

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad De Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Laboratorio de prótesis

Practica 3

Metodología Utilizada para los Tipo de Moldes para la construcción

“Prótesis de Pierna “

Equipo#2 Gpo 319

1411600	Felipe de Jesús Mireles Flores
1799381	Aldo Fabian Lopez Leal

Guadalupe N.L. a 07 de octubre de 2022

Índice

Estado del Arte	3
Nombre y Definición de la forma Geométrica.....	10
Propuesta del Diseño de la Geometría alcances y Limitaciones	11
Especificación del desarrollo utilizada en los moldes para su construcción	23
Conclusiones	31
Bibliografía	32

Estado del Arte

A través de los años desde cuando la humanidad desarrolló tecnología capaz de ayudar a diferentes aspectos de nuestras vidas, facilitando ya sea el trabajo, la salud o simplemente el confort de la persona. En cuanto a la salud el avance en la producción de prótesis proporciona cada vez más el uso de éstas, ya que en años anteriores al ser muy costosos no se los utilizaban.

Uno de los aspectos más importantes para el desarrollo de las prótesis hoy en día es el avance en robótica, así como también el resurgimiento de la Bioingeniería como una parte de la medicina moderna, impulsando no solo el uso de estas sino también que se mejorara el estilo de vida de la persona que usa una de estas.

DESARROLLO

Las prótesis de piernas surgen como problema de movilidad para personas que han sufrido daños en sus extremidades, pero ¿Cuáles son los problemas más comunes para estos estados? Las amputaciones son la principal causa para este efecto, pero las amputaciones no siempre tienen un mismo origen ya que algunas vienen por causa de malformaciones o por traumatismo. Aquí están las principales causas.

Insuficiencia Vascular: Representa la causa más común en las amputaciones, pueden mencionarse la arteriosclerosis, la angiopatía diabética, enfermedad de Büerguer y enfermedad de Raynaud.

Traumatismo y sus secuelas: la región puede estar lesionada en forma tan evidente que haga imposible la supervivencia, fracturas complicadas, falta o mala consolidación, heridas penetrantes con lesión vascular, congeladuras y quemaduras.

Lesiones tumorales: puede representar la única salvación ante la presencia de sarcomas, carcinomas, etc.

Trombosis y embolias: Cuando son causa de necrosis secundaria.

Infecciones: ya sea aguda o crónica que no responde al tratamiento de esta gangrena gaseosa es la más fulminante, osteomielitis, tuberculosis de huesos y articulaciones.

Trastornos tróficos: dados por las lesiones nerviosas como la enfermedad de la lepra, lesiones y neoplasias medulares.

Malformaciones congénitas: Las amputaciones de un miembro deben ser consideradas solo cuando la extremidad no tiene ninguna función, ya que al amputarla facilitaría la colocación de la prótesis.

Una vez mostrada las posibles causas ahora nos centraremos en la ciencia con la que se desarrollan las nuevas tecnológicas de las prótesis.

Bioingeniería

La bioingeniería o la Ingeniería Biológica trata acerca de todo un mundo sobre la relación entre la biología y sus aspectos, con la ingeniería y sus procesos y viceversa, trata sobre la perfecta interacción entre estos dos campos de estudios.

La relación entre estas dos ciencias nos ayuda a desarrollar desde un punto de vista de ingeniería, nuevos dispositivos basados en sistemas biológicos, en este marco nos centramos para el desarrollo de las prótesis ya que se establece una pérdida de un miembro para la obtención de un elemento creado sintéticamente para sustituir la extremidad. [10]

Ahora ya mucho más empapado sobre el tema nos abriremos paso hacia el mismo, comenzamos por los tipos de prótesis:

Tipos de Prótesis

Existen tres grandes grupos de prótesis para extremidades inferiores.

Prótesis para amputaciones del pie o partes del pie.

Estas prótesis son básicamente utilizadas para la comodidad del paciente ya que facilita el movimiento [17]



Figura 1 Prótesis de Pie

Prótesis para amputaciones por debajo de la rodilla

Estas prótesis están constituidas como se muestra en la figura 2 de Pie, Tobillo, Pierna, el encaje y el sistema de suspensión. [17]

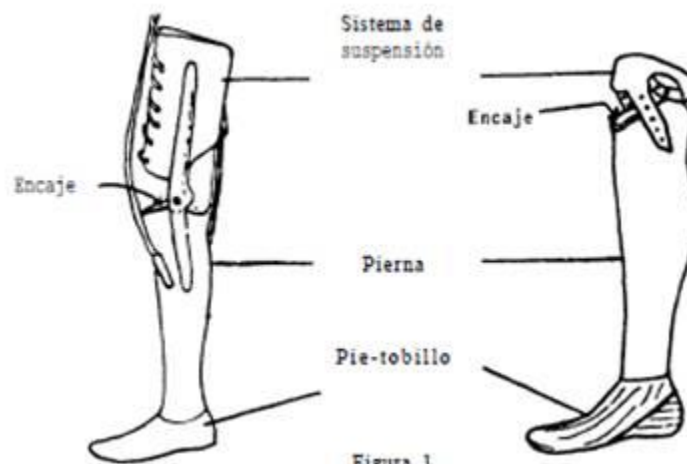


Figura 2 Partes de Prótesis debajo de Rodilla

Este tipo de prótesis podemos subdividir las en por el tipo de materiales que utiliza.

- Prótesis tipo Syme: definitiva en resina poliéster de alta resistencia que permite abertura de ventanas en sentido anterior, posterior o lateral dependiendo del estado del muñón. [4]



Figura 3 Prótesis Syme

- Prótesis convencional con Pie Sach: En este tipo de encaje como características principales encontraremos las orejas de la prótesis a un nivel medio de los cóndilos tibiales, y se sujetará a través de correas. [4]



Figura 4 Protesis Pie Sach

- Prótesis BL para amputados trans – tibiales: En este tipo de prótesis podemos utilizar 4 tipos de encajes, Tipo PTB, PTS, KBM, TSB en el tipo de encaje: P.T.B: En este tipo de encaje como características principales encontraremos las orejas de la prótesis a un nivel medio de los cóndilos tibiales, y se sujetará a través de correas. [4]



Figura 5 Prótesis Trans Tibiales

- Prótesis con sistema endolite pie multiflex: En este tipo de prótesis podemos utilizar 4 tipos de encajes, Tipo PTB, PTS, KBM, TSB en el tipo de encaje: P.T.B: En este tipo de encaje como características principales encontraremos las orejas de la prótesis a un nivel medio de los cóndilos tibiales, y se sujetará a través de correas. [4]



Figura 6 Prótesis Sistema Endolite Pie Multiflex

Prótesis de amputaciones por encima de la Rodilla

Las amputaciones por encima de la rodilla pueden producirse por diferentes causas y por tanto la indicación y la conducta a seguir deben de ser distintas. Amputaciones del tercio medio del muslo este nivel es el ideal para la colocación de la prótesis, aunque existen algunas variaciones de acuerdo con las características de cada individuo. [17]



Figura 7 Prótesis Encima de Rodilla

Materiales Utilizados

- Material termoplástico

Se los utiliza mucho ya que se cuenta con un plástico muy resistente. . [12]



Figura 8 Protesis con Material Termoplástico

- Silicona

Sirven básicamente para la sujeción de la extremidad con la prótesis. . [12]



Figura 9 Silicona como sujeción

- Metales

Se los utiliza ya que son muy resistentes a golpes y otros son muy livianos, dadas los sin números de aleaciones que existen de estos podemos gozar de un material mucho más resistente y liviano que el plástico. [12]



Figura 10 Prótesis con material Metálico

- Forros

Se los utiliza en la suspensión de la extremidad con la prótesis. Al ser térmica permite ser moldeada con el calor.



Figura 11 Forro como Suspensión de la Extremidad

Nombre y Definición de la forma Geométrica

PRÓTESIS. La prótesis es una extensión artificial que reemplaza o provee una parte del cuerpo que falta por diversas razones. La figura 3 muestra un ejemplo de prótesis, en ese 21 caso por amputación transtibial. Su objetivo principal es brindar a las personas que las utilizan la oportunidad de recuperar en un alto porcentaje su movilidad, autonomía y estética; en sí, mejorar su calidad de vida.



Prótesis de Pierna y Pie

EVOLUCIÓN EN EL DISEÑO DE PRÓTESIS.

El inicio y desarrollo tecnológico desde el punto de vista protésico se da con el advenimiento de la Revolución Francesa, los procesos aislados de diseño y construcción de prótesis fueron aumentando. Una de las razones fundamentales de este avance, fue el aporte que las técnicas antisépticas, introducidas por Lister en 1867 que aumentaron considerablemente el porcentaje de supervivencia de los amputados. Alrededor del año 1800, James Pott de Londres, diseñó una prótesis sobre rodilla, con pantorrilla de madera, articulación de rodilla en acero, con pie articulado, en la que se vinculaba la rodilla con el pie a través de cables; también poseía un cono de enchufe definido. Esta prótesis fue utilizada y popularizada por el Marqués de Anglesey, quién perdió su pierna en la Batalla de Waterloo. Su mecanismo era tal, que al flexionarse la rodilla, causaba la dorsi-flexión del pie.

El diseño de prótesis ha evolucionado e innovado con base en el desarrollo de la ciencia y la tecnología. Tiempo a tras se utilizaban prótesis elaboradas con madera; hoy en día, se han desarrollado nuevos diseños antropométricos y biomecánicos, que han ido evolucionando las prótesis en su forma y contenido, son elaboradas entre otros materiales en aluminio y materiales compuestos como la fibra de carbono, debido a sus propiedades físicas que las hacen más flexibles y resistentes, al mismo tiempo prácticas y de poco peso, sus costos tienen tendencia a disminuir lo que las hace más accesibles para las personas que requieren de ellas.

Diseño y prótesis de Pierna Y pie



CLASIFICACIÓN DE PRÓTESIS

El avance que ha tenido la tecnología en estos últimos años y a la misma necesidad del ser humano por buscar una buena calidad de vida, ha sido factor fundamental para que se hayan creado una gran variedad de prótesis, de diferentes tipos, forma, ubicación en el cuerpo humano, movilidad, entre otras cosas.

A continuación, se presentará una de las tantas clasificaciones de tipo de prótesis que existen en la actualidad.

- Prótesis bucales
- Prótesis cosmética facial
- Prótesis somáticas
- Prótesis internas
- Prótesis mecánicas

En el presente trabajo de investigación se realiza el modelado de una prótesis de pierna bajo rodilla y pie básico (Prótesis transtibial).

La prótesis transtibial a modelar no contiene articulaciones, como la que se muestra en la figura de abajo, esta prótesis cuenta con tres elementos básicos:

- Socket o encaje.
- Pilar o tubo de soporte.
- Pie



El socket o encaje es la parte que realiza la conexión entre el paciente y la prótesis, teniendo contacto con el muñón. El socket se realiza haciendo un molde del paciente con el objetivo de que éste sea lo más cómodo y personalizado posible. La correcta adecuación del socket con el muñón logra una buena distribución de presión y evita la formación de alteraciones en la piel que puedan llegar a molestar al paciente.

El pilar es el elemento encargado de unir la parte no amputada con el pie,

normalmente este elemento es el que le da la altura adecuada a la prótesis en función a la estatura de la persona que la utiliza, se la elabora en materiales como aluminio, fibra de carbono, titanio

El pie es el elemento de apoyo de la prótesis en el suelo. Existen una gran cantidad de pies en el mercado dependiendo el nivel de funcionalidad deseado, pueden ser:

- Pie Básico
- Pie de Respuesta Dinámica
- Pie de Alto Desempeño

El pie básico solamente sirve como apoyo mas no como una ayuda al momento de realizar actividades; el pie de respuesta dinámica sirve como apoyo y tiene elementos mecánicos que ayudan a los usuarios a realizar sus actividades, por lo general con sistemas de acción y reacción; y el pie de alto desempeño sirve como apoyo, ayuda al usuario a realizar sus actividades (actividades con una demanda de esfuerzo mayor a lo normal como correr y saltar) con sistemas mecánicos o geometrías especiales y materiales compuestos que proporcionan a la prótesis características técnicas adecuadas para realizar este tipo de trabajos.

Propuesta del Diseño de la Geometría alcances y Limitaciones

Al realizar el diseño de una prótesis se deben considerar varios factores y criterios a fin de satisfacer los requerimientos de su usuario; así también, tener conocimiento a fondo de mecanismos y sus elementos y criterio en la utilización de éstos.

En el presente trabajo de investigación se procede al prototipado e impresión 3D de una prótesis transtibial, para este efecto se emplearán programas que faciliten el modelado y la selección de los materiales adecuados para su impresión.

AUTODESK INVENTOR

Es un programa de diseño asistido por computadora para modelado paramétrico de sólidos en 3D producido por la empresa de software Autodesk, permite construir y probar montajes de modelos extensos y complejos en computadoras personales.

Autodesk Inventor se basa en técnicas de modelado paramétrico, esto permite crear piezas que se pueden combinar en ensamblajes con lo que se logra diversas variantes. Inventor como modelador paramétrico, no debe ser confundido con los programas tradicionales de CAD, se utiliza en diseño de ingeniería para producir y perfeccionar productos, mientras que en programas como Autocad se conducen solo las dimensiones.

Un modelador paramétrico permite modelar la geometría, dimensión y material de manera que, si se alteran las dimensiones, la geometría actualiza automáticamente basándose en las nuevas dimensiones, esto permite que el diseñador almacene sus conocimientos de cálculo dentro del modelo. Inventor también tiene herramientas para la creación de piezas metálicas.

Los bloques de construcción cruciales de Inventor son las piezas, éstas se crean definiendo las características, que a su vez se basan en bocetos (dibujos en 2D), la ventaja de este diseño es que todos los bocetos y las características se pueden corregir más adelante, sin tener que hacer de nuevo la partición entera.

Las piezas elaboradas, como parte final del proceso, se conectan para hacer ensamblajes, estos pueden consistir en piezas compuestas u otros ensamblajes. Las piezas son ensambladas agregando restricciones entre las superficies, bordes, planos, puntos y ejes. Otras restricciones incluyen coincidencia, nivelación, inserción, ángulo, tangente, transicional, movimiento, sistema de coordenadas de usuario. Este método de modelado permite la creación de ensamblajes muy grandes y complejos, especialmente porque los sistemas de piezas pueden ser puestos juntos antes de que se ensamblen en el ensamblaje principal; algunos proyectos pueden tener muchos sub-ensamblajes parciales.

Inventor utiliza formatos específicos de archivo para las piezas (.IPT), ensamblajes (.IAM), vista del dibujo (.IDW y .DWG) y presentaciones (IPN), pero el formato del archivo de AutoCAD .DWG puede ser importado/exportado como boceto.

Las últimas versiones de Inventor incluyen funcionalidades que poseían muchos modeladores 3D de mediano y alto nivel. Utiliza el Gestor de Formas (Shape Manager) como su kernel de modelaje geométrico, el cual pertenece a Autodesk y fue derivado del kernel de modelaje ACIS. Además, incluye, en la versión professional, las herramientas necesarias para crear piezas de plástico y sus respectivos moldes de inyección. Cuenta también con análisis de tensiones por elementos finitos y análisis dinámicos. Creación y análisis de estructuras, piping y cableado, y las tecnologías iPart, iAssembly, iMates, iCopy, iLogic hacen que el diseño sea más rápido y eficiente. Su combinación con Autodesk Vault y Autodesk 360 la hacen líder en el mercado del diseño mecánico. Inventor está disponible en dos "modelos": Autodesk Inventor Series (AIS) y Autodesk Inventor Profesional (AIP).

El AIS incluye todas las herramientas que modelan paramétricas básicas. Estas herramientas incluyen las herramientas de la creación de

la pieza, del ensamble, del dibujo y de presentaciones; herramientas de la lámina metálica; conjuntos soldados; creación, manipulación, y herramientas de reparación de superficies; e inventor Studio. El AIS también provee del usuario la capacidad de utilizar AutoCAD, AutoCAD software de escritorio mecánico, y de Autodesk y software de PDM. Como parte de su estrategia empresarial, Autodesk lanza las llamadas SUITES que incluyen variedad de productos entre los que se encuentran 3DStudio, Showcase, Navisworks, Publisher y tantos otros dependiendo de la suite. (https://es.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Inventor)

CES EDUPACK

Es un software informático que permite interactuar en el mundo de la ciencia e ingeniería de los materiales para la ingeniería, la ciencia, el procesamiento y el diseño. Está disponible en Standard, Aeroespacial, Energía, Polímeros, Desarrollo Sostenible, Bio Ingeniería, y otras ediciones.

Un recurso único de enseñanza para los materiales tiene su origen en el trabajo del Profesor Mike Ashby y sus colegas de la Universidad de Cambridge. EduPack ha sido ampliamente desarrollado por Granta Design en colaboración con el Profesor Ashby y una creciente comunidad de educadores en 1.000 universidades y colegios de todo el mundo.

Cuenta con bases de datos integral de propiedades técnicas, de procesos, de información económicos y ambientales y ejercicios prácticos, en varios niveles de complejidad. Los temas incluyen polímeros, ecodiseño, la arquitectura, la industria aeroespacial, de bajo consumo de carbono, sistemas de almacenamiento de energía, materiales bio, y el desarrollo sostenible. Enlaces a recursos en la red (por ejemplo, manuales ASM) de soporte investigación en profundidad.

El software CES EduPack hace que sea rápido y fácil de explorar esta información, la creación de un ambiente de aprendizaje muy eficaz. Herramientas de gráficos y de selección integrados ayudan a explorar el espacio material. Una metodología

estructurada está incrustado, lo que permite a los usuarios comparar materiales y procesos y ejercicios de selección de materiales completos. Las herramientas adicionales incluyen la herramienta Eco Auditoría, que presenta los conceptos clave en el diseño ecológico y el costo del ciclo de vida, y el híbrido de sintetizador, que explora las propiedades de nuevos materiales compuestos.

En el presente trabajo de investigación se emplea el software informático CES EduPack 2015.

MATERIALES COMPUESTOS.

El adelanto de la humanidad, desde varias perspectivas, ha estado ligado al descubrimiento, desarrollo y perfeccionamiento de los materiales. Entre otros, el cobre, el aluminio, el hierro y sus aleaciones, han y permiten al hombre construir herramientas, equipos y maquinas altamente sofisticadas. Sin embargo, para la construcción de piezas y elementos de máquinas se requiere que los materiales posean características entre otras como baja densidad, alta resistencia mecánica, alto rendimiento a altas temperaturas, por lo que los materiales mencionados se encuentran restringidos para ser utilizados.

El desarrollo científico y tecnológico en la ciencia e ingeniería de materiales investiga y desarrolla materiales compuestos que poseen características especiales. Éstos materiales no son ajenos a la naturaleza, por ejemplo, la madera está compuesta por fibras de celulosa que se unen entre sí mediante una matriz de lignina.

Los materiales son sustancias que en base la estructura de su composición obtienen sus propiedades y en relación con éstas se clasifican en: Metales, cerámicos, polímeros, compuestos.

De acuerdo con Donald R. Askeland, los materiales compuestos se producen al unir dos o más materiales base mediante una matriz para lograr una combinación de propiedades que no pueden ser obtenidas en los materiales originales. Los compuestos pueden ser metal – metal, metal – cerámica, metal – polímero, cerámica – cerámica, o polímero – polímero; éstos a su vez se clasifican en tres

categorías dependiendo de la forma de los materiales, en: con partículas, con fibras y laminares (Askeland, 2001).

En todo material compuesto se distinguen dos componentes: La matriz que constituye la fase continua y actúa como ligante, y el refuerzo que es elemento resistente y se encuentra en fase discontinua.

Por el tipo de matriz que los une, los materiales compuestos se clasifican en:

- Matriz metálica o MMC (Metal Matrix Composites)
- Matriz cerámica o CMC (Ceramic Matrix Composite)
- Matriz de carbón
- Matriz orgánica o RP (Reinforced Plastics)

MATERIALES COMPUESTO-REFORZADOS POR FIBRAS.

Estos materiales compuestos mejoran su resistencia al esfuerzo, a la fatiga, la rigidez y la relación resistencia – peso, a través de la introducción de fibras fuertes, rígidas y frágiles dentro de una matriz más

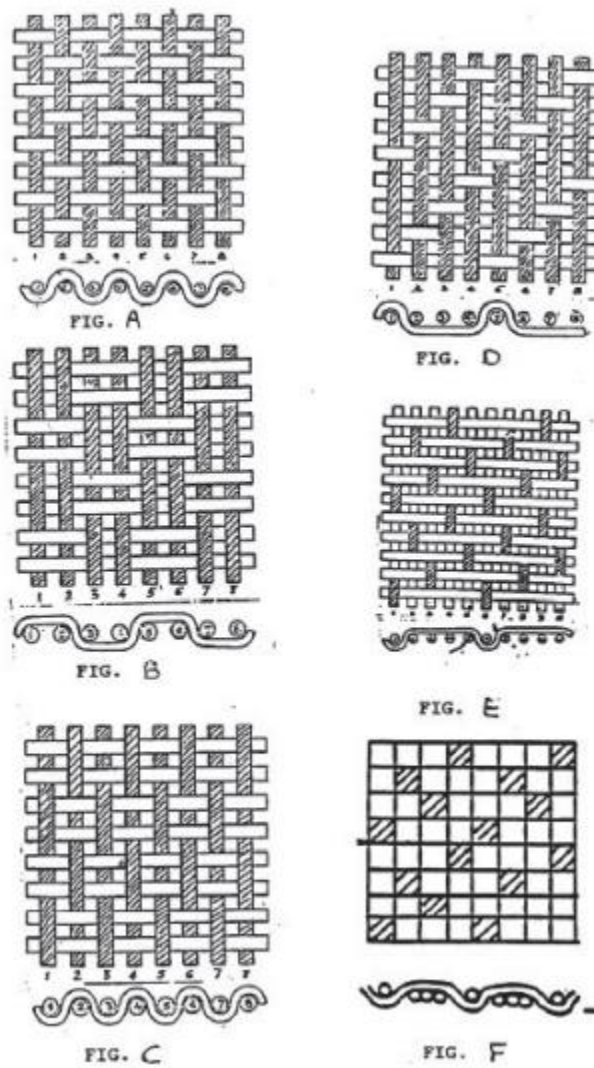
33

blanda y dúctil. El material de la matriz transmite la fuerza a las fibras y proporciona ductilidad y tenacidad, mientras que las fibras soportan la mayor parte de la fuerza aplicada (Askeland, 2001).

La resistencia a los esfuerzos de un compuesto reforzado por fibras depende de la unión entre ellas y la matriz y se encuentra limitada por la deformación de esta última. De igual manera, la resistencia también está en función de la dirección de las fibras y carga aplicada; así, materiales compuestos de fibras unidireccionales presentan resistencia y rigidez óptimas cuando la carga aplicada es paralela a la dirección de las fibras, pero sus propiedades son muy anisotrópicas y a fin de mejorar éstas se puede utilizar fibras colocadas de una manera ortogonal o en capas cruzadas, esto reduce la resistencia máxima en beneficio de lograr propiedades más uniformes en el compuesto.

Los materiales compuestos reforzados con fibras tienen varios tipos de tejidos y estos se pueden clasificar de la siguiente manera, como se muestra en la figura:

- Tafetán (A)
- Esterilla (B)
- Semiesterila (C)
- Sarga (D)
- Raso (E)
- Satén de espiguilla (F)



Tipos de tejidos en materiales compuestos reforzados con fibras

FIBRA DE CARBONO (FC)

“La fibra de carbono es una fibra sintética constituida por finos filamentos de 5–10 μm de diámetro y compuesto principalmente por carbono. Cada filamento de 35 carbono es la unión de muchos miles de fibras de carbono. Se trata de una fibra sintética porque se fabrica a partir del poliacrilonitrilo”

(http://es.wikipedia.org/wiki/Fibra_de_carbono)

En la figura siguiente se puede apreciar un tipo de tejido con fibra de carbono.



En la figura siguiente se muestran las propiedades de la fibra de carbono.

Propiedades generales

Densidad	1,5e3	-	1,6e3	kg/m ³
Precio	* 37,4	-	41,6	USD/kg
Fecha de primer uso ("-" significa AC)	1963			

Propiedades mecánicas

Modulo de Young	69	-	150	GPa
Modulo a cortante	28	-	60	GPa
Módulo en volumen	43	-	80	GPa
Coefficiente de Poisson	* 0,305	-	0,307	
Límite elástico	550	-	1,05e3	MPa
Resistencia a tracción	550	-	1,05e3	MPa
Resistencia a compresión	440	-	840	MPa
Elongación	* 0,32	-	0,35	% strain
Dureza-Vickers	* 10,8	-	21,5	HV
Resistencia a fatiga para 10 ⁷ ciclos	* 150	-	300	MPa
Tenacidad a fractura	* 6,12	-	20	MPa.m ^{0.5}
Coefficiente de pérdida mecánica (tan delta)	* 0,0014	-	0,0033	

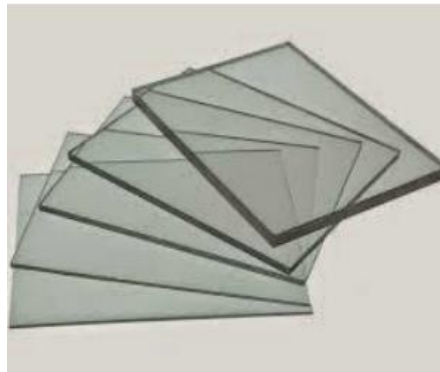
Propiedades generales y mecánicas de la fibra de carbono

La fibra de carbono tiene propiedades mecánicas similares a las del acero, cuenta

con muy alta resistencia mecánica con un módulo de elasticidad elevado y baja densidad en comparación con otros materiales como el mismo acero, presenta elevada resistencia a las variaciones de temperatura y no cambia su forma si se utiliza matriz termoestable, es resistente a la acción de agentes externos, posee una gran capacidad de aislamiento térmico.

2.5.3 POLICARBONATO (PC)

El policarbonato, figura 11 es un material del grupo de los termoplásticos desarrollados a partir de polímeros que presentan grupos funcionales unidos por grupos carbonato



Fuente: <https://www.google.com.ec/search?q=policarbonato&espv> La siguiente información ha sido tomada de: (CES Edupack, 2015) Propiedades: · Densidad: 1,20 g/cm³ · Rango de temperatura de uso: -100 °C a +135 °C · Punto de fusión: apróx. 250 °C

- Índice de refracción: 1,585 ± 0,001
- Índice de transmisión lumínica: 90% ± 1%
- Combustibilidad limitada.

Propiedades mecánicas

- Alargamiento a la Rotura: 100-150 %
- Coeficiente de Fricción: 0,31
- Dureza - Rockwell: M70
- Módulo de Tracción: 2,3 - 2,4 GPa
- Relación de Poisson: 0,37

- Resistencia a la Abrasión - ASTM D1044: 10-15 mg/1000 ciclos
- Resistencia a la Compresión: >80 MPa
- Resistencia a la Tracción: 55-75 MPa
- Resistencia al Impacto Izod: 600-850 J/m
- Tensión de Fluencia / Límite Elástico: 65 MPa
- Se raya muy fácilmente y no tiene fácil reparación a diferencia del metacrilato.

En base a las propiedades anotadas, el PC presenta alta resistencia y rigidez, posee buena característica de resiliencia (resistente a impacto), es resistente a la termo deformación, posee estabilidad dimensional (elevada resistencia a la fluencia), buenas propiedades de aislamiento eléctrico y eleva resistencia a la acción de agentes externos del medio (intemperie). Sin embargo, presenta limitadas características de resistencia a la acción de sustancias químicas, es susceptible al tallado y a fisuras por esfuerzos y a la hidrólisis.

El PC, al interior de sus múltiples usos, en ingeniería mecánica es utilizado entre otros para la producción de componentes para los neumáticos, vasos de filtros, cubiertas de protección, vivienda, filtros, válvulas, chasis, pulsadores y piezas para la máquina de coser.

Especificación del desarrollo utilizada en los moldes para su construcción

PROCESOS DE MANUFACTURA Los procesos de manufactura comprenden el conjunto de operaciones necesarias para modificar las características de la materia prima para obtener un producto terminado o semielaborado que servirá como materia prima para otros procesos ulteriores complementarios. Las modificaciones pueden ser de muy variada naturaleza como forma, dimensiones, resistencia. En el ámbito industrial, los procesos de manufactura se enmarcan en tecnología mecánica. Algunos de los procesos de tecnología mecánica comprenden: 40 · Moldeo por Inyección · Conformado · Fundición · Virutaje · Tratamientos térmicos · Tratamientos superficiales · Nuevas tecnologías La fabricación de productos terminados incluye todos los procesos intermedios requeridos para la producción y la integración de los componentes de éstos, por tanto, el sector industrial está estrechamente relacionado con la ingeniería y el diseño industrial.

2.6.1 CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA (CNC) Las máquinas con tecnología CNC a diferencia de las máquinas convencionales o manuales, son controladas por computadoras que a través de programas desarrollados en lenguaje de Control Numérico que son los códigos G y M, controlan las funciones de movimiento de la máquina (código G) y las funciones misceláneas (código M) no de movimiento. Esto permite que las máquinas CNC realicen movimientos muy exactos. Las máquinas CNC tiene la capacidad de mover más de un eje a la vez, el número de ejes depende de la complejidad de la misma, es por eso que pueden ejecutar rutas tridimensionales para realizar trabajos avanzados, como moldes y troqueles, que son trabajos muy frecuentes en este tipo de equipos. El uso de máquinas CNC tiene muchas ventajas, ya sea en el diseño o en la misma manufactura. En el diseño, son capaces de producir prototipos precisos y en poco tiempo. En la manufactura permiten una mejor planeación de las operaciones, incrementar la flexibilidad de maquinado, reducir el tiempo de programación, mejorar el control del proceso y tiempos de maquinado, disminuir los costos por herramientas, incrementar la seguridad para el usuario, reducir el tiempo de flujo de material, 41 reducir el manejo de la pieza de trabajo, aumentar la productividad, aumentar la precisión, entre otras. Entre las máquinas CNC más utilizadas se encuentran: el torno, la fresadora, la cortadora de plasma, la cortadora por agua a presión; estas máquinas realizar trabajos de alta precisión. Para este efecto, un elemento muy importante de las máquinas CNC es el control numérico, que a través de códigos G y M controla el desarrollo del trabajo que se realiza. La secuencia lógica de órdenes indicadas mediante códigos G y M se denomina programa de maquinado. Existen máquinas que cuentan con simulación en tiempo real del trabajo que realiza el equipo, graficando en la pantalla los movimientos y cortes, lo que logra una programación más sencilla y rápida. Para realizar trabajos en que se deben controlar 2 o más ejes simultáneamente para trazar recorridos de mecanizado de piezas con mayor grado de complejidad, los lenguajes convencionales no son suficientes. Para satisfacer estos requerimientos se han desarrollado programas CAM “Computer Aided Manufacturing” que tienen la capacidad de producir códigos G a partir de la geometría de un modelo. El programa CAM es capaz de mostrar la ruta que seguirá el cortador para realizar el maquinado. Esto no permite visualizar con facilidad y tener una idea de lo que realizará el programa para poder modificarlo de una manera más sencilla. Gracias a la flexibilidad, velocidad, precisión, eficiencia y de todo lo mencionado

anteriormente acerca de la tecnología CAM, se ha implementado el mecanizado en diversas áreas de la ciencia y tecnología como por ejemplo en aplicaciones clínicas en la fabricación de prótesis, figura 13, proporcionando una buena medición, diseño, manipulación, cuantificación objetiva y manufactura automática de las piezas protésicas. 42



Metodología

Problema a solucionar Una amputación transtibial de pierna o BK (debajo de la rodilla) por sus siglas en inglés (Below the Knee) es una corte donde se remueve el pie, tobillo y una parte de la tibia y el peroné, dejando tejido suave como soporte estructural [1]. Las prótesis que sustituyen estos elementos faltantes del miembro inferior se conocen como prótesis de pierna BK. Al diseñar este tipo de prótesis desde cero, se presentan ciertos problemas de ajuste o incomodidad por parte del paciente cómo lo son mal acoplamiento del socket con el miembro restante, imposibilidad de caminar con la prótesis debido a la longitud de esta, entre otros. Esto lleva a realizar desde modificaciones pequeñas a la prótesis hasta la ejecución de un nuevo modelo. El proceso de fabricación de esta empresa es muy similar al mostrado en [2], donde se muestra una técnica implementada hace 55 años. Por esta razón, se decidió innovar el proceso aplicando mejoras que disminuyan tiempo y uso de material. Para evitar los inconvenientes mencionados anteriormente, en este proyecto se determinó un nuevo modelo de diseño para las prótesis de pierna BK para disminuir retardos, uso excesivo de material y asegurar la satisfacción del usuario. Inicialmente se evaluó el proceso de fabricación de las prótesis BK, los diferentes pasos, desde la toma del molde, hasta el laminado y pulido final de misma. Una vez terminado este proceso de evaluación, se inicia la prueba y entrega final de la prótesis de pierna. En consecuencia, se tiene en cuenta el punto de vista del usuario con relación a los ajustes, incomodidades, inconformidades, entre otras quejas o descontento que pueda tener el paciente con respecto a su producto final. La prótesis debe ser debidamente probada y verificada con medias adecuadas, caminatas con pasos largos y cortos hasta alcanzar la satisfacción final del usuario y su validación de fabricación. Los diferentes ajustes que se realicen serán tomados como acciones a mejorar en el proceso de fabricación. Al momento de la entrega de las prótesis en las que yo estuve presente a través de todo el proceso, se presentaron algunos problemas con las prótesis. Estos inconvenientes se categorizaron con el objetivo

de identificar los ajustes más comunes que se deben realizar en las prótesis BK para evitar posibles quejas, reclamos o rechazo por parte de los pacientes. Estas categorías determinan si el tipo de modificación es sencilla de corregir, por ejemplo: el ángulo del pie, o si requiere una acción más física como disminuir la dimensión del socket. Para entender un poco mejor las categorías, se puede observar la figura 1 donde se muestran las partes de una prótesis BK. Dichos problemas y sus categorías se muestran a continuación:

- **Modificación del ángulo del pie:** hace referencia al ajuste necesario para colocar el pie de la prótesis en la posición adecuada. Esta debe hacer sentir bien al usuario ayudándolo a mantener el balance durante la marcha.

Tabla I
DIAGRAMA DE GANTT

Actividades	Fases del Proyecto															
	Febrero				Marzo				Abril				Mayo			
	Semanas	Semanas	Semanas	Semanas	Semanas	Semanas	Semanas	Semanas	Semanas	Semanas	Semanas	Semanas	Semanas	Semanas	Semanas	Semanas
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Evaluación del proceso de fabricación de prótesis BK																
Establecimiento del protocolo actual de fabricación																
Identificación de las quejas más comunes por parte de los clientes al recibir la prótesis																
Identificación de los procesos y procedimientos más relevantes llevados a cabo en la fabricación y en la entrega del producto																
Categorización de los procesos de ajuste de las prótesis																
Evaluación de los procesos existentes haciendo uso del ciclo PHVA																
Análisis de las mejoras a realizar en el proceso de fabricación de prótesis BK																
Diseño de un protocolo de fabricación de prótesis BK que disminuya los ajustes o rediseños posteriores																

El ciclo PHVA empleado en este proyecto se muestra en la figura 2. Este describe las acciones que se tomaron en cada paso del ciclo: planificar, hacer, verificar y actuar. Este se utiliza como guía para mantener el enfoque de este proyecto basado en procesos. En este caso se emplea como herramienta para ayudar a mejorar el proceso actual de fabricación de prótesis BK

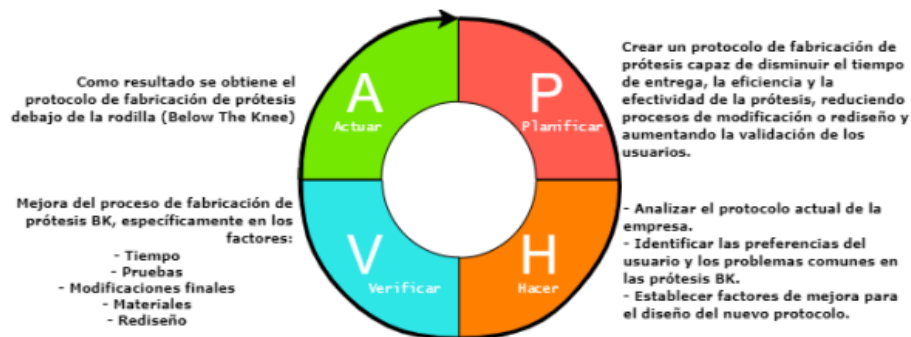


Figura 2. Ciclo PHVA aplicado en el proyecto

Para la realización de este proyecto, se inició con la evaluación del proceso anterior de fabricación realizado por la empresa. Para esto se determinó el respectivo protocolo mostrado a continuación:



Figura 3. Primer paso del protocolo actual de fabricación de prótesis BK.

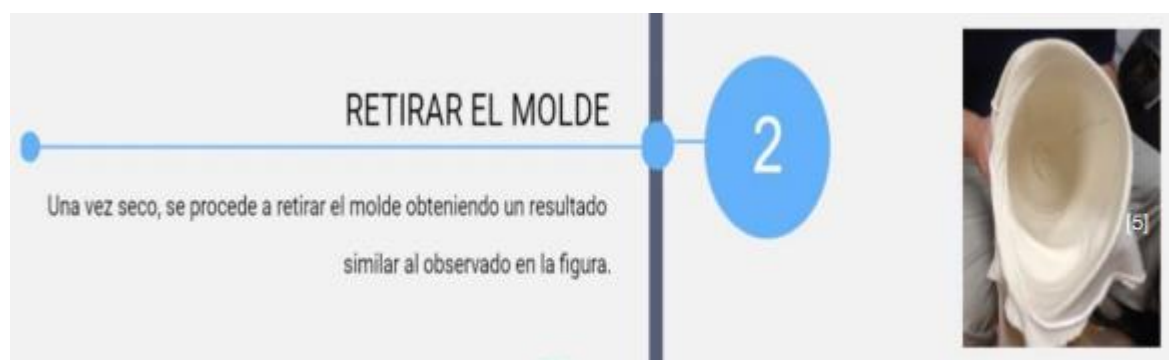


Figura 4. Segundo paso del protocolo actual de fabricación de prótesis BK.

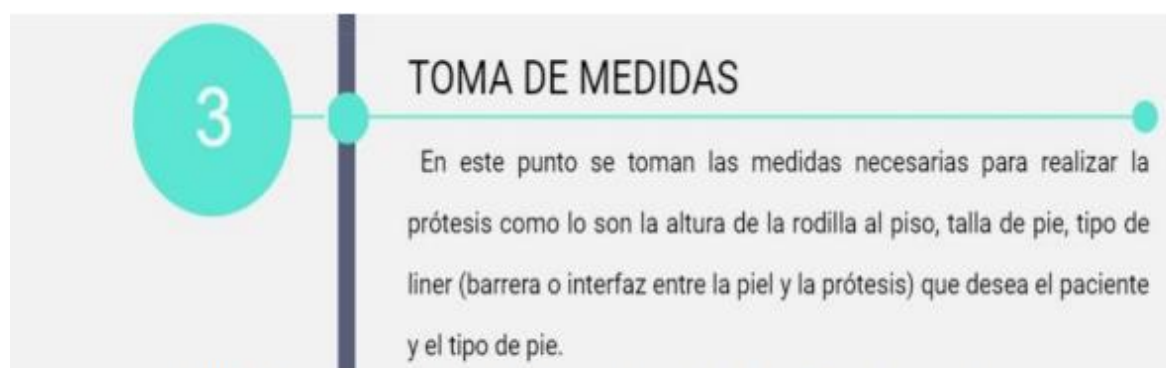


Figura 5. Tercer paso del protocolo actual de fabricación de prótesis BK.

CREACIÓN DEL MOLDE POSITIVO

4

El molde negativo se llena en su totalidad con yeso hasta secar y
desmoldar.

Figura 6. Cuarto paso del protocolo actual de fabricación de prótesis BK.



5

MODIFICACIÓN DEL MOLDE POSITIVO

Una vez se tiene el molde positivo tal como se presenta en la figura, se modifica colocan más yeso en los huesos más expuestos como la cabeza del peroné y la tibia para crear espacio entre ellos y el socket y evitar roce y dolor.

Figura 7. Quinto paso del protocolo actual de fabricación de prótesis BK.

CREACIÓN DEL LINER

6

Se crea una almohadilla que irá en el extremo inferior de la prótesis y se procede a calentar el material del liner para su creación, obteniendo un resultado como el de la imagen.



Figura 8. Sexto paso del protocolo actual de fabricación de prótesis BK.



Figura 9. Séptimo paso del protocolo actual de fabricación de prótesis BK.

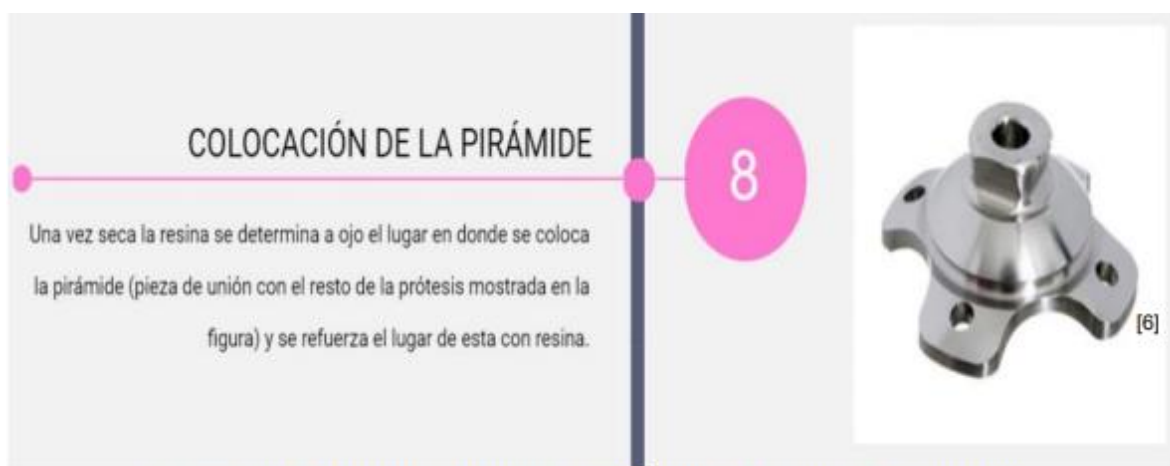


Figura 10. Octavo paso del protocolo actual de fabricación de prótesis BK.

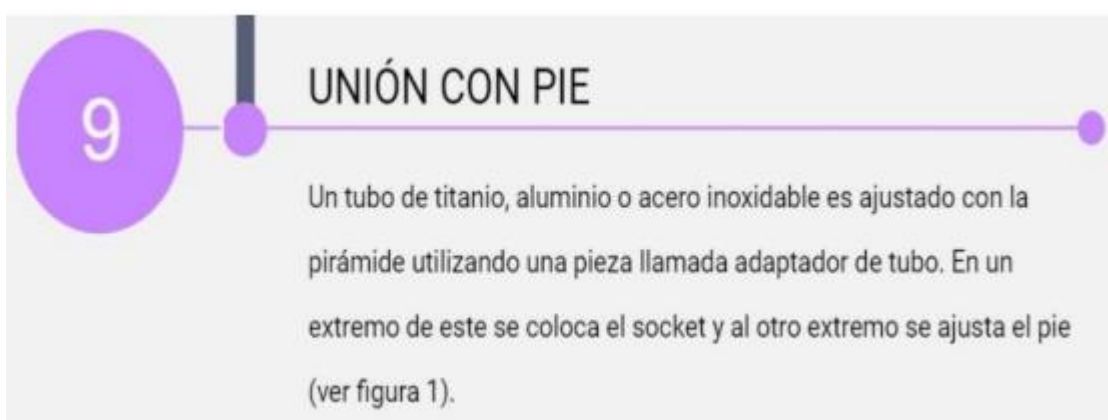


Figura 11. Noveno paso del protocolo actual de fabricación de prótesis BK.

Teniendo en cuenta el procedimiento para fabricar una prótesis BK, se observaron algunos inconvenientes post fabricación mostrados en la tabla II que disminuían la

aprobación por parte del usuario; así como también la validación de la prótesis. Estas modificaciones (tabla II) realizadas se categorizaron con el fin de ser considerados para ingeniar métodos que eviten dichos inconvenientes ocurridos y aplicar las modificaciones en el nuevo protocolo.

Tabla II
TABLA DE MODIFICACIONES REALIZADAS A LAS PRÓTESIS BK EN LA ENTREGA

	Modificación del ángulo del pie	Ajuste de la altura del tubo	Cambios en el socket	Rediseño de las prótesis BK
Prótesis 1	Con una llave hexagonal (T) especial para los tornillos de las prótesis, se ajusta el ángulo y la posición del pie. En este momento el paciente debe tener colocada la prótesis hasta que se sienta cómodo al caminar.	La longitud del tubo ocasionó una altura final mayor a la deseada, por lo que el paciente no caminaba con normalidad. Se procedió a reducir la longitud del tubo.		
Prótesis 2				En este caso, la prótesis se realizó nuevamente ya que el usuario decidió cambiar el tipo de liner por un "pin liner" el cual requiere de otro diseño en el socket.
Prótesis 3				Al momento de recortar el socket, este fue cortado muy abajo, lo que ocasionó que el paciente se sintiera inseguro al caminar ya que faltaba ajuste. En este caso se realizó un socket nuevo.
Prótesis 4	Con la llave T hexagonal, se modificó la posición del pie.	El tubo fue cortado muy pequeño. Para esta ocasión se debió utilizar un tubo nuevo y tomar nuevamente las medidas hasta encontrar la altura ideal.	El socket estaba un poco alto en la sección trasera de la rodilla. Para ello se reduce la altura de esta puliendo los bordes evitando filos o incomodidades al doblar la rodilla	
Prótesis 5			En este caso la pirámide no estaba posicionada en el lugar correcto. El paciente sintió desbalance lo que llevó a remover la pirámide del lugar y cambiar la inclinación hacia adentro.	

La siguiente tabla muestra los cambios específicos realizados al proceso de fabricación estándar realizado por la empresa, para el diseño del nuevo protocolo:

Tabla III

TABLA DE CAMBIOS APLICADOS AL PROTOCOLO CON RESPECTO AL PROCESO DE FABRICACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

Tabla III
TABLA DE CAMBIOS APLICADOS AL PROTOCOLO CON RESPECTO AL PROCESO DE FABRICACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

Proceso en la fabricación actual	Cambio aplicado al nuevo protocolo
Toma del molde negativo	Se implementa el uso de un lápiz tinta como ayuda para mayor precisión de los puntos claves del miembro restante como lo son la cabeza del peroné la rótula y la tibia.
Toma de medidas	En el nuevo protocolo se toman las del paciente y de la prótesis anterior en el caso que el paciente tenga. Se agrega también la medida de la posición de la pirámide que no se realizaba anteriormente.
Molde positivo	Se integra la inclinación de la parte posterior del socket para evitar el roce de los tendones posteriores de la rodilla.
Laminación	En el nuevo protocolo se agrega una nueva etapa de laminación para probar la prótesis en el usuario antes de terminar el socket completamente.
Ajuste de la pirámide	La pirámide se coloca en una posición pegada con resina para luego poder ser ajustada en el caso que se necesite. Esto elimina el rediseño necesario en el protocolo anterior cuando esta pieza no se colocaba en la posición correcta de acuerdo con el paciente.
Primera prueba	En este protocolo se implementa una primera prueba con la prótesis para que el paciente evalúe la posición de la pirámide, altura y posición del pie.
Laminación final	La laminación final se realiza una vez el paciente apruebe el socket y la prótesis en general para asegurar la su validación al momento de la entrega, disminuyendo la consecuencia de rediseño del aparato.

Conclusiones

Como resultado final al termino de esta practica de laboratorio de prótesis podemos observar acerca de la titánica labor que se requiere para poder fabricar una prótesis de pierna y pie, donde podemos comentar que es todo un proceso empezando desde el diseño, después de las tomas de medidas, fabricación de moldes, materiales utilizados y un sinnúmero de actividades que preceden y anteceden el proceso por lo cual se puede hablar de que se tiene que aplicar tanto conocimientos de ingeniería así como de medicina y anatomía humana, todo esto con la finalidad de tratar de compensar la perdida de una de nuestra extremidades en resumen este tipo de proyectos son de gran ayuda en nuestro día a día y nos ayuda a mejorar nuestra calidad de vida.

Bibliografía

Andrade Holguín, P. A. (2016). *Diseño y prototipado rápido de una prótesis de pierna y pie para personas con capacidades especiales* (Bachelor's thesis, Quito, 2016).

<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15640>

[1] Adams CT, Lakra A. Below Knee Amputation (BKA) [Actualizado 27 de diciembre 2019]. StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; Consultado el 19 de enero 2020. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK534773/>

[2] Foort, J. (1965). The patellar-tendon-bearing prosthesis for below-knee amputees, a review of technique and criteria. *Artificial limbs*, 9 1, 4-13.

[3] ISOTools Excellence: ¿En qué consiste el ciclo PHVA de mejora continua? (20 de febrero 2015). Recuperado el 16 de abril de 2020 de <https://www.isotools.org/2015/02/20/en-que-consiste-el-ciclo-phva-de-mejora-continua/>

[4] Zelaya, C. Guevara, M. (2002). Fabricación de Dispositivos Ortopédicos de Marcha. Ortesis Larga Tipo KAFO, Prótesis PTS Modular. Trabajo de grado de la facultad de estudios tecnológicos. Universidad Don Bosco.

[5] Speers, F. (2016, 20 de septiembre) AUTODESK Design Academy: Designing an adjustable prosthetic socket using ReMake and Fusion 360. Recuperado el 17 de abril de 2020 de <https://academy.autodesk.com/inspiration/blog/designing-adjustable-prostheticsocket-using-remake-and-fusion-360>

[6] OTTOBOCK: Socket adapter with pyramid titan. Recuperado el 27 de abril de 2020 de <https://shop.ottobock.us/Prosthetics/Lower-Limb-Prosthetics/Adapters-Structural-Components/Socket-Adapter-with-Pyramid-Titan/p/4R54>

[7] Minnoye, Sander & Plettenburg, Dick. (2009). Design, fabrication, and preliminary results of a novel below-knee prosthesis for snowboarding: A case report. *Prosthetics and orthotics international*. 33. 272-83. 10.1080/03093640903089576.

[8] Lee, Peter & Lythgo, Noel & Laing, Sheridan & Lavranos, Jim & Thanh, Nguyen. (2014). Pressure casting technique for transtibial prosthetic socket fit in developing countries. *Journal of rehabilitation research and development*. 51. 101-10. 10.1682/JRRD.2012.10.0191.

- [9] Manucharian, Stephan R. MA, MSc, CP, BOCO An Investigation of Comfort Level Trend Differences Between the Hands-On Patellar Tendon Bearing and Hands-Off Hydrocast Transtibial Prosthetic Sockets, JPO Journal of Prosthetics and Orthotics: Julio 2011 - Volumen 23 – Edición 3 - p 124-140 doi: 10.1097/JPO.0b 013e3182248bf2
- [10] Laing, Sheridan & Lythgo, Noel & Lavranos, Jim & Lee, Peter. (2017). Transtibial Prosthetic Socket Shape in a Developing Country: A study to compare initial outcomes in Pressure Cast hydrostatic and Patella Tendon Bearing designs. Gait & Posture. 58. 10.1016/j.gaitpost.2017.08.017.
- [11] Jin, Y. , Plott, J. , Chen, R. , Wensman, J. , & Shih, A. (2015). Additive Manufacturing of Custom Orthoses and Prostheses – A Review. Elsevier. Procedia CIRP, 36. doi: 10.1016/j.procir.2015.02.125
- [12] Goh, James & Lee, Peter & Chong, Sook-Yee. (2004). Comparative study between patellar-tendon-bearing and pressure cast prosthetic sockets. Journal of rehabilitation research and development. 41. 491-501. 10.1682/JRRD.2004.03.0491.