

CAPITULO 7

PROTESIS Y COMPONENTES POR DEBAJO DE LA RODILLA

Los componentes básicos de las prótesis por debajo de la rodilla se muestran en la figura 1. Son el pie y el tobillo, la pierna, el encaje y el sistema de suspensión.

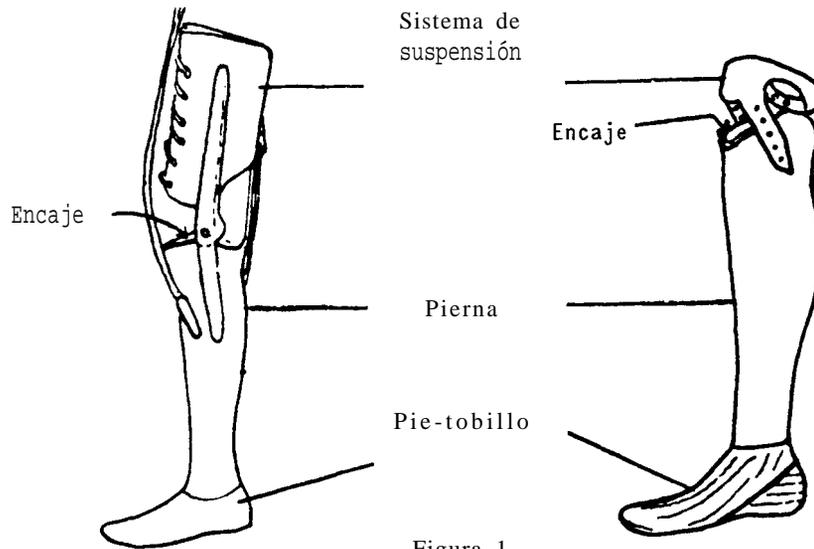


Figura 1

Prótesis por debajo de la rodilla

CONJUNTO PIE-TOBILLO

Los dos conjuntos de pie y tobillo más usados en las prótesis por debajo de la rodilla (y también en las prótesis por encima de la rodilla) son: con articulación de eje sencillo y con pie SACH no articulado. Otro tipo, usado menos frecuentemente, es el montaje del pie y tobillo de eje múltiple.

Montaje del pie y tobillo con eje sencillo (figura 2)

En esta unidad, la base del pie se conecta al bloque del tobillo por un tornillo. El eje transversal del tobillo permite que el pie haga la flexión plantar y la dorsiflexión alrededor de un eje. Mientras el pie realiza la flexión plantar, se comprime un pequeño cilindro de goma colocado detrás del eje del tobillo, ofreciendo resistencia al movimiento. A este

respecto, la acción del cilindro de goma corresponde a la acción de los flexores dorsales del pie en la pierna intacta. La goma permite un movimiento de  $15^\circ$  de flexión plantar. En dirección opuesta, el movimiento se frena por un tope que está colocado delante del eje del tobillo. El tope de dorsiflexión es de goma, fieltro o plástico. La capacidad de dorsiflexión del pie protésico no excede normalmente los  $5^\circ$ . Ya que los dedos del pie deben doblarse durante la fase de despegue de la marcha y volver a una posición neutra, esta acción se puede llevar a cabo por medio de una articulación de los dedos con un tope de goma, como se muestra en la figura 2, o por una parte flexible del pie en los dedos, como se muestra en la figura 3.

#### Montaje pie-tobillo SACH (figura 4)

El montaje pie-tobillo SACH (tobillo sólido con talón blando) consiste en una quilla de madera con material flexible alrededor de la quilla, un trozo de balata que pasa por debajo de la quilla y se extiende hacia adelante hasta los dedos, un tornillo que sujeta el pie a la pierna y un talón blando comprimible.

El pie SACH permite el movimiento debido a la compresión selectiva de los materiales de los cuales se fabrica, y no por el movimiento articulado de sus segmentos. El talón blando tiene diferentes grados de compresión que se seleccionan en base al nivel de amputación, el peso del cuerpo y la capacidad de control de la prótesis por el paciente. Como el montaje pie-tobillo no tiene articulaciones móviles, la unión entre el pie y la pierna es perfecta.

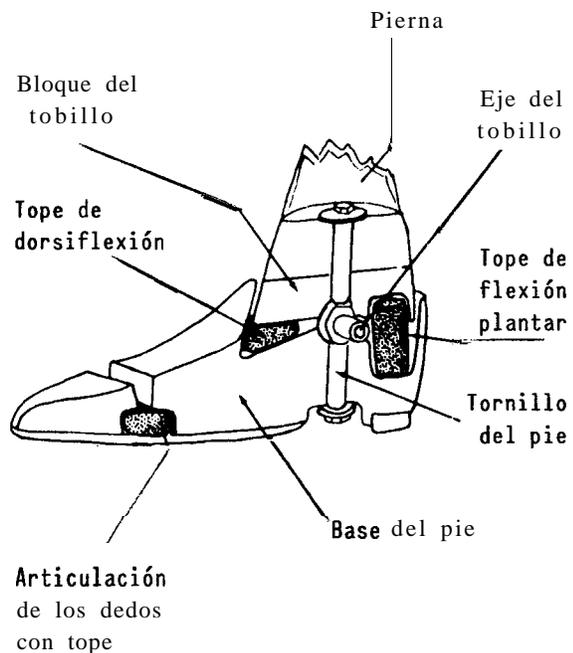


Figura 2

Montaje pie-tobillo de eje sencillo con articulación de los dedos.

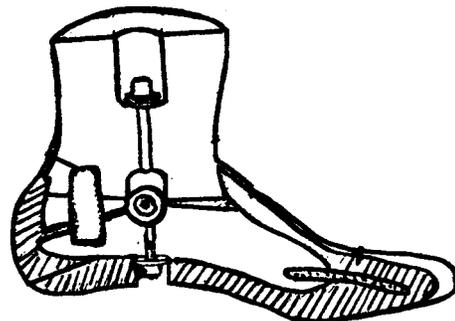


Figura 3

Montaje pie-tobillo de eje sencillo con dedos flexibles.

El montaje pie-tobillo SACH también puede fabricarse con la quilla de madera externa (figura 5).

Siendo la quilla más ancha, se reduce el movimiento mediolateral que se produce usando la quilla interna, y debe tenerse en cuenta para los pacientes que necesitan una mayor estabilidad. Desde que la cubierta de plástico laminado de la pierna puede extenderse hasta el talón blando y la planta del pie, se han mejorado las características cosméticas de la unidad.

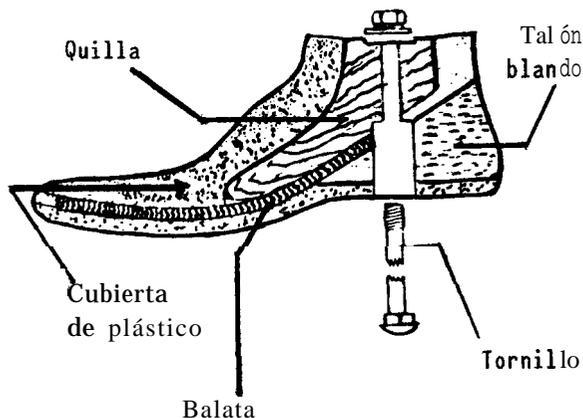


Figura 4

Pie SACH con quilla interna

El montaje pie-tobillo SACH es el que más se usa en todas las unidades protésicas pie-tobillo. Es el sistema de elección para la mayoría de las prótesis por debajo de la rodilla, especialmente en las que no utilizan un corsé de suspensión de muslo. Las ventajas del pie SACH son su sencillez, que no tiene partes móviles, que no necesita reparaciones, que tiene buena apariencia y que está bien moldeado para zapatos de tacón alto. La gran desventaja es que no puede variarse el grado de flexión plantar o la dorsiflexión. Algunos pacientes de edad tienen dificultades si la compresión del talón es insuficiente al apoyarse en él. Este problema se hace todavía mayor si hay una pérdida gradual de su elasticidad.

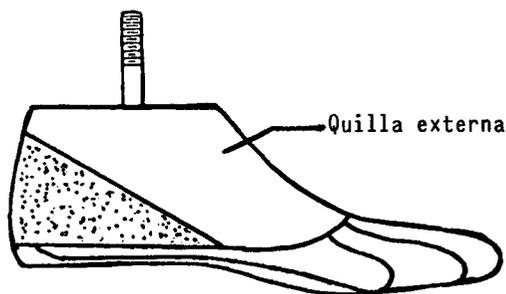


Figura 5

Pie SACH con quilla externa

#### Montaje pie-tobillo de eje múltiple

El montaje pie-tobillo de eje múltiple permite movimientos en cualquier dirección, es decir, flexión plantar, dorsiflexión, inversión, ever-

sión y una pequeña rotación alrededor del eje vertical. Hay un modelo en que estos movimientos dependen de una pieza de goma compresible con un cable flexible a través de ella, situado entre la pierna y el pie, como se muestra en la figura 6. Un cable posterior permite variar la flexión plantar y la dorsiflexión, que puede acortarse o alargarse. La pieza de goma del tobillo tiene un agujero hecho en su parte posterior y así ofrece menos resistencia a la flexión plantar que a la dorsiflexión, lo cual es una característica esencial de todos los montajes pie-tobillo.

El extremo inferior del bloque del tobillo tiene un arco curvo metálico que reposa en el bloque de goma en arco. La superficie curvada permite al pie rotar sobre el eje transversal en la articulación del tobillo, y así puede realizar la flexión plantar y una dorsiflexión suave. El eje transversal de la articulación del tobillo está situado en un receptáculo flexible de la articulación. La flexibilidad de este receptáculo permite un movimiento mediolateral y una suave rotación en el plano horizontal.

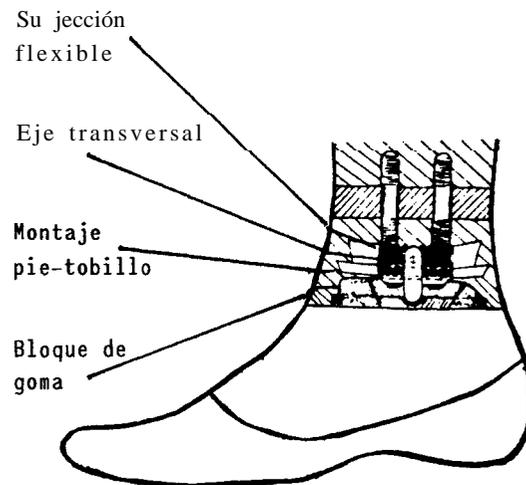


Figura 6

Montaje pie-tobillo del eje múltiple con eje de sujeción flexible.

Una ventaja de este montaje pie-tobillo de eje múltiple es que se acomoda a cualquier superficie mejor que cualquier otro tipo de pie protésico. También absorbe algunas de las fuerzas de torsión creadas durante la marcha, reduciendo el momento del muñón con el encaje. Las desventajas son que es más voluminoso que el pie de eje sencillo, que requiere más cuidados y que puede ser más ruidoso y menos cosmético. Por otro lado, permite una gran amplitud de movimiento y puede llegar a crear inestabilidad en algunos pacientes con poca estabilidad.

#### PIERNA

La pierna puede ser una construcción exoesquelética (crustácea) o en-

doesquelética (central). Como estructura, la pierna mantiene la relación espacial fija entre pie-tobillo y transmite el peso sobre el pie y tobillo.

En la pierna exoesquelética, el espacio entre el bloque del tobillo y el fondo del encaje está hueco, y el peso lo soportan las paredes de la pierna (figura 7).

El tipo de pierna endoesquelética consiste en un tubo de metal conectado al pie-tobillo y a las estructuras superiores. En la prótesis por debajo de la rodilla, el tubo está conectado al montaje pie-tobillo y al encaje. Este tipo de prótesis de carga central se usa especialmente en prótesis inmediatas y en prótesis modulares. En las prótesis definitivas se aplica sobre el tubo de apoyo una cubierta de espuma blanda conformada para conseguir un efecto estético perfecto. (El concepto modular se explica más adelante, en "Construcción modular").

#### EL ENCAJE

El encaje transmite las fuerzas de la carga en el miembro amputado y transmite estas fuerzas desde el miembro para controlar y mover la prótesis. Antes de 1958, la mayoría de las prótesis por debajo de la rodilla utilizaban un encaje que estaba tallado en una pieza de madera. Por razones que están detalladas en el capítulo de "Biomecánica de las prótesis por debajo de la rodilla", si se usaba el encaje sólo para transmitir el peso del cuerpo, las paredes del encaje producían unas presiones excesivas en el muñón. Para reducir estas presiones, estas prótesis requerían un corselete de muslo que descargara parte del peso. Otra desventaja de este tipo de encaje era el tener el extremo inferior abierto, sin contacto con el final del muñón. Esta falta de contacto total tiende a causar edema en el extremo del muñón, lo cual se agravaba por el efecto de constricción del corselete de muslo.

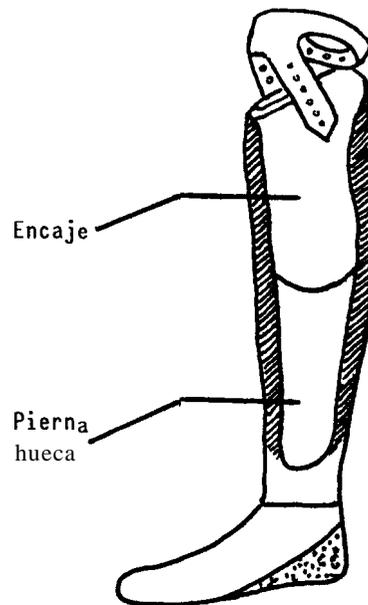


Figura 7

Construcción exoesquelética de la pantorrilla.

En gran parte, las desventajas de aquel tipo de encajes se resolvieron con el encaje de apoyo en el tendón rotuliano (PTB) para prótesis por debajo de la rodilla, que fue desarrollado en el Laboratorio Biomecánico de la Universidad de San Francisco. Después de su introducción en 1958, este tipo de prótesis fue muy bien aceptado en todo el mundo. En años recientes, se han introducido algunas variaciones que han mejorado su utilización. Las características del encaje PTB por debajo de la rodilla tienen muchas variaciones, como se explica más adelante.

#### Encaje de apoyo en el tendón rotuliano (PTB)

El encaje PTB se hace de plástico moldeado o laminado, que proporciona una adaptación íntima sobre toda la superficie del muñón, incluyendo el extremo distal. La pared anterior del encaje es lo suficientemente alta como para abarcar la mitad distal de la rótula, mientras que la pared posterior queda más alta que la protuberancia interna del encaje a nivel del tendón rotuliano. Las paredes mediales y laterales están un poco más altas que la pared anterior para controlar las fuerzas mediolaterales aplicadas al muñón, y con ello, mejoran la estabilidad en este plano. El encaje básico PTB lleva un revestimiento interno blando (figura 8).

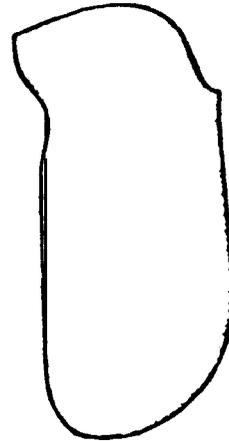


Figura 8

Revestimiento blando.

El encaje está moldeado de forma que una parte importante del peso sea a través del tendón rotuliano y del contorno interno de la tibia. A causa de que el encaje es biomecánicamente más eficiente que los antiguos, al distribuir mejor las fuerzas de carga en el miembro amputado, se puede eliminar en la mayoría de los casos el corselete de muslo, y suspender la prótesis por una simple correa que envuelve el extremo inferior del muslo, justo por encima de la rótula.

El encaje PTB consigue un contacto total con el muñón. Esto ayuda a evitar el edema, consigue un área más amplia de apoyo (aunque el extremo del muñón no puede tolerar demasiada presión), y consigue una mejor información sensorial a causa de la gran área de contacto entre el miembro amputado y el encaje.

Se han producido algunos cambios de la PTB original, aunque estas innovaciones no afectan los principios básicos en que se fundamenta la fijación y la alineación de la PTB, pero varían las características de transmisión del peso y de la suspensión.

### Encaje con almohadilla de aire

Uno de los diseños de encaje PTB almohadillado con aire, consiste en una funda elástica interna impregnada de goma de silicona, con una cubierta externa rígida. Una cámara cerrada, entre estas dos paredes, contiene aire a presión atmosférica. El soporte distal lo proporciona la tensión del propio manguito y la compresión del aire contenido en la cámara (figura 9).

Las ventajas del encaje con almohadillado de aire son la posibilidad de una carga distal mayor que mantiene el contacto distal, aunque el volumen del muñón varíe, y hay menos molestias en la piel. El incremento de la carga distal favorece la circulación y no necesita tanta carga proximal. Los inconvenientes son que es complicada de fabricar y que una vez fabricada son muy difíciles las modificaciones. No está indicada para un amputado reciente que puede tener cambios muy rápidos en el muñón.

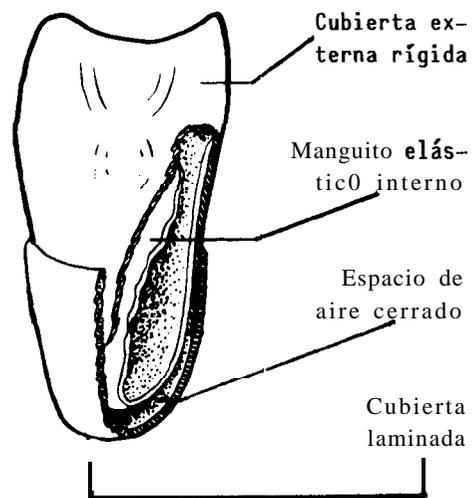


Figura 9

Encaje almohadillado de aire

### Encaje rígido

Otra variante en el diseño de la prótesis básica PTB es el encaje rígido, en el que se elimina el revestimiento blando. Algunos encajes duros llevan incorporada una almohadilla blanda en el extremo distal. Por lo general, se usan para aquellos amputados que consiguen un muñón bien cubierto de tejidos blandos. Si hay graves problemas de transpiración, el encaje rígido permite el uso de una construcción porosa de plástico que ayuda a la transmisión del calor. El encaje duro se usa menos, y en algunos casos, está contraindicado en pacientes de edad con pocos tejidos blandos en el muñón, y para pacientes con problemas vasculares continuos, muñón sensible o de tamaño variable. En estos individuos es preferible un encaje blando.

### Otras variaciones del encaje

Además de las variaciones antes descritas, que están relacionadas principalmente con las características de transmisión del peso, hay otras variaciones del encaje básico PTB que se refieren a la altura de las paredes anterior, media y lateral, para conseguir una mejor suspensión. Estos diseños relacionados con la suspensión, se describen en la sección siguiente.

## **SISTEMAS DE SUSPENSION**

### Correa de suspensión

La prótesis básica PTB está suspendida por medio de una correa supracondilea (figura 10), la cual está sujeta al encaje en las áreas posteromedial y posterolateral, y envuelve el muslo justo por encima de los epicondilos femorales y la rótula. Este tipo de sujeción sirve inicialmente para sujetar la prótesis al muñón. Proporciona también ayuda a la estabilidad mediolateral de la rodilla y a la limitación de la hiperextensión. La mayoría de los amputados, con la posible excepción de los que tienen muñones muy cortos o dolorosos, toleran bien las presiones del encaje con este tipo de suspensión.

### Sistema supracondilar (SC)

La suspensión supracondilar tiene las paredes mediales y laterales

más altas que las del diseño PTB original. Las paredes cubren totalmente los epicondilos femorales y terminan proximalmente con una circunferencia más pequeña que los ápices de los condilos. Una vez colocada la prótesis, no puede resbalar sobre los condilos.

Para facilitar el ponerse la prótesis, hay dos tipos de encajes. El primero lleva consigo que la forma de la pared medial del encaje permita que los condilos relativamente prominentes entren en el encaje. Una vez que el amputado ha insertado su miembro en el encaje, el espacio se llena con una cuña móvil de plástico que se inserta entre la pared del mismo y el epicondilo medial (figura 11). Otro método utiliza una pared

móvil que está conformada de forma que se adapte firmemente sobre el área del epicondilo medial, y se mantiene en posición por una barra de acero que se fija fácilmente dentro de un canal en la porción proximal del propio encaje (figura 12). La pared es móvil para permitir que el muñón se inserte en el encaje y poderla reponer después que el muñón esté encajado.

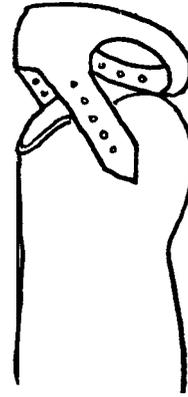


Figura 10

Correa de suspensión **supracondilea.**

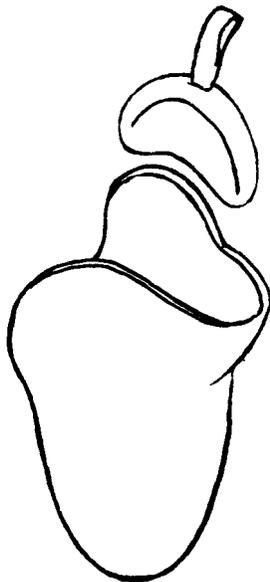


Figura 11

Suspensión en **cuña.**

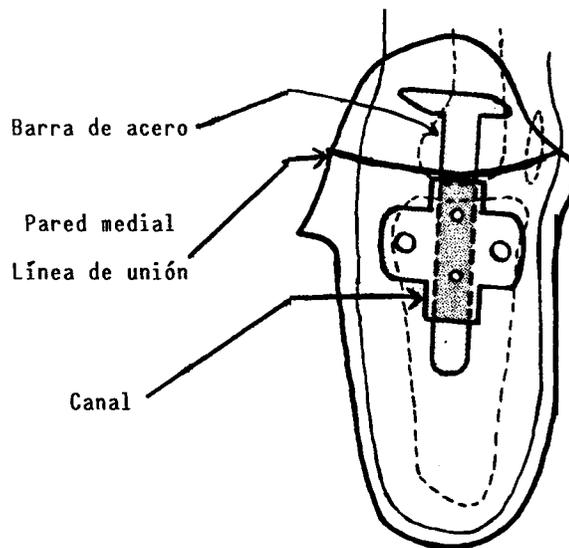


Figura 12

Suspensión de ala **móvil.**

### sistema supracondilar/suprarrotular (SC/SP)

El sistema de suspensión supracondilar/suprarrotular (SC/SP) tiene el encaje con paredes mediales y laterales altas como el sistema supracondilar, pero tiene un forro móvil y blando que permite al miembro amputado pasar el borde proximal del encaje. Además, la SC/SP tiene la pared anterior muy alta que cubre toda la rótula (figura 13).

Ambas variantes de la suspensión dan una gran estabilidad mediolateral en la rodilla y eliminan la correa de suspensión. La pared anterior de la SC/SP no sólo ayuda a mantener la prótesis en el miembro sino que evita cualquier tendencia al recurvatum.

Estas variantes son más difíciles de construir que el modelo standard PTB. Los bordes proximales de ambas, la SC con cuña medial y la SC/SP, son más abultados mientras que la SC/SP restringe la flexión, especialmente al ponerse de rodillas.

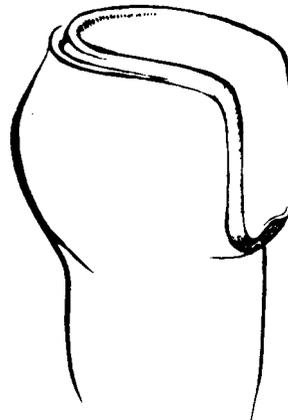


Figura 13

Suspensión supracondilar/suprarrotular.

### Corselete de muslo

El corselete de muslo está sujeto al encaje y a la pierna por medio de dos barras laterales con articulación en la rodilla (figura 14). Además de mantener la prótesis en la pierna durante la fase de balanceo, el corselete recibe parte del peso del cuerpo y ayuda a la estabilidad durante la fase de apoyo. En algunos casos, se ayuda a mantener la suspensión por medio de un cinturón flexible y unos tirantes. Los tirantes se sujetan a la pantorrilla de la prótesis y, por una correa elástica, al

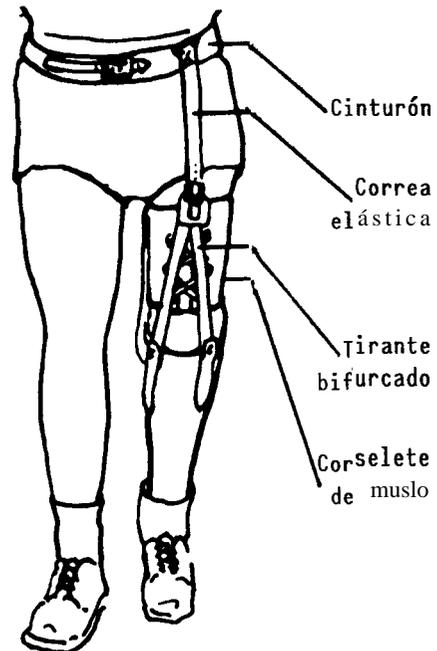


Figura 14

Suspensión de corselete de muslo.

cinturón. La correa elástica tira hacia arriba de la prótesis y ayuda a la suspensión y además, cuando la rodilla está flexionada, la correa elástica se estira y la tensión ayuda a la extensión que se extiende desde la cara posterior del corselete del muslo a la pantorrilla que controla la extensión total de la rodilla, evitando que los topes metálicos de la articulación de la rodilla entren en contacto de forma brusca y causando ruidos.

En vista de que la articulación de la rodilla humana no es una articulación simple de un solo eje, se producen movimientos entre la prótesis y el miembro cuando se usen las articulaciones mecánicas de eje sencillo. Este movimiento relativo puede causar rozaduras, irritaciones y presiones en el muñón. Otras desventajas del corselete de muslo son que abulta, que aumenta el peso de la prótesis, que su efecto de constricción puede producir atrofia en el muslo y que puede aumentar el edema que puede haber en el miembro amputado.

#### Unidad de rotación

Cuando un amputado anda, el encaje tiende a girar en el miembro amputado, produciendo un efecto de roce en la superficie de contacto encaje-muñón. Algunas de las fuerzas de torsión las absorbe el conjunto pie-tobillo, y el momento de torsión residual no es un problema. En otros casos, en particular con amputados activos, el momento aplicado al muñón es fuente de incomodidades.

Para solucionar este problema, se ha desarrollado un mecanismo rotatorio de absorción del momento de fuerza para usarlo en prótesis de extremidad inferior (figura 15). No está indicado, en general, para amputados por debajo de la rodilla con prótesis PTB con forma supracondilea

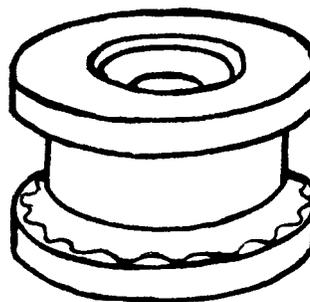


Figura 15

Mecanismo de absorción del momento de rotación.

de suspensión, pero puede ser útil en un amputado por debajo de la rodilla que lleva un corselete de muslo que le cause molestias.

La unidad rotatoria se interpone entre el extremo inferior de la pantorrilla y el conjunto pie-tobillo. Por medio de un elemento resistente que se incorpora entre las partes superior e inferior de la unidad se produce la rotación de la pantorrilla mientras el pie está en contacto con el suelo. Hay diferentes modelos para usarlos con prótesis de construcción exoesquelética o endoesquelética. La figura 16, muestra una unidad instalada en una prótesis por debajo de la rodilla.

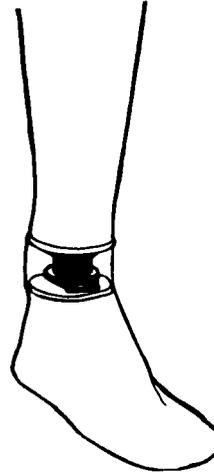


Figura 16

Mecanismo de rotación en una prótesis por debajo de la rodilla.

#### Construcción modular o endoesquelética

El concepto básico del diseño modular de las prótesis lleva consigo la utilización de componentes intercambiables standardizados que pueden unirse para construir una prótesis según las necesidades de los amputados. Existen varios sistemas modulares. Aunque hay diferencias en estos sistemas, también hay ciertas partes básicas similares:

1. La utilización de una pieza tubular estructural que constituye el esqueleto interno, y al que se puede sujetar fácilmente las piezas de pie-tobillo y rodilla, y el encaje.

2. Una cubierta de material blando sobre la estructura esquelética que da una apariencia natural.

3. Incorporación de piezas para modificar la alineación de la prótesis. La figura 17 muestra los componentes básicos de una prótesis modular por debajo de la rodilla.

Cuando se ha completado el proceso de alineación y fijación, se quita el exceso de madera que sirve para conectar el encaje y la pieza tubular.

Se monta una cubierta cosmética blanda sobre el encaje y la pierna endoesquelética, como se muestra en la figura 18, y se da forma a la cubierta cosmética para conseguir una buena estética.

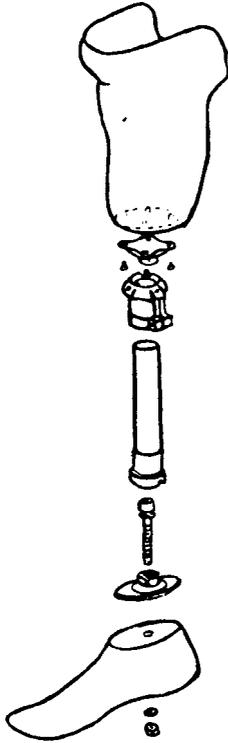


Figura 17

Componentes básicos de una prótesis modular por debajo de la rodilla.

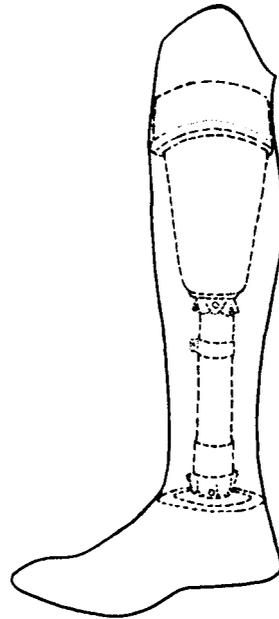


Figura 18

Vista interior de una prótesis modular por debajo de la rodilla.