

Estudio sobre la posibilidad de que los atletas paralímpicos que utilizan prótesis transtibiales puedan competir en los 100 metros lisos de los Juegos Olímpicos

Monográfico de investigación

Autor: David Tijerín Antón

Tutor: Alberto Medrano Samper

Agradecimientos

Muchas gracias a Alberto Medrano, mi tutor en este viaje, por el constante apoyo que me ha proporcionado y, sobre todo, por su gran labor al ayudarme con los detalles y la corrección del trabajo. También agradecerle a mi madre por empujarme a participar en este proyecto y por darme ánimos cuando yo los había perdido. Sin estas dos personas, el presente monográfico no habría existido.

Índice

Resumen	4
Abstract	4
1. Introducción	5
2. Evolución histórica	7
3. Fundamentos de la carrera	10
4. Prótesis en la actualidad	15
4.1 Forma	15
4.2 Materiales	16
4.3 Accesibilidad	21
5. Leyes antidopaje. Límites de las prótesis	22
6. Discusión	24
7. Conclusión	25
8. Futuras líneas de investigación	25
9. Bibliografía	26

Resumen

En este trabajo se van a estudiar los principales factores que influyen en que los atletas paralímpicos que utilicen prótesis transtibiales en los 100 metros lisos puedan competir en esta misma prueba de las olimpiadas. Estos son, principalmente, la técnica de carrera, la funcionalidad y composición de las prótesis, y las leyes restrictivas sobre el material técnico en el atletismo. También se intentará realizar una estimación sobre la fecha en la que se pueda llegar a esta inclusión, discutiendo los condicionantes asociados a dichos factores.

Abstract

This project will delve into the main elements which will influence those paralympic athletes using transtibial prosthetics in the 100 metre race to compete at this same event in the Olympics. These are the running technique, functionality and composition of prosthetics, and restrictive laws against technical material in athletics. Besides, an estimation of when this inclusion could take part will be made, discussing the determinants associated with those elements.

1. Introducción

Motivos y objetivo

El motivo de elección de este tema en concreto se basa en mi interés por el deporte y la tecnología. Siempre me ha fascinado la era tecnológica en la que vivimos, y cómo las máquinas pueden llegar a condicionar nuestro día a día. Además, me impresionó el caso Pistorius (que luego comentaremos) y cómo pueden un par de arcos de fibra de carbono ayudar a una persona doble amputada a cumplir sus sueños. También me pareció interesante intentar hacer una predicción sobre cómo evolucionará el mundo de las prótesis en un futuro, así como en el deporte paralímpico.

Por ello, el presente trabajo estudiará los principales factores que ayudarán a la inclusión de los atletas olímpicos y paralímpicos en una misma prueba de 100 metros lisos. A partir de ahí, se intentará dar una estimación fundamentada sobre cuándo podría darse este suceso.

Capítulos

En el capítulo 3 se observará cómo ha sido la evolución del deporte paralímpico desde su origen, así como del atletismo en concreto. También se hará una primera predicción teniendo en cuenta las mejores marcas de las últimas competiciones.

En el capítulo 4 se explicará cómo es una técnica de carrera correcta, para poder apreciar qué ventajas y desventajas proporcionan las prótesis a los atletas paralímpicos sobre los olímpicos.

En el capítulo 5 se investigará cómo se fabrican las prótesis en la actualidad, tratando forma y materiales, para ver cómo la futura evolución en estos campos podría cambiar el mundo

de las prótesis. También se prestará especial atención a la manufactura aditiva y los materiales compuestos, así como a la accesibilidad de esta tecnología en todo el mundo.

En el capítulo 6 se discutirá sobre cómo las restricciones antidopaje establecidas por el Comité Paralímpico Internacional podrían frenar el desarrollo de las prótesis en el atletismo.

Por último, en los capítulos 7 y 8 se resumirá el contenido del trabajo, y se realizará una conclusión final sobre el tema en cuestión.

Materiales y métodos

A la hora de elaborar este trabajo, se ha partido de las páginas oficiales de los Juegos Olímpicos y Paralímpicos, sobre todo para la recogida de marcas y reglamento.

También se han consultado artículos sobre el caso Pistorius y las historia del movimiento paralímpico.

Además, se han utilizado varios videotutoriales para poder apreciar gráficamente cómo es una buena técnica de carrera.

Por último, para la parte específica de las prótesis, se han utilizado principalmente trabajos de fin de carrera, en los que se estudiaban ya fuesen los fundamentos o el montaje de las mismas, así como materiales y formas.

Conclusión avanzada

Observando los principales campos que condicionan la progresión de las prótesis y cómo han evolucionado hasta el momento, se podría predecir que la evolución de las mismas será más rápida que en los últimos años. Sin embargo, la gran cantidad de variables probablemente complique bastante la tarea, ya difícil de por sí, de dar una fecha exacta.

2. Evolución histórica

Aunque las primeras olimpiadas fueron en 1869, el movimiento paralímpico apareció por primera vez en 1948 de la mano de Ludwig Guttman. Este organizó una competición de tiro con arco en el Hospital de Stoke Mandeville (Inglaterra) para veteranos en silla de ruedas de la Segunda Guerra Mundial. Más tarde, en 1952, tomó un papel internacional cuando Países Bajos decidió participar también en el evento. Todo esto hizo que, en 1960, se realizarán los primeros Juegos Paralímpicos de la historia en Roma. En ellos participaron 31 atletas con lesiones en la espina dorsal de 10 países diferentes, en distintas pruebas de lanzamiento.

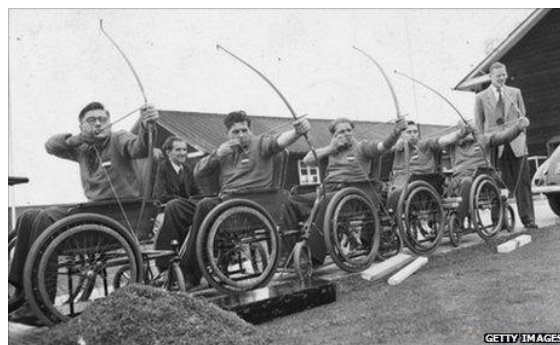


Imagen 1: Primeros juegos paralímpicos en el Hospital de Stoke Mandeville

Desde entonces, los Juegos Paralímpicos han evolucionado hasta que en Tokio 2020 participaron 4393 deportistas de 162 países diferentes. Cabe destacar que la categoría de los 100 metros lisos no apareció hasta Tel Aviv 1968, y que no se empezaron a utilizar prótesis hasta Toronto 1976.

Por otro lado, el atletismo paralímpico se ha dividido en distintas subcategorías dependiendo de la discapacidad según iba aumentando el número de participantes. Actualmente, se sigue un código compuesto por una letra, T para las pruebas de pista (track)

o F para las de campo (field), y un número. Este último indica el tipo de discapacidad con el primer dígito, y el grado de la misma con el segundo (siendo un número menor cuanto más severa sea la discapacidad). Así, hasta ahora se han considerado las siguientes clases:

- Clases 11-13: discapacidad visual.
- Clase 20: discapacidad intelectual.
- Clases 31-64: discapacidad física:
 - Clases 31-38: problemas de coordinación.
 - Clases 40-41: atletas con acondroplasia.
 - Clases 42-44: afección a las extremidades inferiores compitiendo sin prótesis.
 - Clases 45-47: afección a las extremidades superiores.
 - Clases 51-57: atletas en silla de ruedas.
 - Clases 61-64: afección a las extremidades inferiores compitiendo con prótesis.

Para este trabajo nos centraremos exclusivamente en la T62 y la T64, debido a que son las únicas que utilizan prótesis transtibiales, empleadas en amputaciones por debajo de la rodilla. Estas dos categorías quedan definidas dentro de los apartados 4.1.6.2 y 4.1.6.4 respectivamente del Anexo 1 de la *Normativa y Reglamento de Clasificación de la Discapacidad para el Deporte de World Para Athletics* (2018). Así, la T62 está compuesta por los “deportistas con una deficiencia bilateral de las extremidades por debajo de la rodilla, compitiendo con prótesis” y la T64 por los “deportistas con una deficiencia unilateral de las extremidades inferiores por debajo de la rodilla, compitiendo con prótesis”. Estas deficiencias unilaterales pueden ser “cualquier deficiencia congénita equivalente a la amputación unilateral completa de mitad del pie, desde la punta del pulgar hasta el

posterior del calcáneo” (apartado 2.1.4.1 de dicha normativa) o bien “una diferencia en la longitud de las piernas de más de 7 cm” (apartado 2.1.7).

Sin embargo, las clases 61-64 no aparecen en el atletismo paralímpico hasta enero de 2018, cuando se revisó la normativa de clasificación. Así, los únicos Juegos Paralímpicos en los que han competido han sido los de Tokio 2020.

Por ello, para todas las estadísticas realizadas sobre las olimpiadas anteriores a 2018 se han tomado los datos de los atletas de la T44 utilizando prótesis, que, aunque hoy en día sólo abarca aquellos deportistas con deficiencias que no las necesiten, hasta 2018 incluía a todos.

Evolución de las marcas

La figura 1 muestra la progresión olímpica y paralímpica en la prueba de los 100 metros lisos. Para ello, se ha cogido la media de las marcas en las finales paralímpicas, junto con la nota de acceso para las pruebas olímpicas. Cabe destacar que hasta 2016 se decretaban dos marcas mínimas, A y B. Cada Comité Paralímpico Internacional podía elegir a tres atletas que superasen la primera, más estricta, o uno solo que superase la segunda. Para esta estadística se ha cogido la A, ya que es la más cercana al método actual.

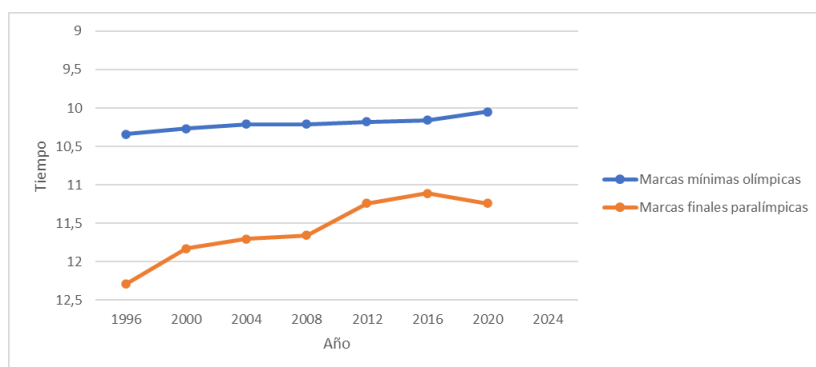


Figura 1: Marcas paralímpicas y mínimas olímpicas desde 1996

Si calculamos y dibujamos las tendencias de ambas estadísticas, vemos que se cruzan algo antes del 2048. Esto es una estimación muy aproximada y con un gran margen de error, pero sirve de punto de partida.

A partir de aquí, se estudiarán varios factores que podrían adelantar o aplazar esa fecha, para intentar realizar una predicción más exacta.

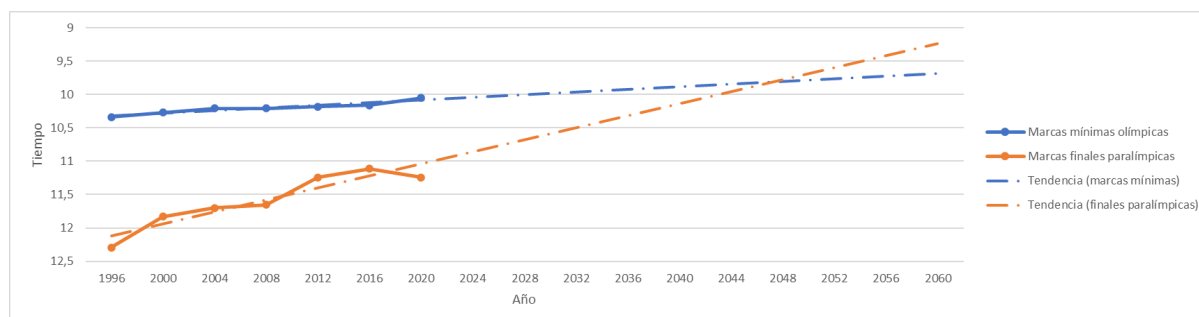


Figura 2: Tendencias de las marcas paralímpicas y mínimas olímpicas desde 1996

3. Fundamentos de la carrera

En el mundo del atletismo, hay dos factores principales que condicionan el rendimiento de un atleta: su fuerza física y su técnica. Esto hace que los atletas paralímpicos, al depender de las prótesis, obtengan ciertas ventajas y desventajas frente a los olímpicos. Pero antes de introducirnos en eso, vamos a ver superficialmente cómo es una técnica de carrera correcta.

A la hora de correr, la velocidad se puede definir como la frecuencia de la zancada por la longitud de la misma. Estas magnitudes suelen ser inversamente proporcionales, pero se puede trabajar para aumentar una sin disminuir significativamente la otra. Además, la existencia de frecuencia indica que la carrera es un proceso cíclico, que se repite a lo largo del tiempo. Así, podemos diferenciar dos fases: aérea y de apoyo.

La primera hace referencia a la fase de vuelo, y al no poder realizar ninguna fuerza que ayude al movimiento en la misma, se debe intentar acortar buscando el suelo (aumentar la

frecuencia). Para ello, se recomienda ir en ciclo anterior, es decir, con la cadera en retroversión, lo que ayuda a que la pierna libre (la que va a dar el siguiente paso) sea menos tiempo un lastre detrás del cuerpo. Además, la rodilla de esta pierna debe flexionarse lo máximo posible para que el avance de la misma sea más rápido.

Por otro lado, la fase de apoyo es en la que el pie del atleta está en contacto con el suelo. Al entrar en esta fase, la pierna debe estar ya moviéndose hacia atrás para ganar impulso desde todas sus articulaciones, incluido el tobillo. También es recomendable mantener el tronco rígido y no estirar completamente la pierna de impulso, para minimizar el desplazamiento vertical. A partir de ahí, el atleta recibirá una parte de las fuerzas que ejerce sobre el suelo dependiendo del retorno de energía que consiga, lo cual depende en gran medida de la suela de las zapatillas.

Sin embargo, esta técnica se aplica solo cuando ya se ha conseguido la velocidad máxima. Al partir del reposo, el atleta deberá acelerar para alcanzar este estado lo antes posible, lo que implica una técnica diferente. Durante los primeros metros, el atleta debe salir en una posición inclinada, estirando la pierna al final de cada impulso para conseguir la máxima fuerza. A partir de ahí, se debe ir incorporando y utilizando la técnica antes mencionada.

A partir de esto, se pueden apreciar los principales campos en los que los atletas paralímpicos obtienen diferencias frente a los olímpicos.

La principal ventaja es el alto índice de retorno de energía que pueden aplicar las prótesis, superior al de muchas zapatillas actuales. Esto permite a los atletas paralímpicos aprovechar más de la fuerza que ejercen sobre el suelo que los olímpicos, ayudando a su zancada. Además, las prótesis actuales de fibra de carbono pesan menos que el órgano al que sustituyen, lo que facilita su rápida movilidad, ayudando a la frecuencia.

Sin embargo, al no tener ningún dispositivo que genere energía, los atletas paralímpicos se ven privados de todos los músculos inferiores a la rodilla, lo que se nota sobre todo en la fase de aceleración. Asimismo, si la amputación del atleta es muy cercana a la rodilla, el anclaje de la prótesis dificultará notablemente la extensión completa de esta articulación. Esto sumado a la falta de tobillo hace que al atleta paralímpico le cueste significativamente más alcanzar su velocidad máxima. Además, esto también se aplica durante la carrera, aunque de manera menos significativa.

El caso Pistorius

Oscar Pistorius es un ex-atleta paralímpico que sufre de una doble amputación por debajo de la rodilla. Competía en las categorías de 100, 200 y 400 metros, y consiguió el sueño paralímpico al participar en los 400 metros de los Juegos Olímpicos de París 2012, e incluso llegar a semifinales.



Imagen 2: Oscar Pistorius (izquierda) compitiendo en las olimpiadas de París 2012

Sin embargo, ha habido bastante polémica respecto a si las prótesis utilizadas por Pistorius seguían el espíritu paralímpico o no. En primer lugar, la IAAF (actual World Athletics) no le permitió competir por esta misma razón, pero cuando el Tribunal de Arbitraje Deportivo revisó el caso, concluyó que sí se le permitiría competir.

Según un estudio realizado por el Instituto de Biomecánica de Valencia, "los estudios biomecánicos han extraído que Pistorius con sus prótesis obtiene ventajas en algunos aspectos, como puede ser un mayor retorno de energía, pero también tiene desventajas como es el caso de una menor aplicación de fuerzas".

Así, las prótesis proporcionan a Pistorius un mayor retorno de energía, hasta de un 90%, mientras que la media conseguida por otros atletas en esta prueba es del 41%. Esto se traduce en que, corriendo a la misma velocidad, Pistorius gasta menos energía que un atleta sin prótesis. Por otro lado, esto es al revés al hablar del trabajo mecánico ejercido por la rodilla, entendiéndose como la fuerza que es capaz de realizar esta articulación durante el desplazamiento. Al no disponer de los músculos inferiores a la misma, esta no puede realizar el mismo trabajo que la de un atleta sano, que tiene que ser compensado por otros músculos, principalmente los cuádriceps. Esto implica que, durante la carrera, Pistorius recibía un 22% menos de fuerzas de reacción verticales, lo que se traduce en menos velocidad.

Todo esto junto hace que Pistorius acelere más despacio que otros corredores, pero que su velocidad máxima pueda ser superior y ser mantenida durante más tiempo. Esta es la razón por la que compitió en los 400 metros y no en categorías más cortas, donde la fase de aceleración cobra más importancia.

Con todo esto se deduce que, en general, la mayor brecha entre atletas olímpicos y paralímpicos se produce durante la fase de aceleración, mientras que durante el resto de la carrera consiguen compensar un poco más. Para probar esto, se calcularon las diferencias entre las medias de los medallistas olímpicos y paralímpicos en las pruebas de 100, 200 y 400 metros lisos desde 1996. Además, para poder compararlas, se multiplicaron los valores

de los 100 metros por cuatro y los de los 200 metros por dos, como se muestra en la figura

3. Si las diferencias fueran proporcionales, las rectas deberían superponerse.

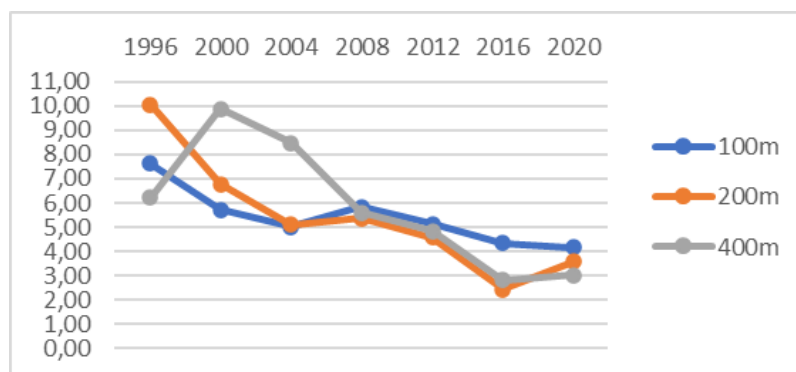


Figura 3: Diferencias proporcionales entre las medias de los medallistas olímpicos y paralímpicos

Sin embargo, no es así. En la figura 3 se aprecia que los datos hasta 2008 eran algo variados debido al menor desarrollo de las prótesis, pero a partir de esta fecha se estabilizan. Se puede observar que las diferencias en los 100 metros son las mayores, donde la aceleración es más importante. También se puede apreciar que la menor diferencia se aprecia generalmente (menos en 2020) en los 200 metros. Esto puede parecer en contra de la predicción inicial, pues en los 400 metros es donde la aceleración tiene menos importancia, pero cuando subimos a distancias más largas entra en juego otro factor, el cansancio. Al no disponer de los músculos inferiores a la rodilla, la sobrecarga en los cuádriceps de los atletas paralímpicos se hace mucho más notable cuando subimos de los 200 metros.

Así, si se consiguiese mejorar el rendimiento de la fase de aceleración en los atletas paralímpicos, la fecha de 2048 se vería significativamente adelantada.

4. Prótesis en la actualidad

En la actualidad, el mercado de las prótesis competitivas está controlado principalmente por las compañías multinacionales Össur y Ottobock, con modelos como el Flex-Foot Cheetah o el 1E90 Sprinter respectivamente.



Imagen 3: Flex-Foot Cheetah, de la marca Össur



Imagen 4: 1E90 Sprinter, de la marca Ottobock

Estas prótesis se hacen a medida dependiendo principalmente de la estatura y peso del corredor, teniendo también en cuenta sus preferencias personales y forma del muñón. Sin embargo, hay ciertos aspectos generales que, de ser mejorados, incrementarían el rendimiento de los atletas.

4.1 Forma

Las prótesis competitivas transtibiales están compuestas por dos partes: el socket, donde se coloca el muñón y se ancla la prótesis, y la hoja, que es la encargada del apoyo con el suelo y la impulsión del atleta. Esta última tiene una forma arqueada, para poder comprimirse en la primera fase del apoyo en la carrera, y así luego devolver la energía utilizada al extenderse, funcionando como un muelle. La curva de la hoja dependerá de las características

individuales del atleta, pero generalmente se utilizan dos formas dependiendo de la longitud de la prueba.

La forma de C es preferible para carreras de largas distancias, pues es más eficiente en la devolución de energía y por ello en el control del cansancio, aunque no permite alcanzar altas velocidades. Por otro lado, en carreras de velocidad se utiliza una forma de J, que devuelve más rápido la energía permitiendo alcanzar antes la velocidad máxima.

Es bastante improbable que se vean mejoras en este campo en el futuro próximo. La anatomía del pie humano al correr y cómo se aplican fuerzas sobre este no va a cambiar, y se han hecho suficientes estudios al respecto como para que, con los recursos actuales, esta sea la forma más eficiente de las prótesis. Por ello, para que se realicen mejoras en este campo, primero se debería mejorar significativamente en otros aspectos.

4.2 Materiales

En las últimas décadas, el diseño de materiales sintéticos ha crecido exponencialmente y no parece que vaya a parar. Así, este es el campo a la vez más imprevisible y en el que más mejoras se pueden realizar.

A la hora de elegir el material del que estará formada una prótesis deportiva, se debe estudiar el peor caso posible, para evitar en su mayor medida accidentes inesperados. Por ello, habrá que tener en cuenta diversas propiedades del material en cuestión.

- Peso: como se ha visto en el punto anterior, a menos peso de las prótesis, más rápido se podrá mover en el espacio, aumentando la frecuencia y ayudando a la carrera.
- Elasticidad: es la capacidad de un material de sufrir deformaciones reversibles cuando se ve sometido a una fuerza, y volver a su forma original cuando esta cesa. Al

tener un funcionamiento similar al de un muelle, esta propiedad será la que defina cuánto se deformará la prótesis en la amortiguación, y por ello condicionará la forma de correr del atleta. A primera vista podría parecer que cuanto mayor sea la deformación del material, más energía se devolverá al impulsarse. Y aunque esto sea verdad, en una situación de carrera, interesa minimizar las fuerzas ejercidas en el eje vertical, que no ayudan al avance. Por otro lado, dependiendo del coeficiente de rozamiento de la pista, llegará un punto en el que la deformación en el eje vertical sea tal que la prótesis empiece a deformarse también en el eje horizontal, desplazándose hacia atrás. Esto frenará al atleta e incluso puede causarle lesiones graves, por lo que hay que asegurarse de que la prótesis nunca pueda llegar a deformarse tanto.

- Límite de elasticidad: es el punto en el que las moléculas que forman un material cambian su posición para resistir el efecto de una fuerza externa y, por lo tanto, ya no pueden volver a su forma original. Antes de llegar a este límite, sin embargo, el objeto volverá a como estaba en un principio cuando la fuerza deje de aplicarse.

A la hora de construir prótesis, hay que asegurarse de que la fuerza que aplique el atleta al correr nunca supere este límite, o la prótesis quedaría totalmente inutilizable.

- Resistencia: es la fuerza que puede soportar un material antes de romperse. Al igual que con el límite elástico, hay que asegurarse de que la fuerza realizada por el atleta no pueda superar este valor.
- Resiliencia: es la capacidad de un material para absorber energía cuando se deforma elásticamente, y luego de devolverla al recuperar su forma original. Esta es una de las

características más importantes, pues condicionará el retorno de energía de la prótesis.

- Factor de seguridad: valor que indica cuánto margen se aplica entre el esfuerzo máximo del material y el máximo teórico del caso específico en cuestión. Se calcula de la siguiente manera:

$$F.S. = \frac{\text{Límite elástico}}{\text{Esfuerzo máximo teórico}} > 1$$

En este caso nos introducimos en juego de arriesgar. Cuanto más cercano a 1 sea el factor de seguridad, mayor es la probabilidad de llegar por error al límite de elasticidad, pero mejor será el rendimiento del atleta.

En resumen, a la hora de elegir el material para fabricar una prótesis, se deberá buscar alguno con alta elasticidad, límite de elasticidad, resistencia y resiliencia, pero poco peso, y siempre teniendo en cuenta el factor de seguridad. Esta es la razón por la que en los últimos años, la fibra de carbono ha marcado el mercado de las prótesis deportivas.

Además, últimamente ha habido un gran avance en un campo de investigación que podría mejorar notablemente todas estas características: los materiales compuestos.

Materiales compuestos

Los materiales compuestos consisten en dos o más materiales mezclados (en proporciones mayores al 5%) que trabajan juntos para conseguir un resultado con propiedades superiores a las de sus constituyentes. Esto se ha estado utilizando durante siglos, por ejemplo con la creación de aleaciones como el bronce (estaño y cobre) o el latón (cobre y zinc).

Hoy en día se ha conseguido llevar esta mezcla a un nivel microscópico, consiguiendo materiales que pueden llegar a ser, comparados con el acero, cinco veces más fuertes, dos veces más rígidos y cuatro veces más ligeros. Estos se están utilizando, sobre todo, en aeronáutica, para conseguir construir aviones más grandes, pero pronto se normalizará en muchos más ámbitos. Así, se podrán aprovechar las mejores propiedades de muchos materiales en una sola pieza sin afectar significativamente al peso de la misma.

Un ejemplo práctico de las ventajas que puede traer un material compuesto se puede ver en un trabajo de Yasser Alizadeh realizado con el programa Abaqus CAE, que sirve para simular entornos físicos con distintas fuerzas y materiales. Una de las pruebas realizadas en este estudio fue simulando la acción de apoyo de un corredor de 180 cm de altura y peso 700 N (que equivale a 71,4 Kg) corriendo a una velocidad de 7 m/s. Además, para simular un caso bastante adverso se propuso una superficie totalmente rígida con un coeficiente de rozamiento de 0,25, y se le sumó al corredor una velocidad en el eje y de 0,1 m/s hacia abajo a la hora del impacto.

En cuanto al material, en una primera prueba se optó por utilizar aluminio 7068, uno de los más resistentes del mercado. Tiene un módulo de elasticidad de 68000 MPa, y un límite de elasticidad de 689 MPa. Además, se le aplicó un grosor de 5 mm, con un peso de 1,24 Kg. Después, se realizó una segunda prueba con un material compuesto de 2 mm de fibra de carbono cubierta de una capa de 1,5 mm de Kevlar por cada lado (manteniendo el grosor de 5mm). Esto subió el límite de elasticidad a 741 MPa, y bajó el peso a 0,593 Kg.

Con todo esto, se asumió un tiempo de apoyo de 0,14 segundos y se estudiaron las tensiones sufridas por las distintas partes de la prótesis a lo largo de ese tiempo. Los resultados muestran varios datos interesantes.

- Por un lado, la tensión máxima registrada (de 465 MPa) vista en la figura 4 está muy lejos del límite de elasticidad de cualquiera de los dos materiales (que eran 689 MPa y 741 MPa), por lo que no será un problema.

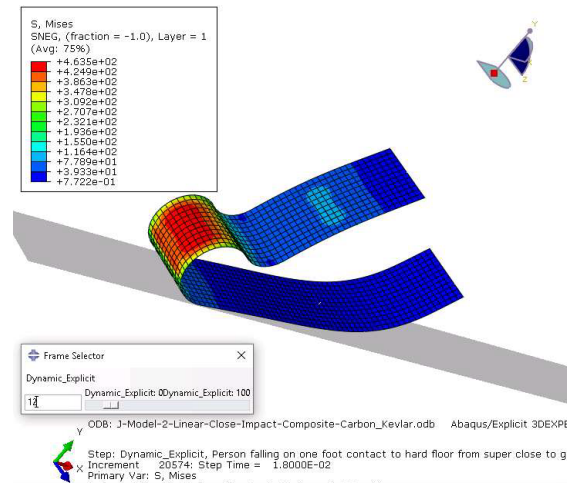


Figura 4: máxima tensión sufrida por el modelo

- Con el aluminio 7068, tras 165 mm de deformación en el eje vertical, esta pasaba a horizontal, por lo que había que asegurarse de nunca llegar a ese límite. Esto en principio no es un problema, porque el límite es bastante alto, pero merece tenerlo en cuenta en pistas con mayor coeficiente de rozamiento o atletas más pesados.

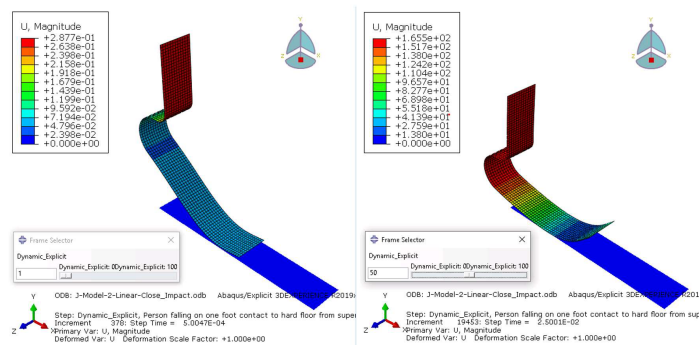


Figura 5: deformación en el eje horizontal del modelo

- En los demás aspectos, los resultados entre ambos materiales fueron bastante parecidos, demostrando que el material compuesto consigue las mismas propiedades minimizando drásticamente el peso.

4.3 Accesibilidad

Actualmente, las prótesis deportivas suelen costar entre diez mil y treinta mil euros cada una, por lo que los deportistas con doble amputación pueden llegar a los sesenta mil. Esto hace que haya gente que no pueda permitirse competir a nivel profesional, aunque tengan potencial para llegar a posicionarse entre los mejores del mundo. Sin embargo, con el desarrollo de materiales y técnicas de producción, es probable que estos precios empiecen a bajar progresivamente, permitiendo a más gente, sobre todo en países menos desarrollados, tomar parte en el deporte paralímpico. Además, cada vez se está dando más importancia al movimiento paralímpico, lo que se puede apreciar en el creciente número de participantes a lo largo de los años (figura 6). Todo esto ayudará a que el atletismo paralímpico progrese a mayor velocidad.

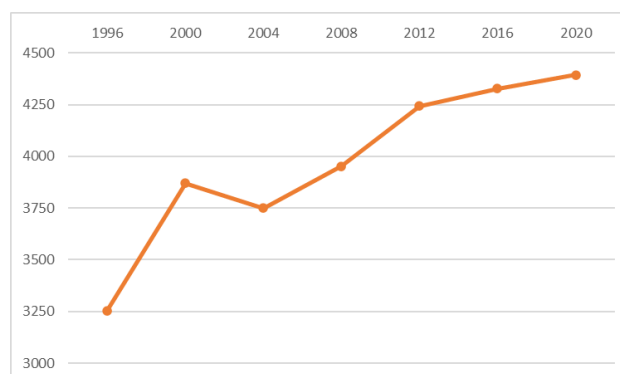


Figura 6: Participantes en los Juegos Paralímpicos desde 1996

5. Leyes antidopaje. Límites de las prótesis

Además de las leyes antidopaje aplicadas a los atletas olímpicos, en las paralimpiadas existen limitaciones que conciernen a todo el material utilizado. Estas están definidas dentro del Manual del Comité Paralímpico Internacional (IPC por las siglas en inglés), sección 2, capítulo 3.10, y siguen los siguientes principios:

- Seguridad, tanto para los propios usuarios como otros competidores, o cualquier elemento del entorno.
- Imparcialidad, el atleta no puede recibir ninguna ventaja del equipo que resulte injusta para otros competidores.
- Universalidad, que el material utilizado, o al menos los componentes principales, estén disponibles para todo el mundo. Para ello, los deportes dentro del movimiento paralímpico tienen la responsabilidad de financiar el desarrollo de equipo globalmente accesible.
- Destreza, por la que el equipo no debe influenciar en el rendimiento del atleta, que deriva sólo de su esfuerzo muscular. Esto permite aquella tecnología que devuelva energía, pero no cualquier pieza que almacene o genere la misma.

El principal objetivo de estas restricciones es asegurarse de que el material utilizado no ofrezca ninguna ventaja especial, por la que un atleta paralímpico rindiese mejor que uno completamente sano con sus mismas características. Ayudar a competir, pero que la máquina no supere la naturaleza humana.

Dentro del atletismo se aplica, sobre todo, el principio de destreza, que evita el uso de motores, compensadores, o sistemas para ayudar en el equilibrio a la hora de correr. Esto se tiene que tener muy en cuenta a la hora de diseñar las prótesis, ya que limitará el tipo de materiales utilizados y su forma. Además, durante la competición no se pueden utilizar sustancias que ayuden a lidiar con el posible dolor causado por la prótesis, lo que obliga a incluir mecanismos para proteger el muñón.

Esto ya implica un cambio en la gráfica mostrada al principio. Hablando de conjuntos, los atletas paralímpicos podrían igualar a los olímpicos, pero nunca superarlos, pues se rompería la filosofía de este tipo de deporte.

Sin embargo, estas leyes pueden cambiar a lo largo de los años, tanto para beneficio como perjuicio de los atletas paralímpicos. Como se ha visto en el capítulo 3, estos atletas tienen diferentes ventajas y desventajas notables a la hora de correr. El problema radica en si las ventajas que obtienen en ciertos campos para compensar las pérdidas en otros se consideran dentro del espíritu paralímpico. Aquí, sin embargo, es bastante más fácil igualar las ventajas que las desventajas, y el concepto de espíritu paralímpico es algo subjetivo. El principio de no superar la naturaleza humana no está claro si es en aspectos concretos o sobre el atleta en su conjunto, por lo que el IPC bien podría cambiar el reglamento en años venideros. Otro futuro posible es que el Tribunal de Arbitraje Deportivo acabe revisando todos los casos particulares, y sea quién decida qué atletas obtienen demasiada ventaja. Entonces el atletismo paralímpico se convertiría en una competición por llegar al límite donde se consigue la máxima ventaja posible pero se sigue permitiendo el material, por lo que el espíritu paralímpico se vería completamente quebrantado.

Por otro lado, si observamos cómo ha tratado estos casos el IPC a lo largo de la historia, en general se ha centrado en igualar al atleta en su conjunto, tomando en cuenta cualidades

como la velocidad máxima que puede alcanzar. Esto hace más fácil que se acepten mejoras en el campo de la aceleración de los atletas paralímpicos, donde reciben solo una gran desventaja, que en la carrera, donde de mejorarse las desventajas habría que reducir las ventajas. Aunque, en general, las mejoras realizadas sobre la aceleración del atleta influirán también a la carrera, lo que complica aún más las cosas.

6. Discusión

Este trabajo se ha centrado en estudiar los principales factores que podrían influir en la inclusión de los atletas paralímpicos en los juegos olímpicos, más específicamente en aquellos utilizando prótesis transtibiales. Primero, se ha observado cómo sería una buena técnica de carrera, de donde se deduce que estos atletas sufren desventaja sobre todo en el proceso de aceleración. También se ha investigado la tecnología usada al construir prótesis, tanto en la forma como en la composición, lo que ha llevado a predecir que el gran desarrollo de los materiales compuestos podría ayudar mucho en el deporte paralímpico. Después, se ha hablado de la accesibilidad a este tipo de deporte, y cómo influirá en él el abaratamiento de la tecnología implicada. Por último, se ha indagado en las normas del IPC, y cómo estas podrían frenar la igualdad entre deportistas olímpicos y paralímpicos.

Sin embargo, el único factor que se ha mantenido constante a lo largo de la investigación es el hecho de que existen demasiados factores que influyen en este tema. Tanto el desarrollo científico como las posibles reglas creadas por los humanos son altamente impredecibles, lo que hace que dar una fecha exacta sea imposible.

7. Conclusión

Para que los atletas paralímpicos puedan competir contra los olímpicos en la prueba de los 100 metros lisos, será necesario conseguir superar el obstáculo que presenta la fase de aceleración para los atletas con prótesis. Es altamente probable que los materiales compuestos tengan la capacidad, según se vayan desarrollando, de ayudar en este campo, aunque de formas actualmente no aceptadas por el IPC. Esto nos lleva a pensar que la fecha inicialmente propuesta de 2048 no sirve de referencia, ya que la inclusión de los atletas paralímpicos en las Olimpiadas dependerá en su mayoría de la revisión del reglamento sobre el equipo material. Y la reacción del IPC ante este asunto es muy impredecible.

8. Futuras líneas de investigación

Futuros estudios en esta materia podrían incluir análisis sobre otras distancias, en especial 200 y 400 metros. También se podría introducir este concepto en otras pruebas paralímpicas, o incluso en otras competiciones.

9. Bibliografía

(2012, 3 de agosto). El IBV señala que es muy difícil determinar si Pistorius corre con ventaja.

Deportes. La Información.

https://www.lainformacion.com/deporte/el-ibv-senala-que-es-muy-dificil-determinar-si-pistorius-corre-con-ventaja_eu2VilBhTuguAe2xcJxeg/?autoref=true

Carlos Alberto Cordente Martínez. Profesor de la Maestría de Atletismo del INEF, UPM (2017). *Técnica de carrera*. YouTube.

https://youtube.com/playlist?list=PLeAjNgpg_WfPwgZFe-bM8FhBnNfjL5CkR

Comité Paralímpico Español (2018). *ESP 2018 Normativa y Reglamento de Clasificación de la Discapacidad para el Deporte de World Para Athletics_0*.

https://www.paralimpicos.es/sites/default/files/inline-files/ESP%202018%20Normativa%20y%20Reglamento%20de%20Clasificaci%C3%B3n%20de%20la%20Discapacidad%20para%20el%20Deporte%20de%20World%20Para%20Athletics_0.pdf

Comité Paralímpico Internacional (2003). *IPC Policy on sport equipment*.

https://www.paralympic.org/sites/default/files/document/120203164107739_Sec_ii_Chapter_3.10_IPC_Sport_Equipment_Policy.pdf

Comité Paralímpico Internacional (2022). 9. Para Athletics. *Paris 2024 Paralympic Games qualification regulations*.

https://www.paralympic.org/sites/default/files/2022-06/2022_06_10%20Paris%20QR_v1.pdf

f

Imagen 3. *Pie Flex-Foot Cheetah Össur.*

<https://www.ortopediagarciaferriz.com/es/product/6726294-pie-flex-foot-cheetah-ossur>

Imagen 4. *Pie Sprinter 1E90 Otto Bock*

<https://www.ortopediagarciaferriz.com/es/product/6726286-pie-sprinter-1e90-otto-bock>

Juegos Olímpicos. Resultados. Juegos Olímpicos - Juegos de Verano e Invierno, JOJ y Paralímpicos . Consultado el 10/4/23 de <https://olympics.com/es/olympic-games>

Juegos Paralímpicos. Resultados. Comité Paralímpico Internacional. Consultado el 10/4/23 de <https://www.paralympic.org/es>

Leopoldo German Ramos Leguel (2017, marzo). *Diseño conceptual de una prótesis deportiva de miembro inferior.* México: UNAM. Facultad de Ingeniería. Tesis de Licenciatura en Ingeniero Mecatrónico.

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/12631/Tesis%20Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Manuel Javier Rosel Solís (2018, 3 de febrero). *La manufactura aditiva y los materiales compuestos en el diseño de prótesis transtibiales de uso deportivo.* Universidad Autónoma de Baja California.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7989822>

Running prostheses. Prosthetic running. Consultado el 25/4/23

<https://www.prostheticrunning.com/runningprostheses>

Track&FieldNews. *Olympic Games Qualifying Standards*.

https://trackandfieldnews.com/wp-content/uploads/2018/03/ogqualifying_standards.pdf

Yasser Alizadeh (2020). *Design and Structural Analysis of Composite Prosthetic Running Blades for Athletes: A case of dynamic explicit analysis using Abaqus CAE*.

https://www.researchgate.net/publication/342336561_Design_and_Structural_Analysis_of_Composite_Prosthetic_Running_Blades_for_Athletes_A_case_of_dynamic_explicit_analysis_using_Abaqus_CAE