físicas del entorno, por lo que se ha escogido el polipropileno en su variante de copolímero como material a utilizar.

Respecto a lo significativo, la forma tendrá un lenguaje similar a los objetos y modos en relación al contexto que se ha definido.

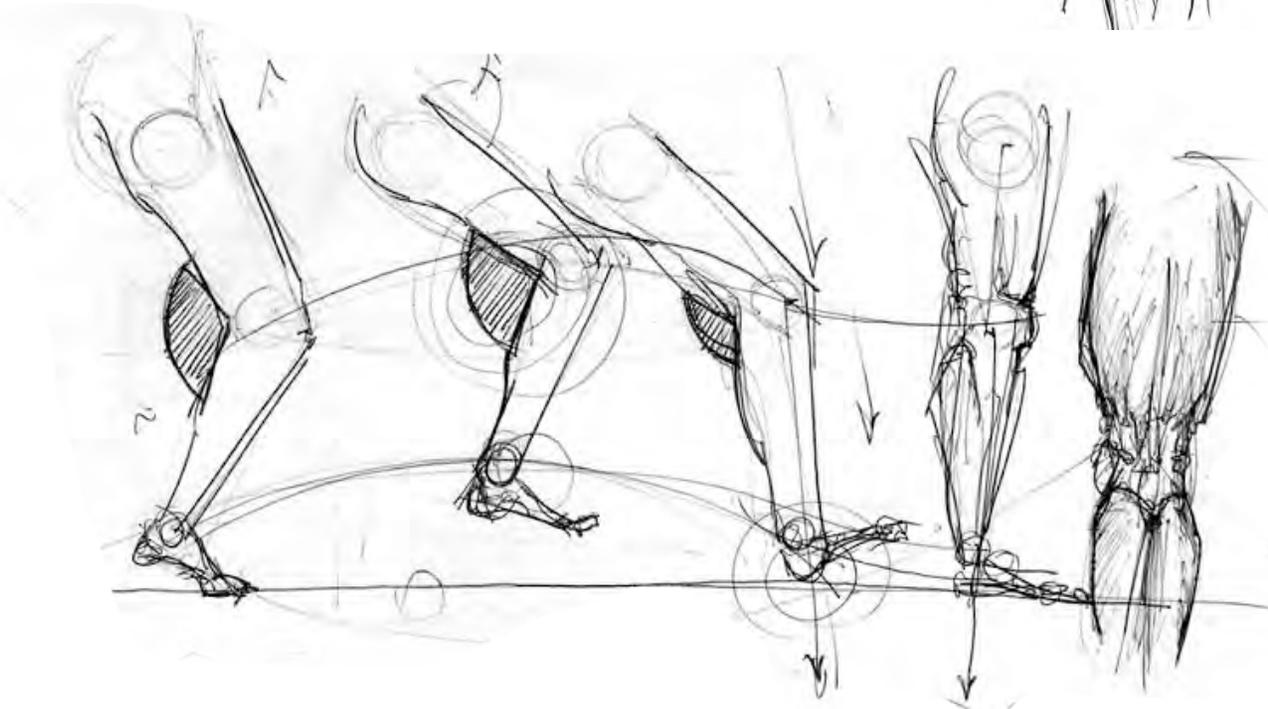
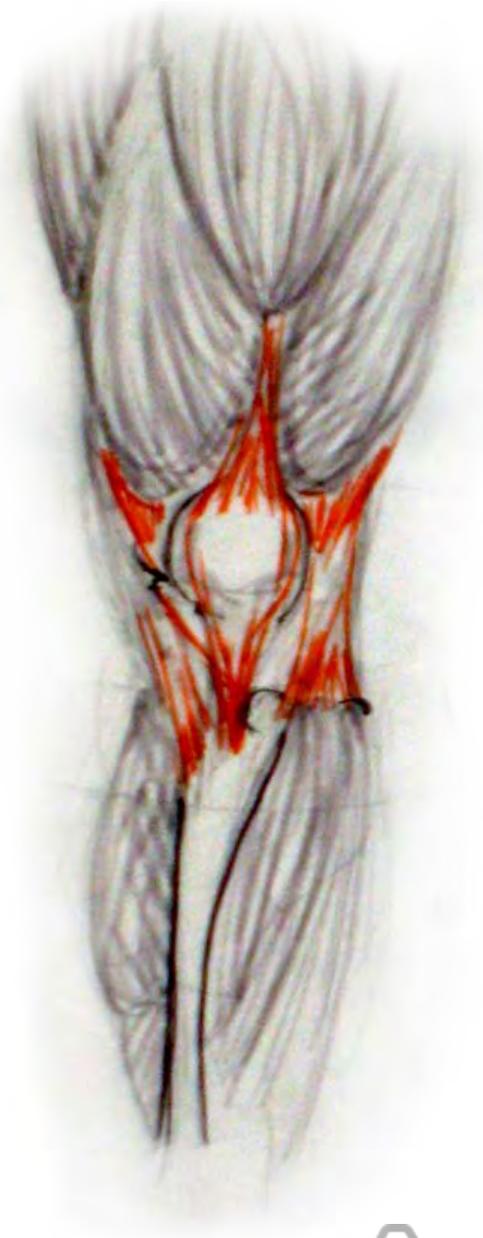
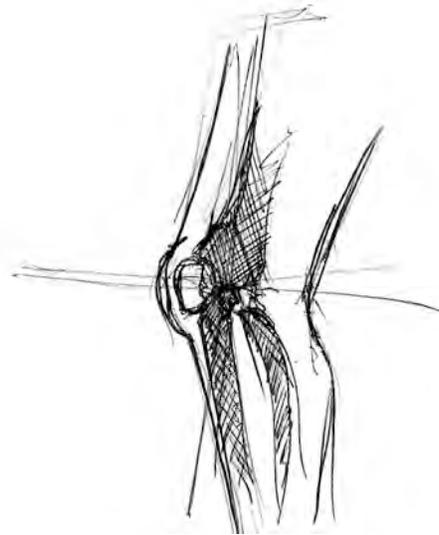




## PROPUESTA CONCEPTUAL

Al definir que se adosará al cuerpo una interface que transformará el movimiento al flectar la rodilla en energía eléctrica, se visualiza como un complemento corporal a modo de exoesqueleto haciendo una analogía a los elementos estructurantes y motrices internos de la pierna, externalizándolos en un lenguaje técnico

El artefacto se sostendrá cubriendo porciones tanto del muslo como la pantorrilla, permitiendo al objeto moverse junto al usuario y extraer el movimiento de la flexión articular de la rodilla, transformándolo en energía eléctrica





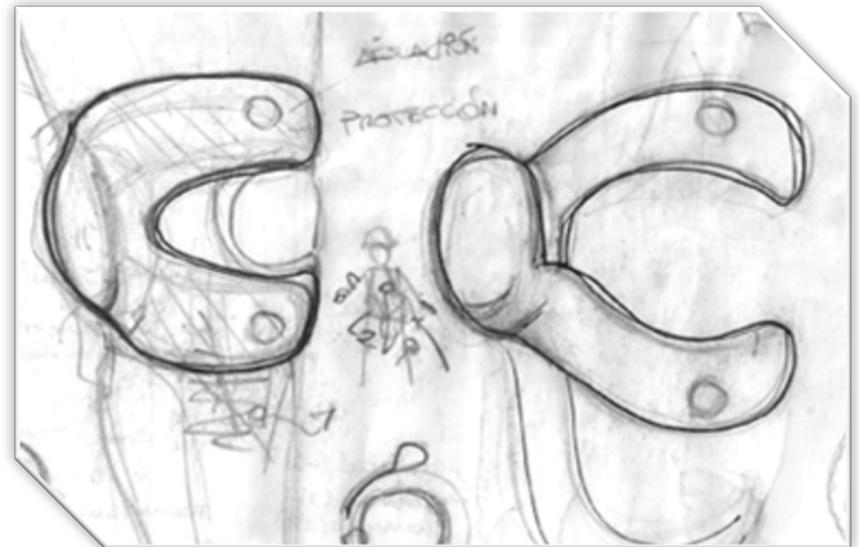
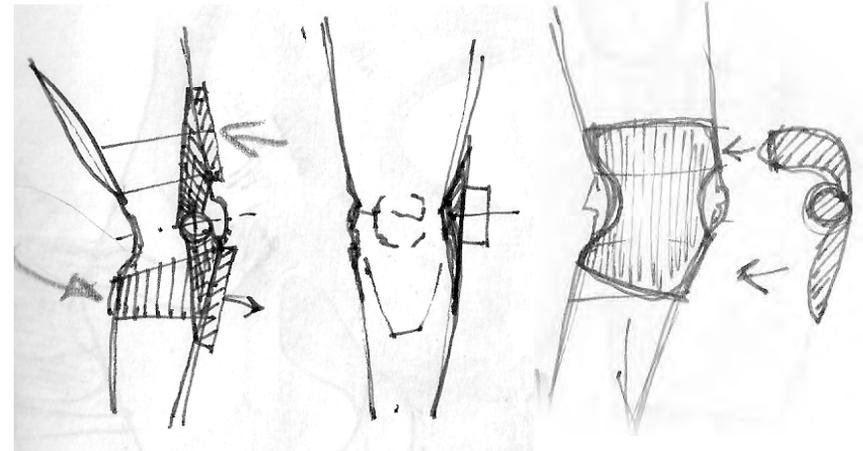
## GENESIS FORMAL

Para que el objeto convierta el movimiento a electricidad, es necesario que la forma, o parte de ella esté conformada por elementos rígidos, para coordinar el movimiento entre la pierna y el generador.

Inicialmente se pensó en una cobertura flexible que permitiera insertarle uno o más elementos rígidos, así como se realiza en deportes de contacto, donde se le otorga rigidez a zonas específicas del equipo, pero fue descartado por el hecho que la plataforma flexible tendría pérdidas al extraer el movimiento.



De lo anterior se optó por extender la extensión del elemento rígido y dejar la característica flexible para las fijaciones con el fin de mejorar la copia del movimiento.





Se realizaron maquetas de prueba con acrílico y se observó que el elemento debía ser semi-rígido, o relativamente rígido por la deformación que necesita ante una flexión de la pierna y el cambio de geometría que se produce.



Se fabricaron más modelos con distintas geometrías en un material más flexible (pvc) para identificar las posibilidades estructurales, de posicionamiento, acolchado, amarres y de tamaño, realizándose una prueba en terreno (ascenso y descenso a un cerro por más de cuatro horas).



Otra variable que indica la flexibilidad en ciertas partes del artefacto, es la variedad de usuarios con su geometría individual, donde el centro de rotación de la rodilla y el contacto del objeto con el cuerpo serán distintos para cada uno.

Esto entrega otros datos a considerar respecto a la elección del material y las medidas corporales de los posibles usuarios.



Para la evaluación del comportamiento se usaron dos modelos distintos con una masa equivalente al generador y una resistencia elástica para simular el comportamiento de los elementos reales, donde se midió:

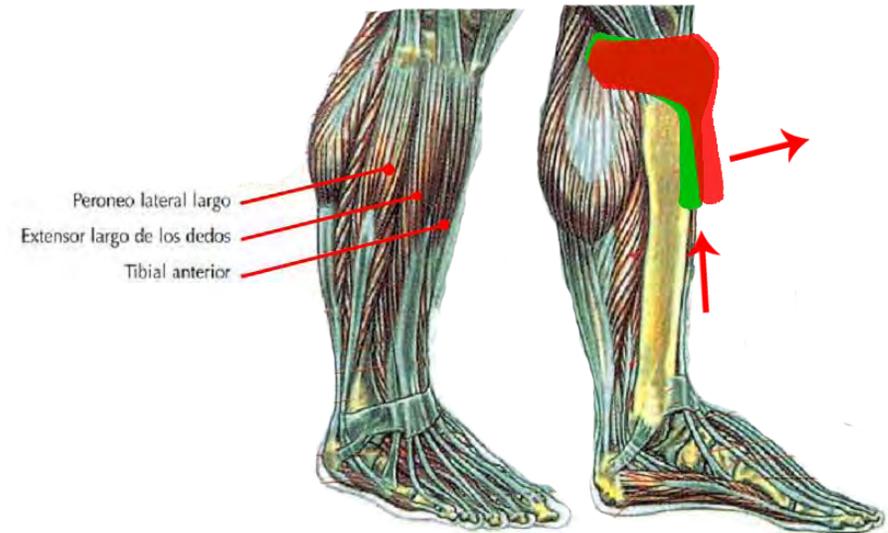
- Condiciones de la ropa respecto a las fijaciones
- Ajustes de posición y apriete de las fijaciones durante el trayecto
- Condiciones de la piel en la zona del cuerpo donde se sujetó el artefacto, después de cuatro horas de uso



Como resultado de la prueba respecto a las mediciones indicadas se tuvo lo siguiente:

- La ropa se mantuvo en posición en ambas piernas por la parte posterior, sin embargo, en la perna izquierda, la forma del objeto en la porción móvil inferior ocasionaba que la ropa fuera metiéndose bajo ella, esto por efecto del movimiento muscular del peroneo lateral largo, el tibial anterior y el extensor largo de los dedos del pie, haciendo un efecto de “leva” con la tibia, que movía la ropa hacia arriba progresivamente.

Para evitar esto se observó que las partes que envuelven la pierna debían posicionarse sobre los tejidos blandos evitando el contacto con el esqueleto.





- Se ajustó la posición una vez durante el ascenso, debido al material con que se amarró (tela de neopreno), considerando utilizar para la forma final un material más firme, pero flexible.

- La piel en la zona de presión por el amarre no sufrió daños, marcándose como lo hace con la ropa interior. Se aumentará el área de apoyo para mejorar la distribución de la presión sobre el área.



#### Otras consideraciones

- Se requieren aperturas para la ventilación y un acolchado que permita la evaporación del sudor.

-Respecto a la geometría de los elementos de prueba, es necesario que la zona de amarre se prolongue, para que la superficie que recibe el movimiento conduzca las cargas a través de la fijación, ya que las actuales pierden movimiento por la extensión del material.

- Como evaluación general de las formas de prueba, se llegó a las siguientes conclusiones:

1.- La superficie de cobertura superior debe extenderse más para captar el movimiento de mejor manera.

2.- El alto de la superficie es adecuado, pero pierde estructura al adelgazarse en la base.

3.- La forma de la superficie le permite apoyarse sobre el músculo, por lo que mantiene la posición y no presenta contrariedades. El tamaño asegura la captación del movimiento.

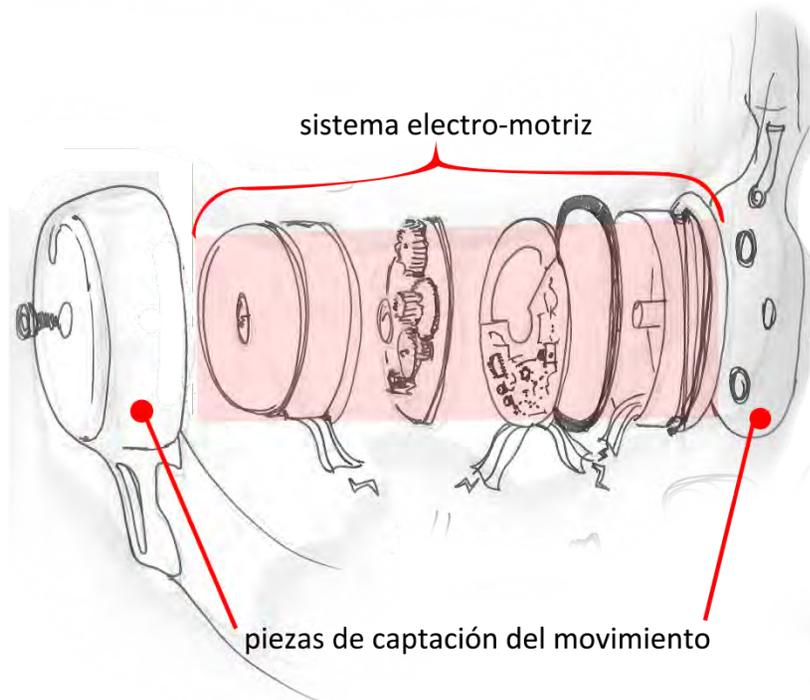
4.- Ocasiona retracción de la ropa





Antes de bocetar la forma final se consideró el ordenamiento de las piezas móviles y electrónicas, así como el modo de ensamble, teniendo en cuenta lo expresado en los requerimientos respecto a la facilitación del posterior reciclaje.

El diagrama sistémico es el siguiente



El artefacto se ha pensado de manera que al sacar una fijación mecánica (tornillo) quede expuesto todo el sistema electrónico y mecánico, quedando los componentes listos para el descarte como "basura electrónica" una vez que falle; las piezas restantes al ser de polipropileno puro, también quedan en condiciones de ser recicladas.

La energía eléctrica generada se almacenará en sendas baterías estándar AA, que irán alojadas individualmente en cada artefacto, estas, podrán ser usadas como recambio por otra vacía, o utilizar la carga conectándose al artefacto mismo. El diagrama de uso, respecto a la energía, es el siguiente:



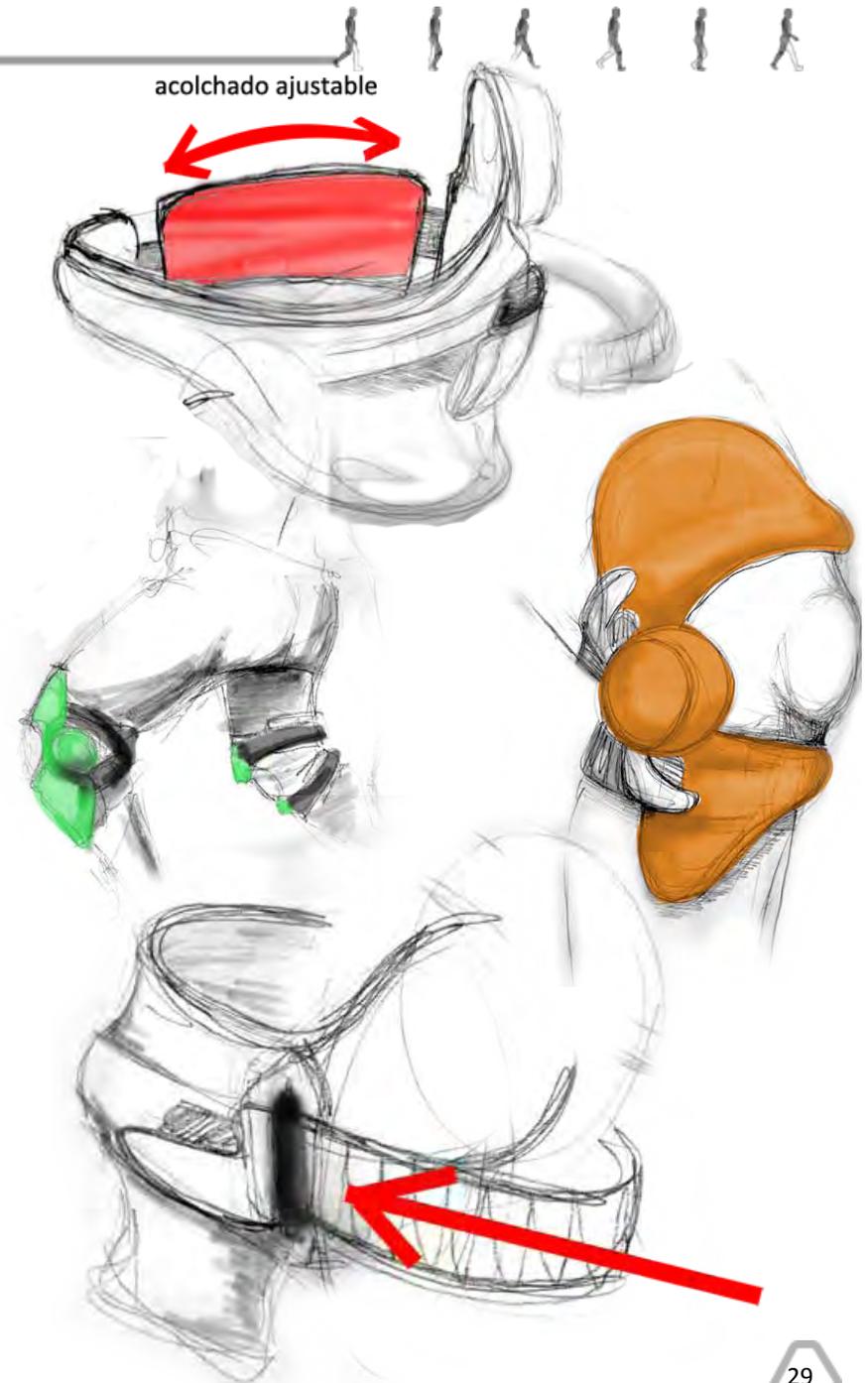
Para la sujeción de cada objeto, se usará el sistema de correa dentada y trinquete, actualmente destinado para las fijaciones de snowboard, lo que permitirá el ajuste controlado de la tensión de apriete, incluso si el usuario lo opera con guantes.



Se optó por este sistema porque otorga flexibilidad y buena resistencia a la tensión.

Para disminuir la presión sobre la cara posterior de la pierna, se ha complementado con un soporte acolchado ajustable en posición, de mayor área que la correa.

Se dará la situación que parte de la correa sobrepase la línea de ajuste, sobretodo en personas con las piernas delgadas, por lo que se definió un lugar dentro del cuerpo del artefacto para esconder el segmento sobrante.

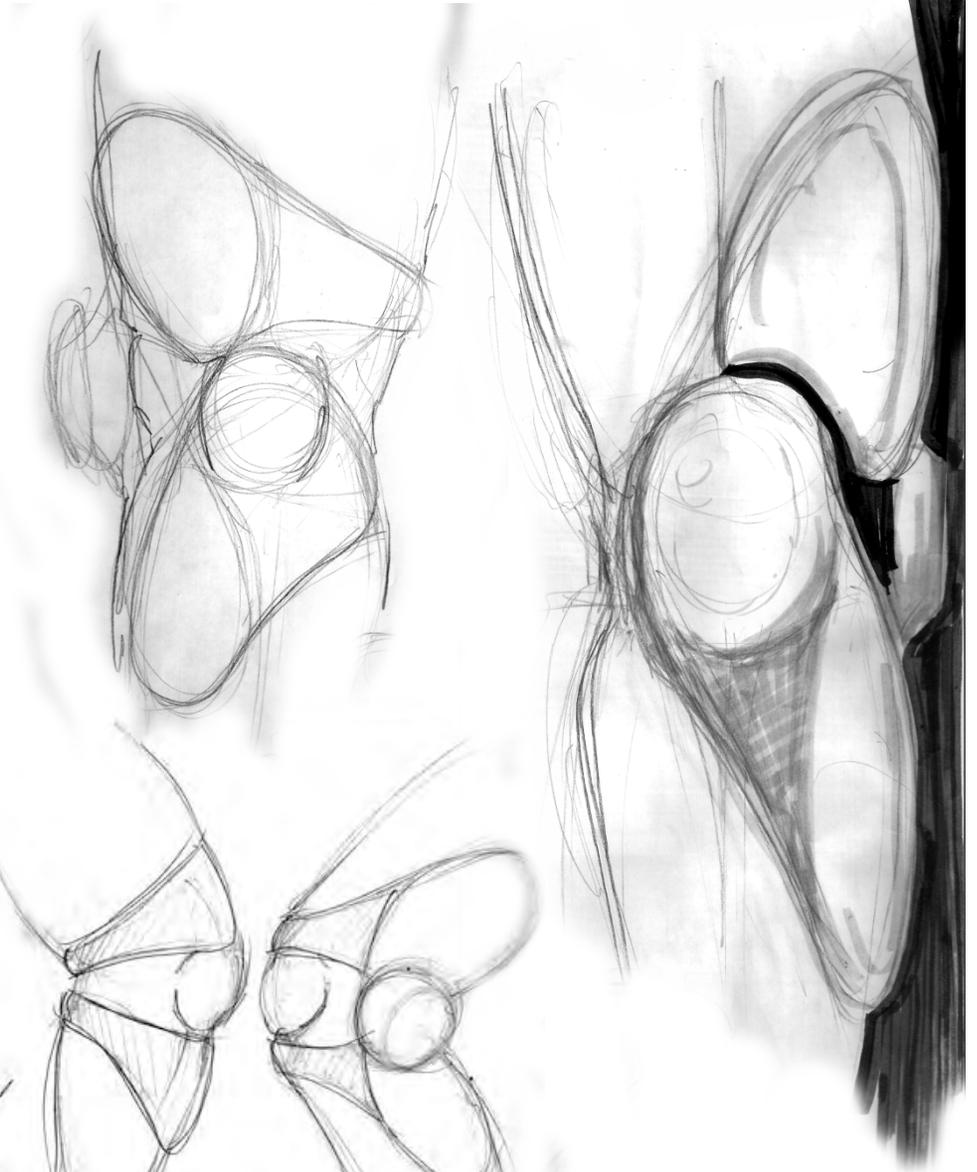
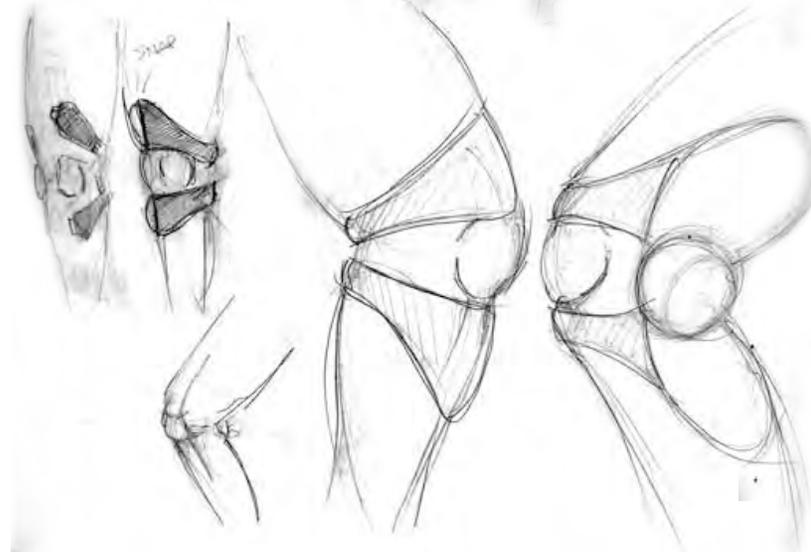
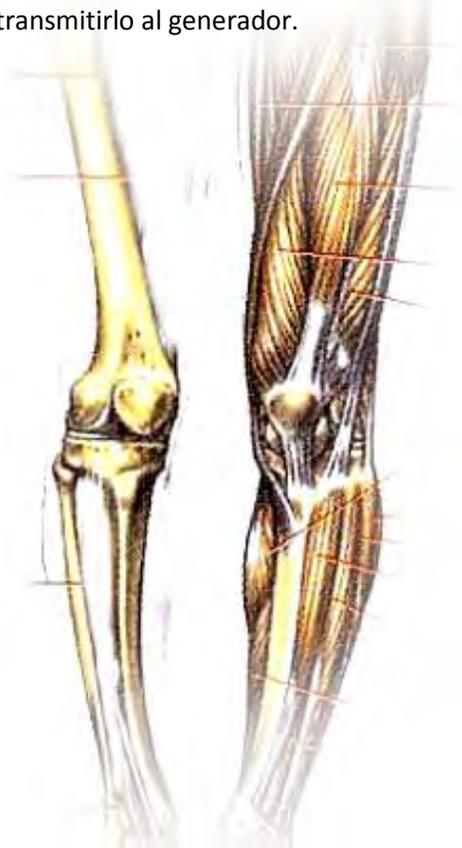


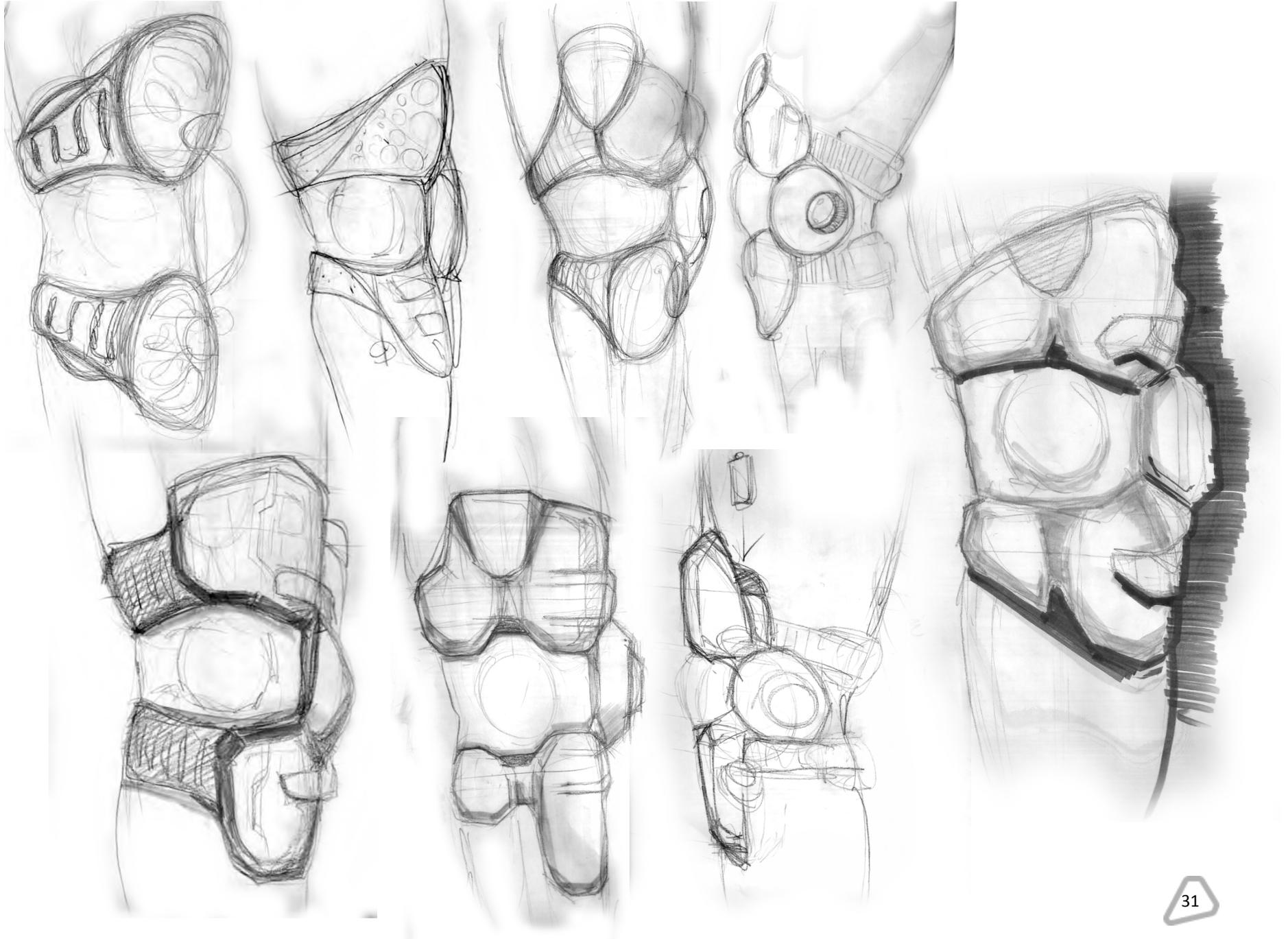


Para el aspecto significativo de la forma se toma el referente de las estructuras internas de la pierna, sumado al tipo de continuidad en la curvatura entre las superficies de la forma.

Análogamente, el sistema óseo otorga estructura, por lo que se rescatará la línea de posición de los huesos para generar un nervio y rigidizar la forma con una doble curvatura, así la superficie de contacto resistirá la flexión en relación al eje de la articulación.

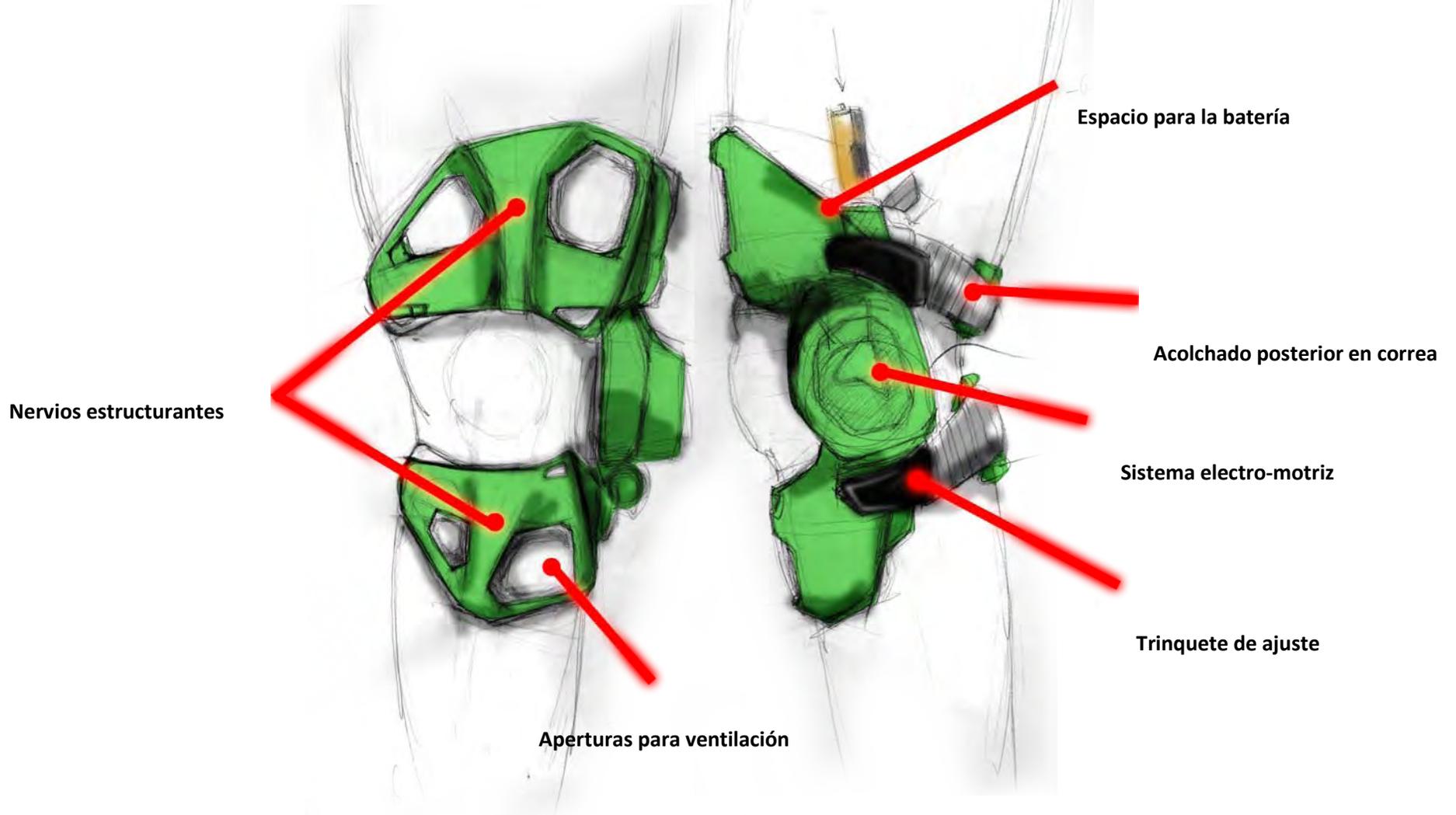
El sistema muscular implica dinamismo, cambio de geometría, complemento a lo estructural, energía hecha movimiento, por lo tanto se dotará a la forma con una superficie flexible que se posicionará sobre los grupos musculares, que le permitirá variar su geometría, amoldándose al cuerpo para capturar el movimiento y transmitirlo al generador.







Bosquejo de forma final, como resultado del estudio de posibilidades formales y significantes. Se intenta dar un carácter de precisión técnica a los referentes corporales.





## PRODUCTO

Se tradujo el bosquejo en una forma fabricable, efectuándose ciertas modificaciones en la forma.

El depósito de la batería cambió de posición por motivos de transmisión eléctrica.

El artefacto se dividió en piezas menos complejas para su fabricación por el método de inyección.

Se eliminó parte del material en el pliegue central superior, para otorgar más flexibilidad.









## PRODUCCIÓN Y COSTOS

Se consideró una producción de 10.000 unidades anuales para el cálculo de los costos de fabricación.

Se utilizará polipropileno en su variante de copolímero para el proceso de inyección de las piezas (ver especificación en anexo 5).

Simultáneamente a la aplicación del pigmento colorante, se agrega un protector de filtros UV.

Las cotizaciones se hicieron en base a los modelos virtuales. Las planimetrías solo muestran cotas generales, a modo de guía para cotejar las presentes en el modelo virtual, según el método actual para la generación de matrices.

### COSTOS

Para el cálculo de los costos, se utilizó el valor del dólar correspondiente al día 25 de Junio de 2009, equivalente a \$532.69 pesos Chilenos.

#### **Piezas captadoras de movimiento, lado derecho (superior e inferior)**

Peso	0,098 Kg
Costo materia prima + pigmento + filtro UV	\$ 221
Costo matriz	U\$ 70.000
Unidades de producción anual	10.000
Costo total unitario	\$ 1.124

#### **Piezas captadoras de movimiento, lado izquierdo (superior e inferior)**

Peso	0,098 Kg
Costo materia prima + pigmento + filtro UV	\$ 221
Costo matriz	U\$ 70.000
Unidades de producción anual	10.000
Costo total unitario	\$ 1.124

#### **Cubiertas sistema electro-motriz (piezas izquierda y derecha)**

Peso	0,072 Kg
Costo materia prima + pigmento + filtro UV	\$ 202
Costo matriz	U\$ 55.000
Unidades de producción anual	10.000
Costo total unitario	\$ 1.105

#### **Bases del sistema electro-motriz (piezas izquierda y derecha)**

Peso	0,052 Kg
Costo materia prima + pigmento + filtro UV	\$ 187
Costo matriz	U\$ 50.000
Unidades de producción anual	10.000
Costo total unitario	\$ 1.090



### Correas dentadas

Peso	0,055 Kg
Costo materia prima + pigmento + filtro UV	\$ 189
Costo matriz	U\$ 30.000
Unidades de producción anual	10.000
Costo total unitario	\$ 1.093

### Tapas de baterías

Peso	0,012 Kg
Costo materia prima + pigmento + filtro UV	\$ 158
Costo matriz	U\$ 35.000
Unidades de producción anual	10.000
Costo total unitario	\$ 1.061

Peso	0,042 Kg
Costo materia prima + pigmento + filtro UV	\$ 172
Costo matriz	U\$ 32.000
Unidades de producción anual	10.000
Costo total unitario	\$ 1.261

### Insumos

Los elementos considerados como insumos comprenden:

Trinquetes

Valor por 10000 unidades	\$3.400.000
Valor por 4 unidades	\$ 1360

Caja de engranes, incluye corona

Valor por 10000 unidades	\$2.750.000
Valor por 2 unidades	\$ 550

Generador cinético y circuito regulador

Valor por 10000 unidades	37.100.000
Valor por 2 unidades	\$ 7420

Tornillos:

Valor por 10000 unidades	\$500.000
Valor por set	\$ 50

Sellos:

Valor por 10000 unidades	\$300.000
Valor por set	\$ 30

Rodamientos: Valor por 4 unidades

Valor por 10000 unidades	\$625.000
Valor por 4 unidades	\$ 250



El costo total de fabricación es \$17518 pesos Chilenos.

Haciendo un cálculo estimativo, considerando el costo de mano de obra como un 25% sobre el costo de los materiales y un 50% de utilidades sobre la suma del precio de los materiales más la mano de obra se tiene un precio de venta equivalente a \$32847 pesos Chilenos.

Comparando el artefacto que en el mercado actual tiene el mejor rendimiento de carga con el desarrollado en este proyecto se tiene lo siguiente:

Panel solar

Capacidad de generación: 1500 mAh

Peso: 1 Kg

Precio: \$230.000

Generador cinético como complemento corporal

Capacidad de generación: 1000 mAh

Peso: 0.8 Kg por par

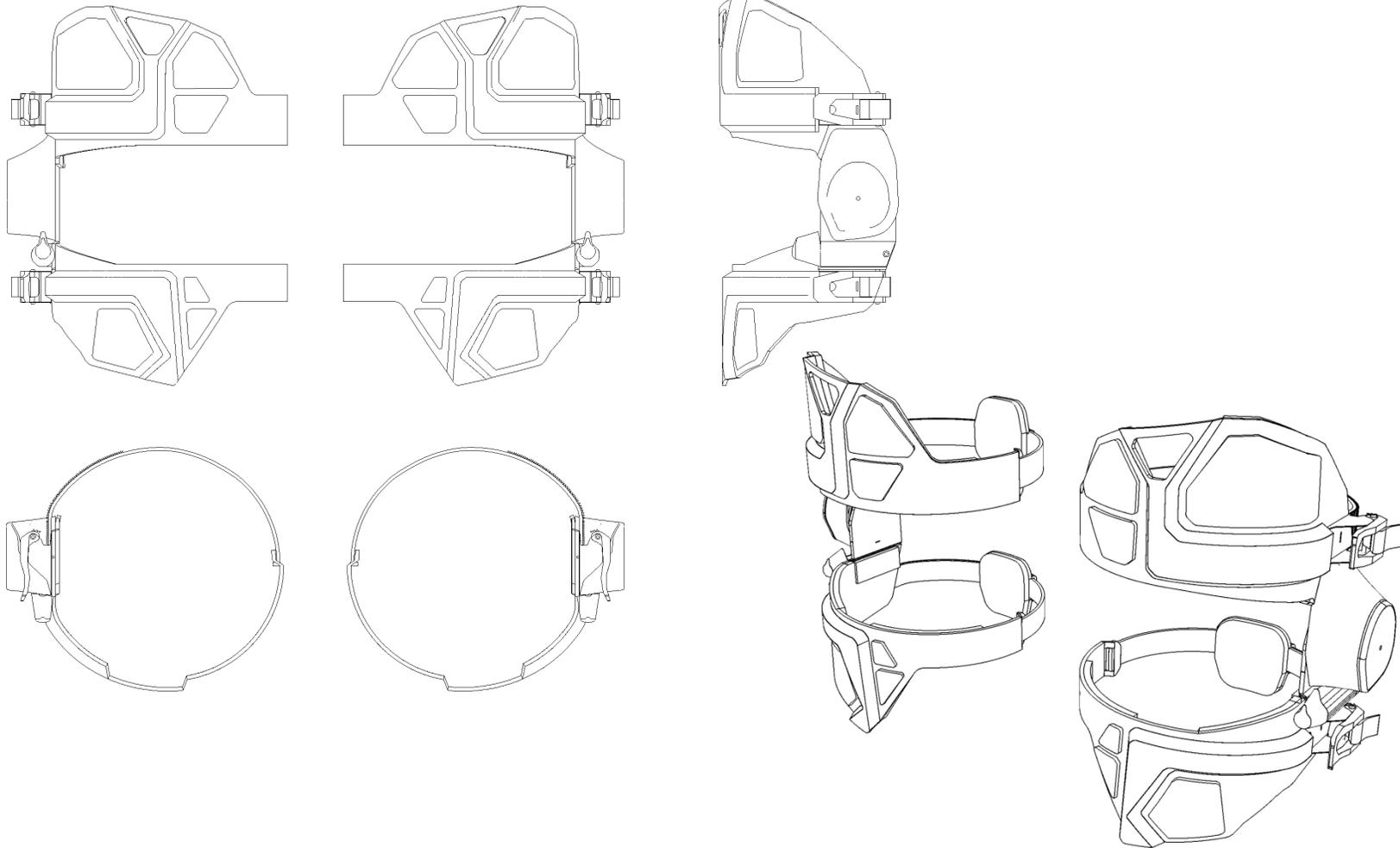
Precio: \$33.000

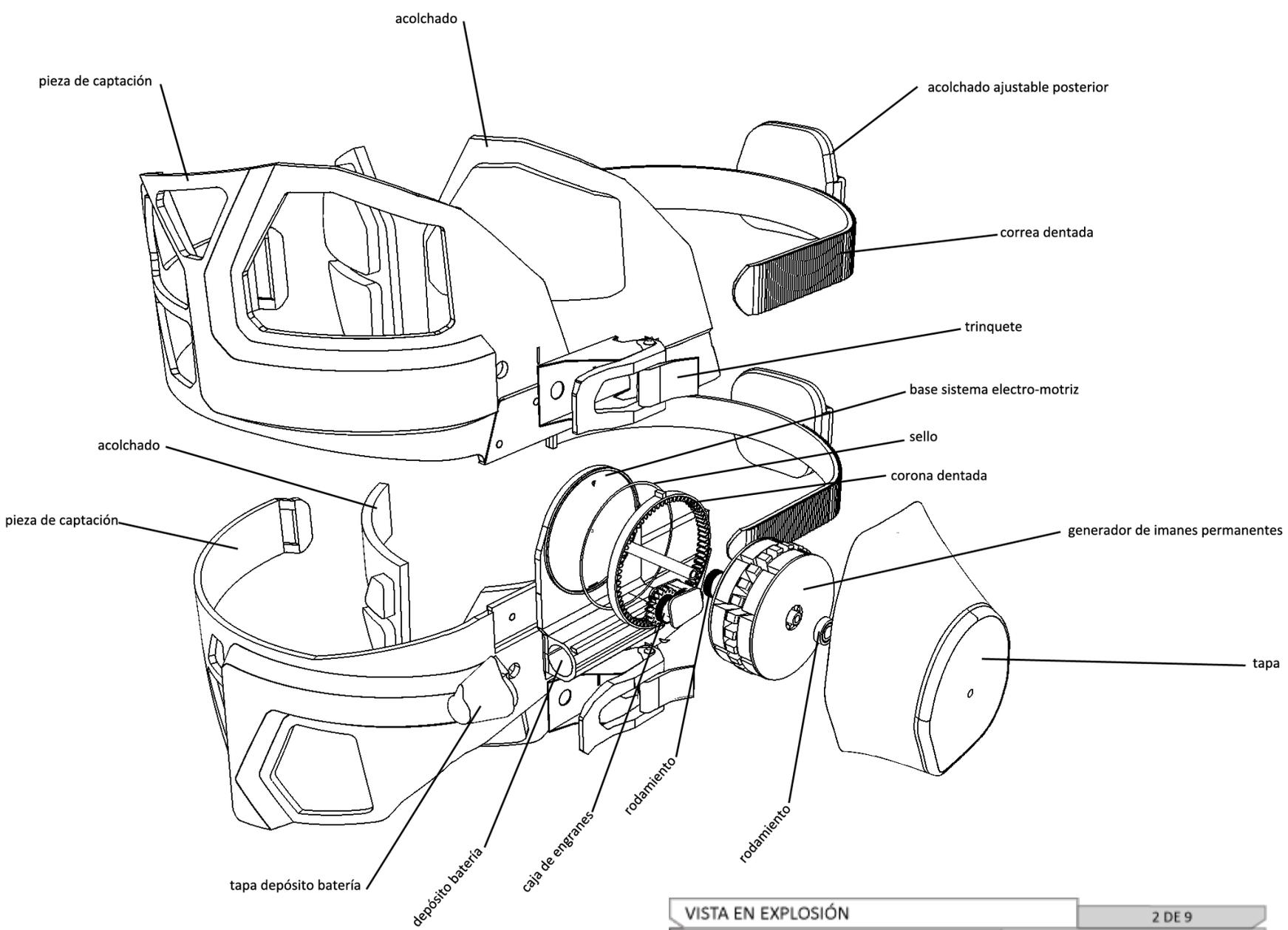
De lo anterior se desprende que el generador cinético puede lograr cerca del 70% del rendimiento máximo consignado, pero a un 14% del precio, cumpliendo con el objetivo específico planteado.

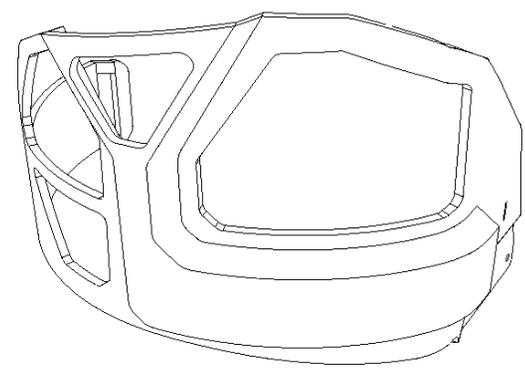
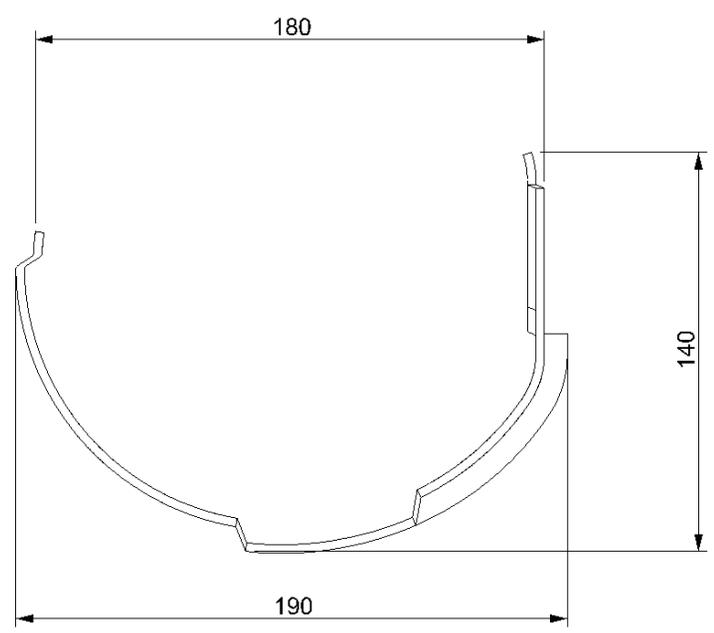
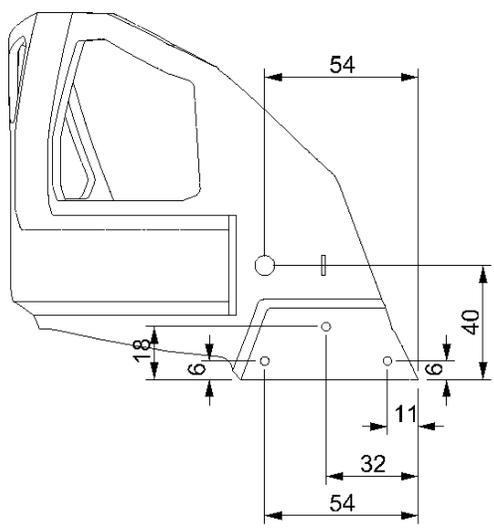
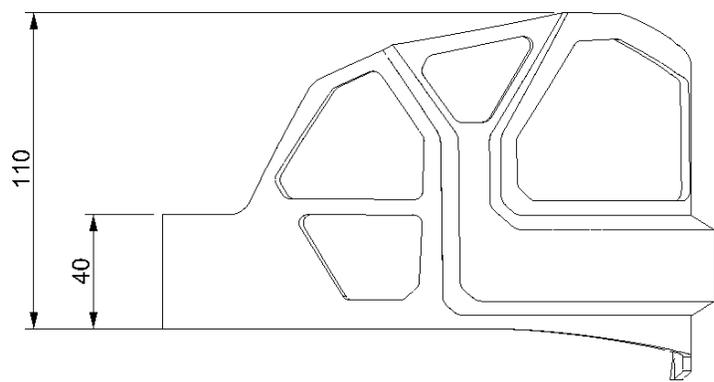
Es importante destacar que el rendimiento del generador cinético solo depende del movimiento del usuario, no así el colector solar, cuyo rendimiento es dependiente de las condiciones climáticas y del tiempo de permanencia requerido para su uso.

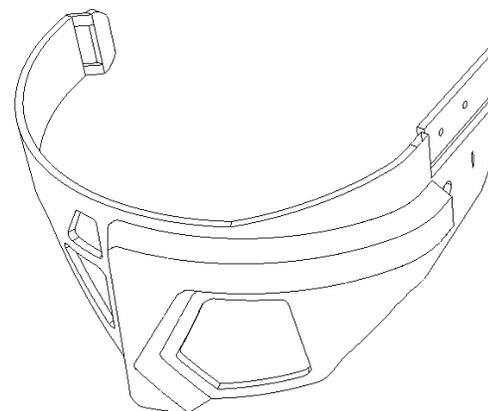
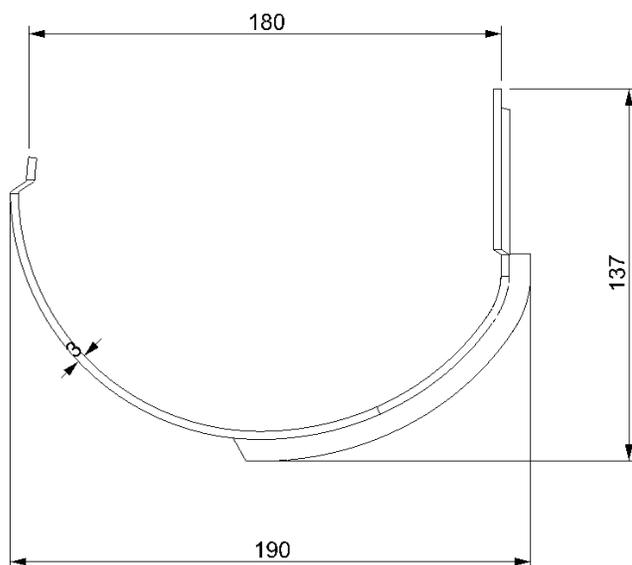
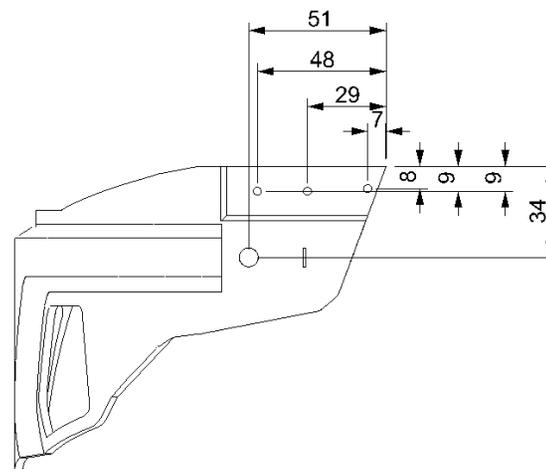
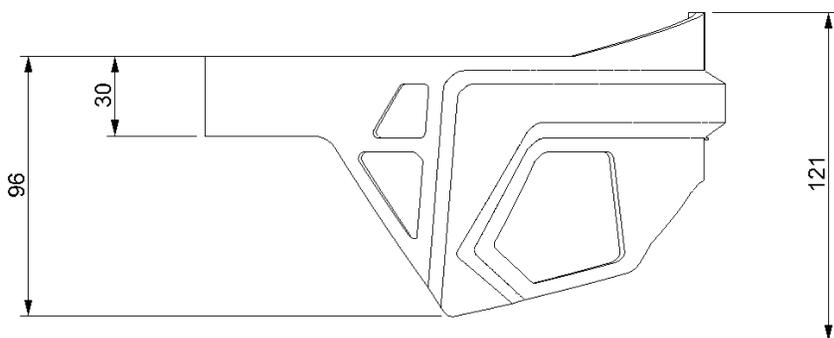


# PLANIMETRÍA









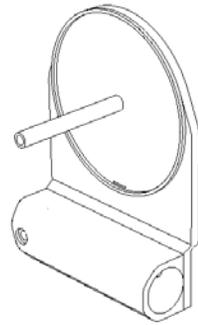
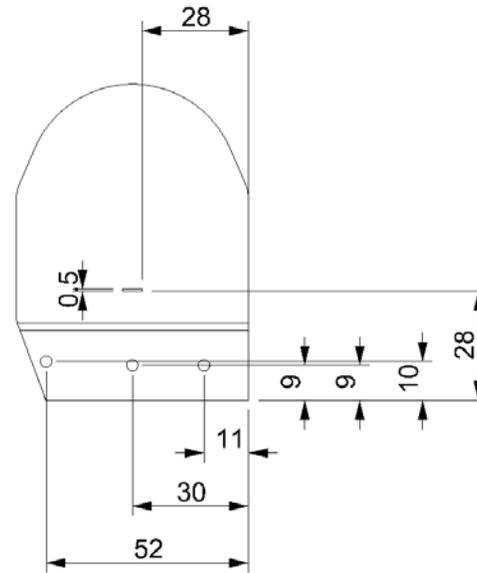
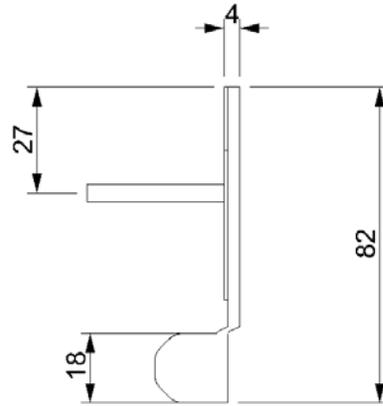
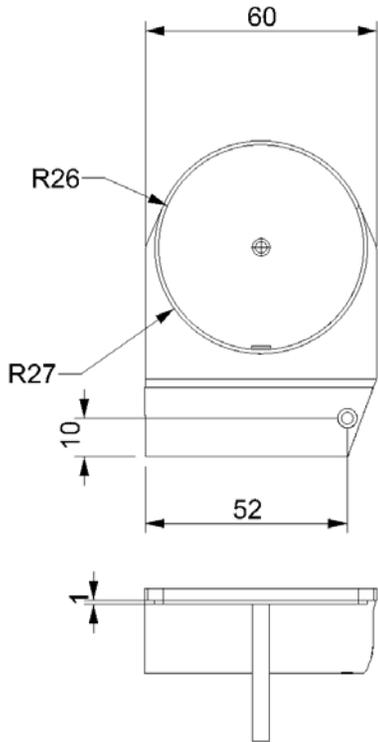
PIEZA CAPTACIÓN MOVIMIENTO INFERIOR

4 DE 9

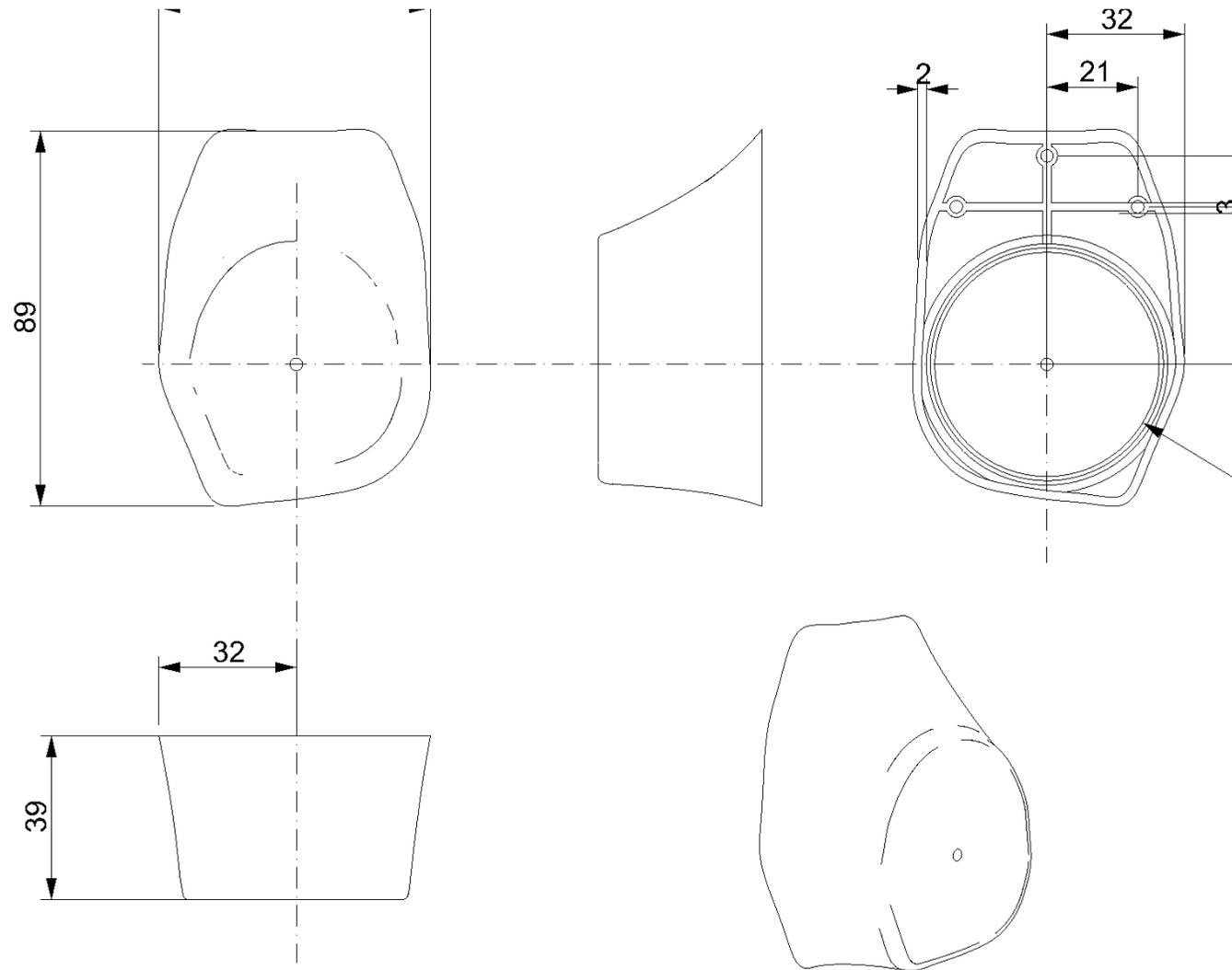
MATERIAL: PP COPOLÍMERO

COTAS EN mm

TOMÁS BARAHONA - 3 DE JULIO DE 2009



BASE SISTEMA ELECTRO-MECÁNICO	5 DE 9
MATERIAL: PP COPOLÍMERO	
COTAS EN mm	TOMÁS BARAHONA - 3 DE JULIO DE 2009



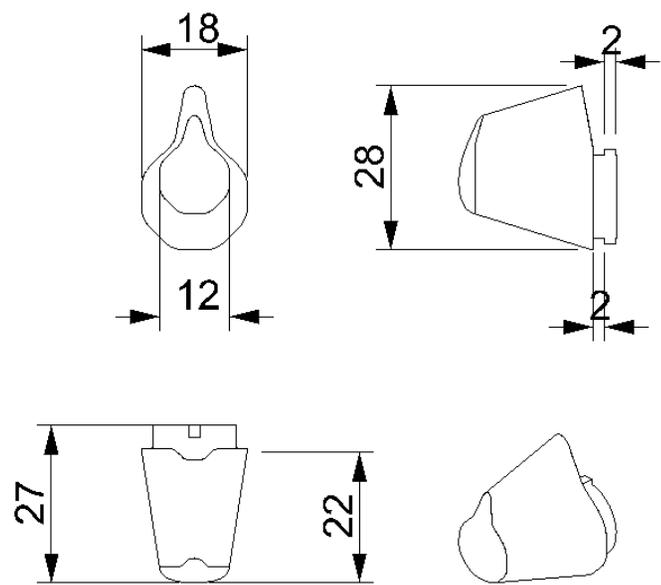
TAPA SISTEMA ELECTRO-MECÁNICO

6 DE 9

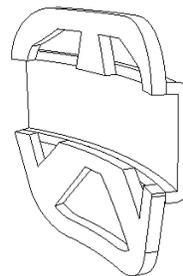
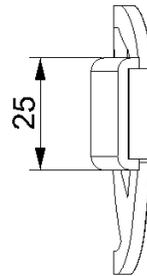
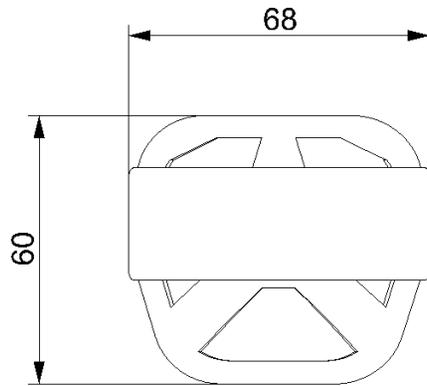
MATERIAL: PP COPOLÍMERO

CÓTAS EN mm

TOMÁS BARAHONA - 3 DE JULIO DE 2009



TAPA DEPÓSITO BATERÍA	7 DE 9
MATERIAL: PP COPOLÍMERO	
COTAS EN mm	TOMÁS BARAHONA - 3 DE JULIO DE 2009



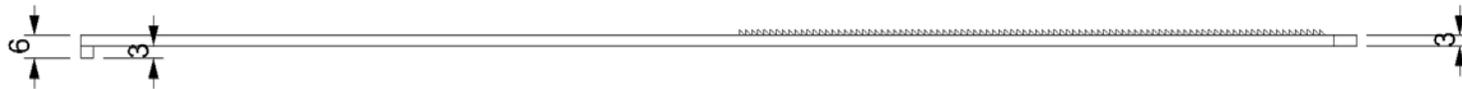
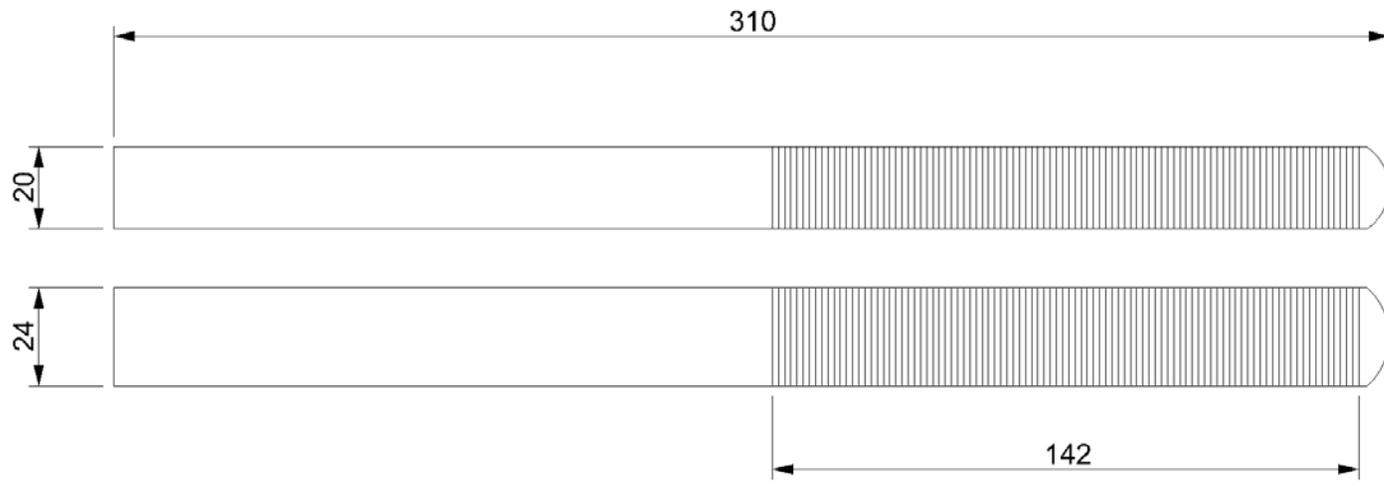
BASE ACOLCHADO POSTERIOR

8 DE 9

MATERIAL: PP COPOLÍMERO

COTAS EN mm

TOMÁS BARAHONA - 3 DE JULIO DE 2009



CORREA DENTADA

9 DE 9

MATERIAL: PP COPOLÍMERO

COTAS EN mm

TOMÁS BARAHONA - 3 DE JULIO DE 2009



## BIBLIOGRAFÍA

### Libros

- Julius Panero - Martin Zelnik “Las dimensiones humanas en los espacios interiores”, Ed. Gustavo Gili, Séptima edición, 1996.
- Jacek F. Gieras, Rong-jie Wang, Maarten J. Kamper “Axial Flux Permanent Magnet Brushless Machines”, Kluwer Academic Publishers, E.E.U.U, 2004
- David Eaves “Handbook of polymer foams”, Harbury, Reino unido, Noviembre de 2003
- Frédéric Delavier “Guía de los movimientos de musculación”, Editorial Paidotribo, cuarta edición.

### Documentos

- NCh2985-2005, “Turismo aventura - trekking o excursionismo – requisitos”, 2005
- ACHS “Guía técnica-Manejo o manipulación manual de carga”, Santiago, 2005
- S.E. Skaar, O. Krovel, R. Nilssen and H. Erstad “Slotless, toroidal wound, axially- magnetized permanent, magnet generator for small wind turbine systems”, Department of electrical power engineering, Norwegian University of Science and Technology, Noruega, 2003
- Florence Libert “Design, optimization and comparison of permanent magnet motors for a low-speed direct-driven mixer”,

Royal Institute of Technology, department of electrical engineering, electrical machines and power electronics, Estocolmo, 2004

- Antonio Merino Mandly “Actividades en el Medio Natural: Senderos y Senderismo en los pequeños municipios”, Diputación de Málaga, España, 2006
- Sernatur “Principales cuadros de resultados del estudio en turismo receptivo”, primer y segundo semestre 2008, Santiago, 2008
- Cristian Basáez Villagrán, Memoria de título “Impala urbano, Bicicleta dual para una ciudad extensa”, Santiago de Chile, diciembre de 2008
- J. M. Donelan Q. Li, V. Naing, J. A. Hoffer, D. J. Weber, A. D. Kuo “Biomechanical Energy Harvesting: Generating Electricity During Walking with Minimal User Effort”, School of Kinesiology, Simon Fraser University (SFU), Burnaby, BC V5A 1S6, Canada; Department of Physical Medicine and Rehabilitation, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA 15213, USA; Departments of Mechanical Engineering and Biomedical Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109, USA. Simon Fraser University

### Revisión Web

- Fisicanet [en línea]  
<<http://www.fisicanet.com.ar/>>[consulta: noviembre 2008]
- Excursionismo – Wikipedia [en línea]  
< <http://es.wikipedia.org/wiki/Excursionismo>>[ consulta: noviembre 2008]



- Senderismo – Wikipedia [en línea]  
<<http://es.wikipedia.org/wiki/Senderismo>>[ consulta: noviembre 2008]

- Tecnología – Wikipedia [en línea]  
<<http://es.wikipedia.org/wiki/Tecnología>>[consulta: noviembre 2008]

- Espeleología – Wikipedia [en línea]  
<<http://es.wikipedia.org/wiki/Espeleología>> [consulta: noviembre 2008]

- RCNoticias – Carga de baterías [en línea]  
<<http://www.rcnoticias.com/Tecnicas/BateriasMetodos.htm>>[consulta: noviembre 2008]

- Battery\_Web.com – FAQ [en línea]  
<<http://www.batteryweb.com/faqbw.cfm>>[consulta: noviembre 2008]

- Senderismo [en línea]  
<<http://www2.udec.cl/~lpalma/Senderismo.html>>[consulta: noviembre 2008]

-Socoter – Imanes [en línea]  
<<http://www.socoter.cl>>[ consulta: noviembre 2008]

- Gray Holland “A Periodic Table of Form: The secret language of surface and meaning in product design” [en línea]  
<[http://www.core77.com/blog/featured\\_items/a\\_periodic\\_table\\_of\\_form\\_the\\_secret\\_language\\_of\\_surface\\_and\\_meaning\\_in\\_product\\_design\\_by\\_gray\\_holland\\_12752.asp](http://www.core77.com/blog/featured_items/a_periodic_table_of_form_the_secret_language_of_surface_and_meaning_in_product_design_by_gray_holland_12752.asp)> [consulta: Abril 2009]



## ANEXOS

### ANEXO 1

#### Comparación de tecnologías

\*El ítem compatibilidad con la actividad se ha medido en relación al grado de libertad de las extremidades superiores al momento que se realiza la caminata, a menor valor, menor libertad\*

#### Rollo solar (01)

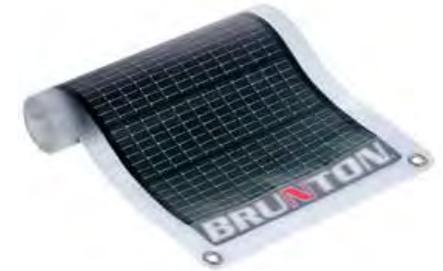
- Capacidad de carga = 1500mA
- Tiempo para cargar 4000mAh = 3 hrs
- Peso = 1 Kg
- Dimensiones = Guardado 0.056 m<sup>2</sup>, en uso 0.6 m<sup>2</sup>
- Precio (CLP) = \$230.000
- **Compatibilidad con la actividad = 2.5/10**

Se ha considerado este objeto en la medición, puesto que de todos los analizados es el único que logra la carga suficiente para los tiempos requeridos, sin embargo, lograr su funcionamiento mientras se camina se convierte en una tarea compleja por las dimensiones que posee.



#### Rollo solar (02)

- Capacidad de carga = 300mA
- Tiempo para cargar 4000mAh = 13 hrs
- Peso = 0.2 Kg
- Dimensiones = Guardado 0.03 m<sup>2</sup>  
En uso 0.15 m<sup>2</sup>
- Precio (CLP) = \$195.000
- **Compatibilidad con la actividad = 5/10**



#### Mini panel (s1 & s2)

- Capacidad de carga = (s1) 265mA@12v/ (s2) 530mA@6v
- Tiempo para cargar 4000mAh = 15 hrs@12v / 7.5 hrs@6v
- Peso = 0.6 Kg
- Dimensiones = 0.096 m<sup>2</sup>
- Precio (CLP) = \$124.000
- **Compatibilidad con la actividad = 5/10**



#### Mochila (01)

- Capacidad de carga = 325mA
- Tiempo para cargar 4000mAh = 12.5 hrs
- Peso = 1.5 Kg
- Dimensiones = 30 Lts
- Precio (CLP) = \$168.000
- **Compatibilidad con la actividad = 10/10**





#### Mochila (02)

- Capacidad de carga = 400mA
- Tiempo para cargar 4000mAh = 10 hrs
- Peso = 1.5 Kg
- Dimensiones = 34 Lts
- Precio (CLP) = \$158.000
- **Compatibilidad con la actividad = 10/10**



#### Eólico

- Capacidad de carga = 65mA
- Tiempo para cargar 4000mAh = 60 hrs
- Peso = 0.2Kg
- Dimensiones = 13x8x3 cms
- Precio (CLP) = \$32.000
- **Compatibilidad con la actividad = 10/10**



#### Cinético (01)

- Capacidad de carga = 380mA
- Tiempo para cargar 4000mAh = 9.5 hrs
- Peso = 0.3Kg
- Dimensiones = 13x6x5 cms
- Precio (CLP) = \$19.700
- **Compatibilidad con la actividad = 4/10 (requiere girar la manivela)**



#### Eólico + solar

- Capacidad de carga = 140mA
- Tiempo para cargar 4000mAh = 28 hrs
- Peso = 0.2Kg
- Dimensiones = 13x8x3 cms + 15x8x1 cms (panel)
- Precio (CLP) = \$115.000
- **Compatibilidad con la actividad = 5/10**

#### Cinético (02)

- Capacidad de carga = 350mA
- Tiempo para cargar 4000mAh = 11.4 hrs
- Peso = 0.2Kg
- Dimensiones = 15x6x6 cms
- Precio (CLP) = \$15.000
- **Compatibilidad con la actividad = 4/10**





## ANEXO 2

### Cálculo teórico del generador de flujo axial de imanes permanentes

Los cálculos a continuación fueron realizados por Thomas Barahona Mena, Ingeniero Civil Eléctrico, PUCV.

#### Términos utilizados en las ecuaciones

$E_{rms}$ : Tensión por fase

$E_{max}$ : Máxima tensión por fase

$N$ : Número de vueltas de alambre (Cu) por bobina

$f$ : Frecuencia eléctrica

$\Phi_{max}$ : Máximo fundamental del valor del flujo de los magnetos

$A_{magn}$ : Área del magneto

$B_{max}$ : Máximo fundamental de la densidad de flujo del "Air\_gap" (distancia entre el rotor y estator)

$B_r$ : Densidad de flujo remanente del magneto

$r_0$ : Radio del límite exterior del arreglo de magnetos

$r_1$ : Radio del límite interior del arreglo de magnetos

$T_f$ : Espaciado de los magnetos

$l_m$ : espesor de los magnetos

$\delta$ : "Air\_gap" distancia entre el rotor y estator

$N_m$ : Número de magnetos

$N_s$ : Número de bobinas

$N_{ph}$ : Número de fases

Ecuación de la tensión por fase

$$E_{rms} = (E_{max}/2^{1/2}) = (2\pi/2^{1/2}) * N * f * \Phi_{max} * N_s / N_{ph}$$

Ecuación del máximo fundamental del valor del flujo de los magnetos

$$\Phi_{max} = A_{magn} * B_{max}$$

Ecuación del área de los magnetos

$$A_{magn} = [\pi * (r_0^2 - r_1^2) - T_f * (r_0^2 - r_1^2) * N_m] / N_m$$

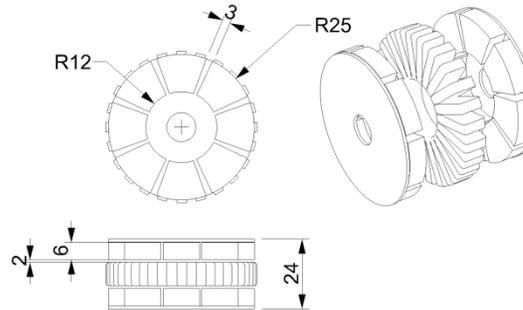
Ecuación del máximo fundamental de la densidad de flujo del "Air\_gap" (distancia entre el rotor y estator)

$$B_{max} = B_r * [l_m / (l_m + \delta)]$$

Ecuación de frecuencia eléctrica

$$f = (RPM * polos) / 120$$

#### Datos de la construcción teórica del generador



#### Resolución de ecuaciones para el generador teórico

$$(1) A_{magn} = [\pi * (0.025^2 - 0.012^2) - 0.003 * (0.025^2 - 0.012^2) * 8] / 8 = 1.34 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$(2) B_{max} = 1.2 * 6 / (6 + 2) = 0.9 \text{ [T]}$$

$$(3) \Phi_{max} = 1.34 \times 10^{-4} * 0.9 = 1.2 \times 10^{-4} \text{ [Wb]}$$

$$(4) f = 400 * 12 / 120 = 40 \text{ [Hz]}$$

de (1) (2) (3) y (4), se tiene

$$E_{rms} = (2\pi/2^{1/2}) * 8 * 30 * 1.2 \times 10^{-4} * 36 / 3 = 1.53 \text{ [v]}$$



aplicando un factor de corrección de 0.75 por pérdidas, la tensión por fase resulta:

$$E_{rms} = 1.15 \text{ [v]}$$

por ley de ohm, considerando una resistencia teórica de  $2\Omega$ , se tiene:

$$I = V/R = 1.15/2 = 0.57 \text{ [A]} = 570 \text{ [mAh]}$$

## Biomechanical Energy Harvesting: Generating Electricity During Walking with Minimal User Effort

J. M. Donelan,<sup>1,\*</sup> Q. Li,<sup>1</sup> V. Nating,<sup>1</sup> J. A. Hoffer,<sup>1</sup> D. J. Weber,<sup>2</sup> A. D. Kuo<sup>3</sup>

We have developed a biomechanical energy harvester that generates electricity during human walking with little extra effort. Unlike conventional human-powered generators that use positive muscle work, our technology assists muscles in performing negative work, analogous to regenerative braking in hybrid cars, where energy normally dissipated during braking drives a generator instead. The energy harvester mounts at the knee and selectively engages power generation at the end of the swing phase, thus assisting deceleration of the joint. Test subjects walking with one device on each leg produced an average of 5 watts of electricity, which is about 10 times that of shoe-mounted devices. The cost of harvesting—the additional metabolic power required to produce 1 watt of electricity—is less than one-eighth of that for conventional human power generation. Producing substantial electricity with little extra effort makes this method well-suited for charging powered prosthetic limbs and other portable medical devices.

**H**umans are a rich source of energy. An average-sized person stores as much energy in fat as a 1000-kg battery (1, 2). People use muscle to convert this stored chemical energy into positive mechanical work with peak efficiencies of about 25% (3). This work can be performed at a high rate, with 100 W easily sustainable (7). Many devices take advantage of human power capacity to produce electricity, including hand-crank generators as well as wind-up flashlights, radios, and mobile

phone chargers (4). A limitation of these conventional methods is that users must focus their attention on power generation at the expense of other activities, typically resulting in short bouts of generation. For electrical power generation over longer durations, it would be desirable to harvest energy from everyday activities such as walking.

It is a challenge, however, to produce substantial electricity from walking. Most energy-harvesting research has focused on generating electricity from the compression of the shoe sole, with the best devices generating 0.8 W (4). A noteworthy departure is a spring-loaded backpack (5) that harnesses the vertical oscillations of a 38-kg load to generate as much as 7.4 W of electricity during fast walking. This device has a markedly low “cost of harvesting” (COH), a dimensionless quantity defined as the addi-

tional metabolic power in watts required to generate 1 W of electrical power

$$\text{COH} = \frac{\Delta \text{metabolic power}}{\Delta \text{electrical power}} \quad (1)$$

where  $\Delta$  refers to the difference between walking while harvesting energy and walking while carrying the device but without harvesting energy. The COH for conventional power generation is simply related to the efficiency with which (i) the device converts mechanical work to electricity and (ii) muscles convert chemical energy into positive work

$$\begin{aligned} \text{COH for conventional} &= \frac{\Delta \text{metabolic power}}{\Delta \text{electrical power}} \\ &= \frac{1}{\text{device eff} \times \text{muscle eff}} \quad (2) \end{aligned}$$

The backpack’s device efficiency is about 31% (5), and muscle’s peak efficiency is about 25% (3), yielding an expected COH of 12.9. But the backpack’s actual COH of  $4.8 \pm 3.0$  (mean  $\pm$  SD) is less than 40% of the expected amount. Its economy appears to arise from reducing the energy expenditure of walking with loads (6, 7). No device has yet approached the power generation of the backpack without the need to carry a heavy load.

We propose that a key feature of how humans walk may provide another means of economical energy harvesting. Muscles cyclically perform positive and negative mechanical work within each stride (Fig. 1A) (8). Mechanical work is required to redirect the body’s center of mass between steps (9, 10) and simply to move the legs back and forth (11, 12). Even though the average mechanical work performed on the body over an entire stride is zero, walking exacts a metabolic cost because both



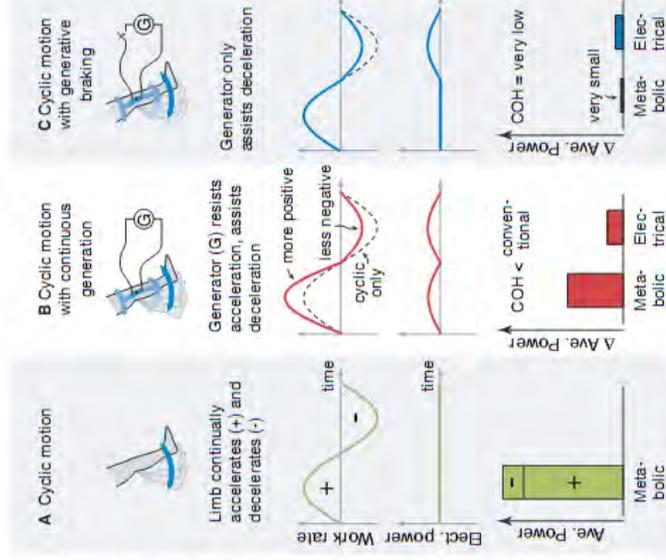
positive and negative muscle work require metabolic energy (3). Coupling a generator to leg motion would generate electricity throughout each cycle, increasing the load on the muscles during acceleration but assisting them during deceleration (Fig. 1B). Although generating electricity during the acceleration phase would exact a substantial metabolic cost, doing so during the deceleration phase would not, resulting in a lower COH than for conventional generation. An even lower COH could be achieved by selectively engaging the generator only during deceleration (Fig. 1C), similar to how regenerative braking generates power while decelerating a hybrid car (13). Here, "generative braking" produces electricity without requiring additional positive muscle power (14). If implemented effectively, metabolic cost could be about the same as that for normal walking, so energy would be harvested with no extra user effort (15).

We developed a wearable, knee-mounted prototype energy harvester to test the generative-braking concept (Fig. 2). Although other joints might suffice, we focused on the knee because it performs mostly negative work during walking (16). The harvester comprises an orthopedic knee brace configured so that knee motion drives a gear train through a one-way clutch, transmitting only knee extension motion at speeds suitable for a dc brushless motor that serves as the generator (17). For convenient testing, generated electrical power is then dissipated with a load resistor rather than being used to charge a battery. The device efficiency, defined as the ratio of the electrical power output to the mechanical power input, was empirically estimated to be no greater than 63%, yielding an estimated COH for conventional generation of 6.4 (Eq. 2). A potentiometer senses knee angle, which is fed back to a computer controlling a relay switch in series with the load resistor, allowing the electrical load to be selectively disconnected in real time. For generative braking, we programmed the harvester to engage only during the end of the swing phase (Fig. 3), producing electrical power while simultaneously assisting the knee flexor muscles in decelerating the knee. We compared this mode against a continuous-generation mode that harvests energy whenever the knee is extending (18). We could also manually disengage the clutch and completely decouple the gear train and generator from knee motion. This disengaged mode served as a control condition to estimate the metabolic cost of carrying the harvester mass, independent of the cost of generating electricity.

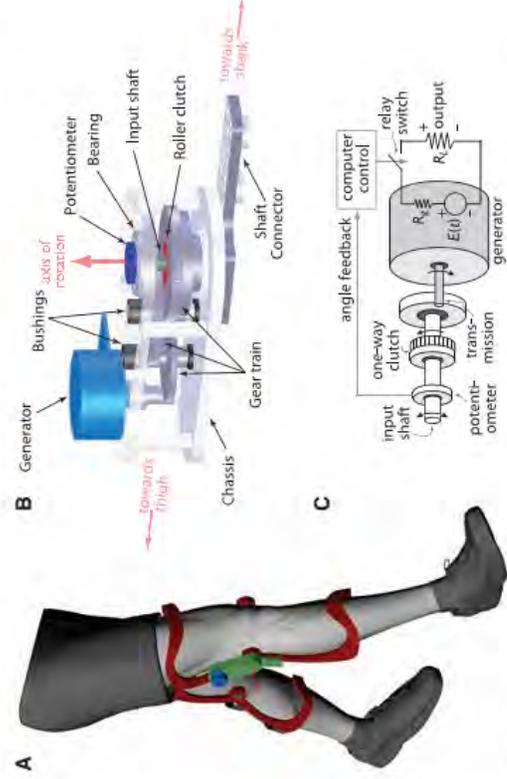
Energy-harvesting performance was tested on six male subjects who wore a device on each leg while walking on a treadmill at  $1.5 \text{ m s}^{-1}$ . We estimated metabolic cost using a standard respirometry system and measured the electrical power output of the generator (Fig. 3C). In the continuous-generation mode (Fig. 4A), subjects

generated  $7.0 \pm 0.7 \text{ W}$  of electricity with an insignificant  $18 \pm 24 \text{ W}$  ( $P = 0.07$ ) increase in metabolic cost over that of the control condition (19). In the generative-braking mode (Fig. 4B), subjects generated  $4.8 \pm 0.8 \text{ W}$  of

electricity with an insignificant  $5 \pm 21 \text{ W}$  increase in metabolic cost as compared with that of the control condition ( $P = 0.6$ ). For context, this electricity is sufficient to power 10 typical cell phones simultaneously (5). The results dem-



**Fig. 1.** Theoretical advantages of generative braking during cyclic motion, comparing the back-and-forth motion of the knee joint without power generation (A) against a generator operating continuously (B) and against a generator operating only during braking (C). Each column of plots shows the rate of work performed by muscles (work rate) and the electricity (elect. power) generated over time, as well as the average metabolic power expended by the human and the resulting average electrical power (average power bar graphs). In (B) and (C), work rate is compared against that for (A), denoted by dashed lines, and average power is shown as the difference ( $\Delta$  ave. power) with respect to (A). COH is defined as the ratio of the electrical to metabolic  $\Delta$  ave. powers.



**Fig. 2.** Biomechanical energy harvester. (A) The device has an aluminum chassis (green) and generator (blue) mounted on a customized orthopedic knee brace (red), totaling 1.6-kg mass, with one worn on each leg. (B) The chassis contains a gear train that converts low velocity and high torque at the knee into high velocity and low torque for the generator, with a one-way roller clutch that allows for selective engagement of the gear train during knee extension only and no engagement during knee flexion. (C) The schematic diagram shows how a computer-controlled feedback system determines when to generate power using knee-angle feedback, measured with a potentiometer mounted on the input shaft. Generated power is dissipated in resistors.  $R_g$ , generator internal resistance;  $R_L$ , output load resistance;  $E(t)$ , generated voltage.

onstrate that substantial electricity could be generated with minimal increase in user effort.

The corresponding COH values highlight the advantage of generative braking (Fig. 4). Average COH in generative braking was only  $0.7 \pm 4.4$ ; less than 1 W of metabolic power was required to generate 1 W of electricity. This is significantly less than the COH of 6.4 expected for conventional generation ( $P = 0.01$ ). The COH in continuous generation,  $2.3 \pm 3.0$ , was also significantly lower than that for conventional generation ( $P = 0.01$ ), indicating that the former mode also generated some of its electricity from the deceleration of the knee. The difference between the two modes,  $2.2 \pm 0.7$  W of electricity, came at a difference in metabolic cost of  $13 \pm 12$  W ( $P = 0.05$ ). A COH taken from the average ratio of these differences yields  $5.7 \pm 6.2$ , which is nearly the same as that expected of conventional generation ( $P = 0.4$ ). This indicates that continuous generation of power at the knee during walking produces electricity partially by conventional generation with a high COH and partially by generative braking with a very low COH. But generative braking, with less than one-eighth

the COH of conventional generation, benefits almost entirely from the deceleration of the knee.

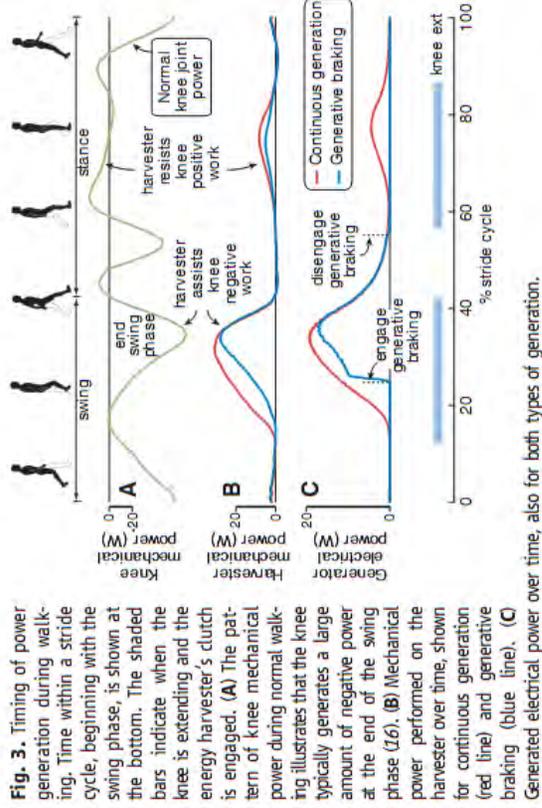
This preliminary demonstration could be improved substantially. We constructed the prototype for convenient experimentation, leading to a control condition about 20% more metabolically costly than normal walking. The disengaged-clutch mode required an average metabolic power of  $366 \pm 63$  W as compared with  $307 \pm 64$  W for walking without wearing the devices. The increase in cost is due mainly to the additional mass and its location, because the lower a given mass is placed, the more expensive it is to carry (20, 21). Although the current increase in metabolic cost is unacceptably high for most practical implementations, revisions to improve the fit, weight, and efficiency of the device can not only reduce the cost but also increase the generated electricity. A generator designed specifically for this application could have lower internal losses and require a smaller, lighter gear train. Commercially available gear trains can have much lower friction and higher efficiency, in more compact and lightweight forms. Relocating the device components higher would de-

crease the metabolic cost of carrying that mass. A more refined device would also benefit from a more form-fitting knee brace made out of a more lightweight material such as carbon fiber.

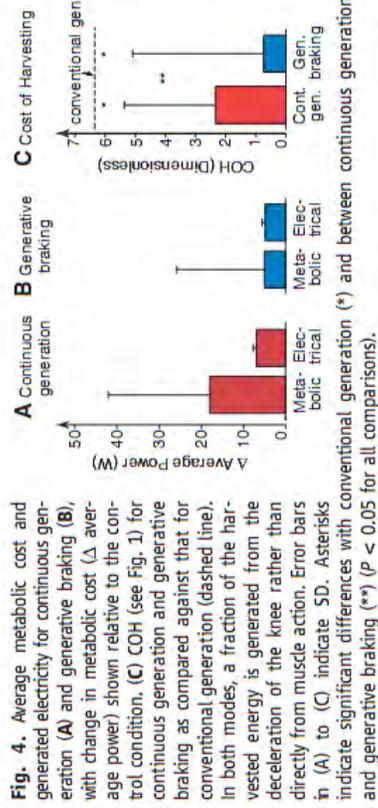
Several potential applications are especially suited for generative braking. These include lighting and communications needs for the quarter of the world's population who currently live without electricity supply (22). Innovative prosthetic knees and ankles use motors to assist walking, but battery technology limits their power and working time (23–25). Energy harvesters worn on human joints may prove useful for powering the robotic artificial joints. In implantable devices, such as neurostimulators and drug pumps, battery power limits device sophistication, and battery replacement requires surgery (26). A future energy harvester might be implanted alongside such a device, perhaps in parallel with a muscle, and use generative braking to provide substantial power indefinitely. Generative braking might then find practical applications in forms very different from that demonstrated here.

## References and Notes

- G. A. Brooks, I. D. Fahey, K. M. Baldwin, *Exercise Physiology: Human Bioenergetics and Its Applications* (McGraw-Hill, Boston, ed. 4, 2005).
- T. Starmer, *IBM Syst. J.* **35**, 618 (1996).
- R. Margaria, *Int. Z. Angew. Physiol.* **25**, 339 (1968).
- J. A. Paradiso, T. Starner, *IEEE Pervasive Comput.* **4**, 18 (2005).
- L. C. Rome, L. Flynn, E. M. Goldman, T. D. Yoo, *Science* **309**, 1725 (2005).
- A. D. Kuo, *Physiol. Science* **309**, 1686 (2005).
- L. C. Rome, L. Flynn, T. D. Yoo, *Nature* **444**, 1023 (2006).
- H. Eitman, *Am. J. Physiol.* **125**, 339 (1939).
- A. D. Kuo, J. M. Donelan, A. Ruina, *Exerc. Sport Sci. Rev.* **33**, 88 (2005).
- R. Margaria, *Biomechanics and Energetics of Muscular Exercise* (Clarendon, Oxford, 1976).
- J. Dake, J. M. Donelan, A. D. Kuo, *J. Exp. Biol.* **208**, 439 (2005).
- R. L. Marsh, D. J. Ellerby, J. A. Carr, H. T. Henry, C. I. Buchanan, *Science* **303**, 80 (2004).
- N. Demirdöven, J. Deutch, *Science* **305**, 974 (2004).
- We have chosen terminology that distinguishes generative braking from regenerative braking because the electricity produced in regenerative braking is reused to power the motion of the hybrid automobile. In generative braking, the electricity is not reused to power walking.
- Knee-joint power has contributions from forces generated by muscle fibers, tendons, connective tissue, and other passive soft tissues. The actual change in metabolic cost with generative braking depends on the relative contribution of muscle fibers to decelerating the knee joint. If muscle fibers are generating the negative power, a reduction in metabolic cost is expected. This is also true if muscle fibers are active but isometric. If the deceleration is due entirely to passive forces from elastic and plastic deformations of soft tissues, no change in metabolic cost is expected. What actually occurs at the knee during the end of the swing phase is unclear, precluding a quantitative prediction of the change in metabolic cost.
- D. A. Winter, *Biomechanics and Motor Control of Human Movement* (Wiley, New York, ed. 2, 1990).
- Additional methodological details, results, and videos are available as supporting material on Science Online.
- The one-way clutch prevents the device from generating electricity from flexion. Nevertheless, we refer to this mode as continuous generation because, unlike the generative-braking mode, electricity is continuously generated from extension regardless of whether the motion is accelerating or decelerating.



**Fig. 3.** Timing of power generation during walking. Time within a stride cycle, beginning with the swing phase, is shown at the bottom. The shaded bars indicate when the knee is extending and the energy harvester's clutch is engaged. (A) The pattern of knee mechanical power during normal walking illustrates that the knee typically generates a large amount of negative power at the end of the swing phase (26). (B) Mechanical power performed on the harvester over time, shown for continuous generation (red line) and generative braking (blue line). (C) Generated electrical power over time, also for both types of generation.



**Fig. 4.** Average metabolic cost and generated electricity for continuous generation (A) and generative braking (B), with change in metabolic cost ( $\Delta$  average power) shown relative to the control condition. (C) COH (see Fig. 1) for continuous generation and generative braking as compared against that for conventional generation (dashed line). In both modes, a fraction of the harvested energy is generated from the deceleration of the knee rather than directly from muscle action. Error bars in (A) to (C) indicate 5D. Asterisks indicate significant differences with conventional generation (\*) and between continuous generation and generative braking (\*\*) ( $P < 0.05$  for all comparisons).



## ANEXO 4

A Periodic Table of Form: The secret language of surface and meaning in product design, by Gray Holland

Why does Design so often struggle to communicate its value to the world, when it's something we all recognize?

When we speak of product development, we frequently look at the domains of Design and Engineering separately, evaluating them in different ways. Engineering, at its core, is a measurable process; Design, for the most part, is not. This gives the former an inherent advantage: engineering efforts are easily quantifiable, and this provides them with authority. Design is intuitive, working on the non-verbal levels of our experience, sometimes triggering our most subversive emotional states; this makes it difficult to evaluate empirically. Lacking an analytical vernacular, Design is labeled subjective, when it is actually the agent of universal truth through form.

The consequences of interacting with the array of sharp spines on a sea urchin or porcupine are pretty obvious to any creature passing by--you don't need a pair of frontal lobes to understand this.

For the consumer, it's easy to forget how much the emotional response to an object determines his or her relationship to it, but this forgetfulness can be plausibly explained by the dominant role our analytical mind plays in formulating language. Because it is *able to say* it's in charge, as the executor of structured argument, the analytical mind generally convinces us that it *is* in fact the authority. Reasoning therefore holds higher status, and emotional reactions are easy to dismiss as immature or irrational. This poses a very real barrier to the acceptance of design as a source of value in product development; enough that it's worth examining alternate ways of evaluating design, transcending this subjective view to create a more universal system of measure.

Form has meaning; it can touch us at such a primal level that our mind is left scrambling to rationalize our emotional reactions. Consider the visceral impression conveyed by a natural setting: The deep serenity felt, for example, while walking through a majestic grove of redwoods. The delicate lace of fern fronds wave as you drag your hand through them as you walk, and your heart jumps into your throat when startled by a deer caught wondering across the trail. These natural forms hold an innate meaning that not only transcends the human experience, but even predates our verbal expression, definition, and measurement. In other words, *we* did not create this meaning; it comes from the forms themselves, and existed long before we did.

What Surface Continuity is Quietly Telling Us

For the purpose of this argument I propose that form (or *Design*), in the context of both the natural and man-made world has two jobs: *to be the messenger of a*

*certain experience; and to fulfill on that promise.* When the two don't match up, the experience is unfulfilling and its form superficial. Consider the agreement between message and experience in these examples from nature:

- The vibrant color and markings of the poison dart frog warns off predators with the promise of death; fulfillment here is clear.
  - The Monarch Butterfly's colorful markings also flaunt its poisonous nature; their purpose is attained when predators are deterred.
  - The consequences of interacting with the array of sharp spines on a sea urchin or porcupine are pretty obvious to any creature passing by--you don't need a pair of frontal lobes to understand this.
  - The glorious display of the peacock's plumage carries the clear message, 'my DNA is better than the next guy's, so mate with me'.
  - The elegant complexity of sexual reproduction in flowering plants is one small indicator of co-evolutionary ecologies, one of the most awe-inspiring truths in the natural world.
  - Even the sinister bio-mimicry of the Preying Mantis, luring unsuspecting pollinators to their death, has a beautiful symmetry to it.
- These mutually arising, mutually "designing" attributes of nature tell a story of the effect of form on life itself, which predates the defining nature of our verbal language. In our language-based society though, it is the power of visual design and subsequent eloquence of non-verbal communication can easily escape us. Conspicuous is the nearly complete absence of tangential forms in nature. If there is an empirical meaning behind form then, how does it manifest across the natural and into the man-made world? Going further with this notion, let's deconstruct the meaning of form naturally, and then distill that meaning into some simplified geometric categories technically. In order to define these categories, I will ironically employ a three-level definition of surface continuity from the engineering CAD lexicon: Positional, Tangential, and Curvature continuities. It's useful to think of these three types as steps in a ladder, with each building on the definition of the last. Positional continuity [ $C^0$  or  $G^0$ ] refers to the hard edge created when 2 surfaces intersect. Tangential continuity [ $C^1$  or  $G^1$ ] is the next level, defined by a circular arc creating a relatively smooth transition between these surfaces. The quality of this transition is best visualized by a straight line drawn between two circles: the line's only point of contact with each circle is tangential. This level of continuity is often described as a basic fillet in most solid modeling systems. Although smooth, there is a characteristic "break line" of tangency denoting where the circle meets the line. Curvature continuity [ $C^2$  or  $G^2$ ] is a bit trickier to describe. Technically, it occurs when the rate of curvature between 2 continuous surfaces are the same. Visually, it is when one cannot tell when one surface ends and another begins. In the CAD world this is often referred to as *class A surfacing*, and is the domain of surface-



based modeling software like Alias, Rhino, and Catia. The primary benefit of Curvature's quality is the ability to control smooth reflections across multiple surfaces, generating the elegant sculptural results necessary in the automotive industry. The technical renderings below illustrate these visual qualities better than any verbal description could. Please pay attention to the subtle differences, particularly the Tangential line marking the fillet's point of contact with its adjacent surface, and how the reflections break there as well.

Looking at the diversity of nature yields numerous examples of both Positional and Curvature continuity: from the sharp edges of crystal formations, the jagged fans of palm trees, and the serrated scales of thorny lizards; to the aqua-dynamic skin of a dolphin, the flowing shapes of sedimentary sandstone, and the graceful curves of a flower petal. Examining our emotional responses to these two classes of natural form development, there are distinct sets of impressions they leave upon us:

The Positional forms suggest *precision, accuracy, danger, structure, fidelity...*

The Curvature surfaces intimate *sophistication, elegance, fluidity, grace, refinement...*

*Conspicuous is the nearly complete absence of tangential forms in nature.*

### Meaning and the Man-Made Formscape

Now taking this same simplified approach to the categorization of man-made forms, especially transportation machinery, we can see similar patterns of meaning arise. The Stealth Fighter and the Cadillac show-car both have a *menacing* and *precise* nature. The D-type Jaguar and the B-1 Bomber hold an *alluring* yet somber *elegance*.

Newer to this form-scape are the Tangential forms, and notably they have a very particular and consistent point of view: they all maintain a sense of *utility, function, efficiency,* *practicality,* *purpose...*

The design language of these SUVs epitomized the notion of *purposefulness*, even when comparing the utilitarian nature of the original Land Rover with its glitzy new cousin the LR3 Discovery. Remarkable is the same *functional* character of the CV 22 Osprey; one would think that the laws of aerodynamic would solely determine this airplane's shape--no industrial design team sketched up this form language--yet one can plainly see the *utilitarian* message of this vehicle expressed in its form.

Stepping into the terrain of product design, we see a different distribution of this continuity landscape. On the Positional end of the spectrum, we again have products of *precision and fidelity*. On the other end we have  $C^2$  objects of *elegance and sophistication*. And clumped on top of each other in the middle are the majority of Tangential consumer products.

There is a profound laziness to the execution of these products, especially when compared to the beauty of diversity found in nature.

Now here's the rub: How many of these are appropriately utilizing the form language of *utility* and how many are not? How many are tangentially sculpted because of the tools of creation (tangent-restricted solid modeling software)? How many are consciously designed to produce a relevant user experience? The DeWalt drill of course is right on the mark, the Emeco Navy Chair absolutely shouts utility, and all of the Dyson vacuums are Tangent porn as far as I can tell--functional engineering taken to a styled perversity--but it is the hoards of cell phones, MP3 players, computers, and multitudes of consumer electronics that lack much distinction or differentiation from each other. There is a profound laziness to the execution of these products, especially when compared to the beauty of diversity found in nature. You could easily argue that a majority of products are primarily tools of purpose, and thus Tangent is their true form language. Unfortunately, too many products are unconsciously executed with the engineering tools at hand, instead of looking for the nuanced and subtle differences that would make them worthy of the space they take up on the shelves of our consumer market place.

Now, understandably many of these products are not so much Designed as driven by engineering requirements, cost, and short timelines. They were created, but without Design in mind. Functions and features most likely dominated the development process rather than ease of use and quality of experience. I would venture again that the user was not really put at the forefront because it is not ease to measure their experience, thus the "rational" mindset ends up driving development by functionality alone because it is simple to quantify. Also much of the "piling up" of Tangentially formed products today is directly proportional to the tools (solid modeling software) that designers and engineers are using to conceive and implement ideas. So development tools and marketing features are dictating customer experiences instead of the other way around.

Remember that the Tangent category does not exist in nature in pure form: it is a mental construction from man's imagination; an abstraction of functional form designed to simplify the task of product development. Predating CAD, this geometric linear- and arc-based approach evolved out of the mental constructs of design technique, industrial fabrication, and reproduction of the objects of the 20th Century. It was the root of the Bauhaus ideal: the single language of "form following function." And while I have a deep affection for the pragmatism embodied in that phrase, I find it too limiting. It just doesn't hold universal truth, rooted as it is, exclusively in the world of measurement.

### The Periodic Table of Form

Is Design merely inspiration's anatomy without reason or rationale, or is this rooted in some universal truth? Can we apply a scientific method of measure, and give



order to form's relationship with meaning? While struggling to come up with some concrete examples to these questions, the team at Alchemy Labs decided to "make" some generic widgets to illustrate our collective thoughts on this matter. We started with a deceptively functional form: a simple shape that, to fool the viewer's eye, looked like it did something, but in fact has no function at all. Then we applied the three categories of continuity to form a baseline structure. Then, in Darwinian fashion, we cross-pollinated these central forms to create hybridized form statements. The result is the beginning of a kind of Periodical Chart of Forms that can be parsed for their associated Meanings. Like the Periodic Table of the Elements, this system holds ample opportunity for mixing proportions, creating alloys, and adding impurities. We propose that this visual paradigm has room to house all the things that have been, and the things yet to be.



Once established, we can test the paradigm with some concrete samples, validating it through blending the 3 levels and then deconstruct their complex hierarchical meaning.

It's interesting to see these two products side by side, the 2001 PowerBook now seems a bit simplistic in comparison to the 2008 MacBook Pro.

We start with the F-22 Raptor, the newest fighter in the US Air Force arsenal. This jet's integration of stealth technology and slippery aerodynamics is faithfully expressed in its contrasting *angular* Positional silhouette and *graceful* Curvature control surfaces. The blending of these two continuity levels produces a *sophisticated, exacting, and formidable* visual specter.

Like the F-22, the Lamborghini Reventon is a fusion of Positional and Curvature form development, but its origami-like folding of sleek surfaces signifies a threatening yet exotic precision; a technological sex appeal that cuts both ways. Apple's PowerBook represents the other end of the spectrum: large friendly radii and Bauhaus minimalism, these transitions are deceptively *sweetened* with the subtle Curvature quality fillets. The result is a Design language that says, "I'm simple to use, thoughtful, and sophisticated." Apple's excruciating attention to this level of detail is at the heart of this brand's customer experience and behind their consumer cult loyalty; their commitment to crafting this experience says simply that they care more about their consumer than their competition.

How has Apple's design language evolved with the introduction of the new MacBook Pro? Again the first layer is minimalistic Tangency with the intrusion of Curvature transition quality, but this latest version brings in Positional "bone lines." These additional *cutting* features evolve Apple's sophisticated ease of use into a more "mature" precision design statement. This echoes from its new high-fidelity machined chassis, representing the most exacting manufacturing process of any laptop made today. It's interesting to see these two products side by side, the 2001 PowerBook now seems a bit simplistic in comparison to the 2008 MacBook Pro.

No matter how much our mind wants to control the conversation, we will miss out on at least half of the story if we don't recognize and honor our emotional side of our being. Product development needs to take a more harmonizing approach, through a more seasoned awareness of our true nature and a deeper look into creation, assessment, and valuation of both our mental and emotional bodies.

The Periodic Table of Form & Meaning is an attempt to address certain goals: to create a model of empirical understanding for three dimensional form, to start defining Design's intangible traits, to measure its emotional meaning in such form, and to *make conscious some of our unconscious choices*. We need to embrace the completeness of the being of form, by more consciously and thoroughly understanding it, and not focus merely on only the consciously measured half of the story. This simple yet open structure hopes to create a dialogue between the heart and mind, in form in particular, but in ourselves primarily (by the necessity of our task). Thus, we can make a case for Design's true value, and petition our ruling rational thought processes to loosen their grip: to allow us to stop and smell the *truth of beauty*, and the *beauty in truth*.

*\*Gray Holland is the principal and founder of [Alchemy Labs](#), a full spectrum design firm in San Francisco. We approach Design, Brand, and Business as a synthesis--transforming new ideas into reality. Thanks to the entire team at Alchemy Labs, and special thanks and support to Laura McFarland.*

## ANEXO 5

### Especificaciones técnicas del Polipropileno copolímero

# PCD 1214

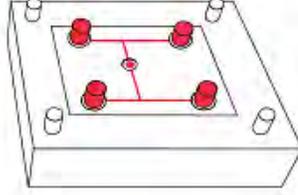
[www.petroquim.cl](http://www.petroquim.cl)

## POLIPROPILENO COPOLIMERO HETEROFASICO

Indicado para moldeado por inyección. Se destaca por su sobresaliente resistencia al impacto, incluso a bajas temperaturas, con una rigidez apropiada para aplicaciones con exigencias de aplastamiento.

## APLICACIONES

### INYECCION



Baldes industriales de 1 a 5 galones  
Cajas y piezas de alta exigencia mecánica  
Potes y envases de helado, postres y yogurth

## RECOMENDACIONES DE PROCESAMIENTO

### INYECCION

Alimentación 180° C  
Tornillo 190 a 240° C  
Molde 20 a 60° C

## PROPIEDADES

Índice de Fluidez 2,16 kg/230 °C	D-1238/95	g/10 min	12
Temperatura de Ablandamiento VICAT (1 kg)	D-1525/97	°C	137
Temperatura de Deformación Térmica – HDT (455 kPa)	D-648/97	°C	80
Resistencia al Impacto IZOD a 23 °C	D-256/93	J/m	120
Resistencia al Impacto IZOD a -20 °C	D-256/93	J/m	75
Resistencia a la Tracción (en el punto de fluencia)	D-638/97	MPa	20
Elongación (en el punto de fluencia)	D-638/97	%	6
Módulo de Elasticidad en Flexión	D-790/97	MPa	1.200

Hoja 1 de 2

Edición: 01  
Revisión: Ene/2005