

## PRÓTESIS DE MANO ACOPLABLE AL MUÑÓN PARA MUTILACIONES PARCIALES DE MANO

*Santiago Acurio Maldonado<sup>28</sup>,  
Daniel Acurio Maldonado, Pablo Rivas Pinto*

Al producirse una amputación, el paciente puede optar por utilizar una prótesis; sin embargo, una prótesis cosmética que reduce el impacto psicológico de la amputación no permite recuperar la función de la extremidad. Por otra parte, las prótesis funcionales más difundidas son los ganchos o grafios que por su forma afectan la autoestima del paciente... sin mencionar que estas prótesis tienen un costo considerable. Por eso este trabajo combina de modo creativo el aspecto estético con el funcional para generar una prótesis suficientemente resistente y accesible que permita al paciente recuperar la movilidad y que, además, su aspecto estético incentive su uso cotidiano. A tal fin iniciamos este trabajo con el reconocimiento de los requerimientos básicos desde el aspecto psicológico y físico, así como la determinación de las dimensiones adecuadas para construir una prótesis que se adapte a cada paciente. Finalmente, se definen en él mecanismos y materiales resistentes, cómodos y ligeros que, acompañados con la impresión 3D, permitan obtener un producto personalizado a un costo razonable.

Palabras clave: prótesis, amputación, mano, dedos, impresión, 3D, prótesis de mano, mutilación parcial, impresión 3d.

---

<sup>28</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador Ambato {sacurio@pucesa.edu.ec, dacurio@pucesa.edu.ec, pablo\_707@hotmail.es}

## INTRODUCCIÓN

### *Amputaciones*

Las mutilaciones o amputaciones se definen como el procedimiento, corte, o interrupción de un miembro que involucra uno o más huesos, ya sea por un traumatismo o una cirugía (López y Hernández). Existen dos tipos de amputaciones, las cuales pueden considerarse totales si involucran la pérdida de un miembro en su totalidad; o parciales si involucran la pérdida de un fragmento del miembro donde se conservan los vasos principales y al menos el 75% de las partes blandas del miembro. Resulta relevante mencionar que las amputaciones pueden ocurrir por algún tipo de problema congénito, debidas a una enfermedad o a un traumatismo, que es la manifestación de la pérdida del miembro causada por algún tipo de accidente (Lorenzo 2009).

Este trabajo enfoca su estudio al desarrollo de un prototipo de prótesis de mano funcional que se acople al muñón de personas con mutilación parcial de mano en los dedos, y el resultado de dicho trabajo tiene como propósito ayudar al sujeto a desarrollar con mayor facilidad sus actividades diarias con acciones mecánicas y movimientos grandes propios de la motricidad gruesa, como el alcance y sostén de objetos.

### *Muñón funcional*

La prótesis será funcional únicamente si el muñón del paciente es funcional (Fernández Mendoza y Gonzáles Moreno, s.f), es decir, que para que actúe debe acoplarse a un muñón, el cual constituye una parte de tejido sobrante de la mano. Debe mantener terminaciones nerviosas activas que brinden sensibilidad al usuario del producto y que además pueda ejecutar algún tipo de movimiento capaz de generar en la prótesis otro movimiento mecánico de aprehensión. Cabe mencionar que el muñón es un fragmento que los médicos generalmente tratan de salvar tras una mutilación traumática.

### *Prótesis estéticas*

Las prótesis estéticas, llamadas también cosméticas o pasivas, tienen su origen en la antigüedad, dado que se registra el uso de una prótesis de mano datada el año 2000 a.C. en una momia egipcia, ya en la Edad

de Hierro se empezaron a fabricar prótesis para remplazar extremidades perdidas en batalla; en la actualidad, el material usual para su construcción por su costo es el PVC, aunque también se usan materiales como silicona o piel sintética. El objetivo de estas prótesis pasivas es replicar del modo más fiel la extremidad dotándole de un aspecto real para que de este modo el paciente se sienta más confiado en el desempeño de sus actividades; los métodos de producción van desde el moldeo por gravedad hasta la producción en máquinas CNC que permiten replicar la extremidad con base en un escaneo de la extremidad conservada. Al no tener características funcionales, suelen fijarse por medio de adhesivos, ajuste o succión. Los problemas usuales que presentan, además de su falta de funcionalidad, son los elevados costos de producción y su reparación en caso de un daño (Bowers, 2002).



Figura 1. Prótesis estéticas Fuente: (Bowers, 2002)

### *Prótesis funcionales*

Las prótesis funcionales son aquellas que pueden usarse para un fin determinado o brindan aportes a la ejecución de una actividad, y por su accionamiento se dividen en:

**Prótesis mecánicas.** Son aquellas cuyo movimiento es obtenido de otro miembro del cuerpo como el codo, hombro, y transmitida por medios mecánicos como cables y poleas; se fijan mediante arnés y por lo general sus movimientos son simples y se efectúan por medio de un gancho o garfio. Su costo es moderado (Brito y col., 2013).

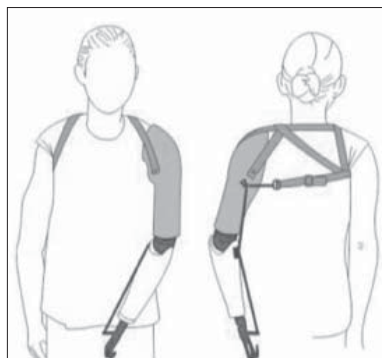


Figura 2. Prótesis mecánicas Fuente: (Brito y col., 2013)

*Prótesis eléctricas.* Son las que usan motores eléctricos para su accionamiento alimentados desde baterías recargables, generalmente ubicadas en la muñeca o codo; son controladas por servomecanismos o por pulsadores convenientemente ubicados. Para su acoplamiento se usan sockets especiales para no dañar el muñón y su costo de fabricación es elevado por las características de sus componentes; por otra parte, su estética y peso no son adecuadas por la cantidad de cables, motores y mecanismos usados. En caso de daños, su costo se eleva por no contar con un servicio técnico amplio. Una variación son las prótesis mioeléctricas, las cuales sustituyen el servocontrol o pulsadores por sensores mioeléctricos capaces de detectar las pequeñas señales eléctricas producidas por el movimiento muscular del orden de los microvoltios (Dorador Gonzáles, 2004). Este sistema presenta la ventaja de que solo requiere efectuar ciertos movimientos musculares para su accionamiento, pero, sin duda, los problemas referentes a costo y reparación se ven acentuados. También se pueden mencionar las prótesis neumáticas, hidráulicas o híbridas, cuyo uso no está difundido.

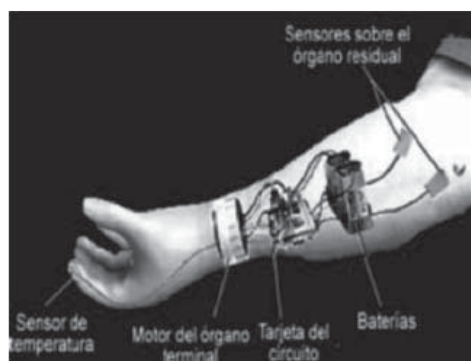


Figura 3. Prótesis mioeléctricas Fuente: (Dorador Gonzáles, 2004)

Por su uso, las prótesis funcionales han evolucionado con el estilo de vida del ser humano, y ya en 1508 se elaboró una prótesis para el mercenario alemán Gotz von Berlichingen tras perder su brazo derecho en batalla; esta era fijada mediante un arnés en la espalda y accionada soltando una serie de mecanismos de resorte con la mano natural. Asimismo se registran observaciones de amputados con prótesis que les permitían quitarse el sombrero, firmar y ejecutar otras actividades cotidianas (Kim, 2007).

En la actualidad se fabrican prótesis para actividades particulares como práctica del golf, baloncesto, esquí y otros (EMO Especialistas en ortopedia, s.f.).



Figura 4. Prótesis especiales Fuente: otros (EMO Especialistas en ortopedia, s.f.)

*Prótesis biónicas.* El desarrollo tecnológico ha permitido la fabricación de prótesis avanzadas que permiten control independiente de los dedos, tanto en su posición, presión o velocidad de actuación, como es el caso de la prótesis I-Limb, que es la más difundida de su clase en la actualidad, o la prótesis Bebionic, que incluye materiales inteligentes. También se pueden encontrar prótesis con gran fuerza de agarre y resistencia al agua, como el caso de la prótesis Michelangelo o prótesis que se unen quirúrgicamente insertando electrodos en las terminaciones nerviosas del muñón del paciente para permitirle sentir la presión y temperatura, como es el caso de la Cyber Hand (Brito y col., 2013).

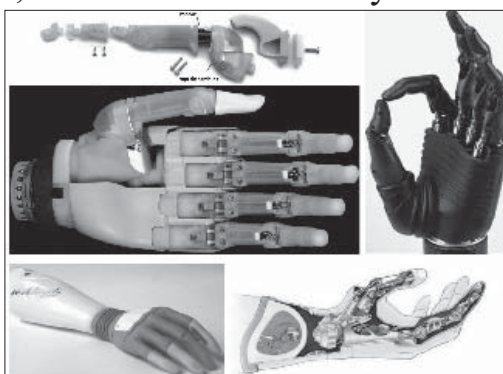


Figura 5. Prótesis biónicas. Arriba a la izquierda I-Limb. Arriba a la derecha, Bebionic. Abajo a la izquierda, Michelangelo. Abajo a la derecha, Cyber Hand. Fuente: Brito y col. (2013)

## DESARROLLO

El desarrollo de nuestra prótesis se inicia por la definición de sus funciones con base en los requerimientos del usuario, así como en su aspecto estético, para hallar un adecuado equilibrio entre el aspecto cosmético y funcional. Seguidamente se determinan los materiales y mecanismos que permitan obtener los movimientos requeridos para pasar a la etapa de construcción usando el proceso de impresión 3D por su versatilidad y economía y adecuando las dimensiones a la antropometría del paciente de modo que la prótesis sea cómoda y se acople sin problemas, para lo cual se cuenta con la colaboración del señor Diego Manzano como sujeto de prueba.

*Requerimientos del usuario*

Para la determinación del análisis de necesidades y requerimientos de los posibles usuarios se ha considerado que los pacientes con mutilaciones traumáticas de la mano tienen dos tipos de requerimientos, uno de ellos es el psicológico debido a que su condición genera gran impacto no solo en el paciente, sino también en su entorno, y el otro es el físico, puesto que se ve limitado para llevar a cabo determinadas actividades de su vida diaria. Dichos requerimientos se resumen en el siguiente cuadro:

Tabla 1. Requerimientos de usuario

REQUERIMIENTOS DEL USUARIO	
USUARIO	Jóven con mutilación traumática
REQUERIMIENTOS	Busca:
	Psicológicamente
	No tener rechazo social
	Sentirse incluido dentro de la sociedad
	Poder laborar sin discriminación
	Quiere poder sentirse autosuficiente
	Sentirse útil
	Elevar su autoestima
	Físicamente
	Poder realizar movimientos de la mano
	Recoger y sostener objetos
	Soporte estético
	Abrir y cerrar los dedos
	Mover la mano
	No sentir deficiencia física
	No verse incompleto
	Desarrollar su motricidad gruesa
	Desarrollar su motricidad fina

Es importante resaltar que cada paciente asume de un modo distinto estos requerimientos, por lo que es necesario un análisis individualizado en el momento de construir la prótesis. Para el caso planteado en este trabajo, el paciente sufrió la amputación de dos dedos de la mano debido a un accidente laboral.

## FUNCIÓN

Se podrán ejecutar 3 movimientos básicos de la mano, flexión, extensión y pinza digital, los cuales permiten el alcance y sujeción de objetos pequeños y livianos como el volante de un carro y la manilla de una puerta, entre otros.

## FISONOMÍA

La prótesis de mano no intenta parecerse al miembro mutilado del usuario, sino que involucra aspectos de diseño para obtener un producto innovador que genere atracción estética, y su forma se basa en un concepto futurista que emule a una prótesis biónica.



Imagen 6. Fisonomía

## MORFOLOGÍA

Su forma está regida por la función natural de una mano, es decir, que para ejercer los movimientos y funciones requeridas debe constar de dedos móviles divididos en secciones o falanges -al igual que los huesos de la mano- acopladas a una estructura principal en esta con un mecanismo de accionamiento mecánico ubicado en el antebrazo. Para su sujeción se incorpora un *socket* que permita el funcionamiento sin lastimar los tejidos del muñón.

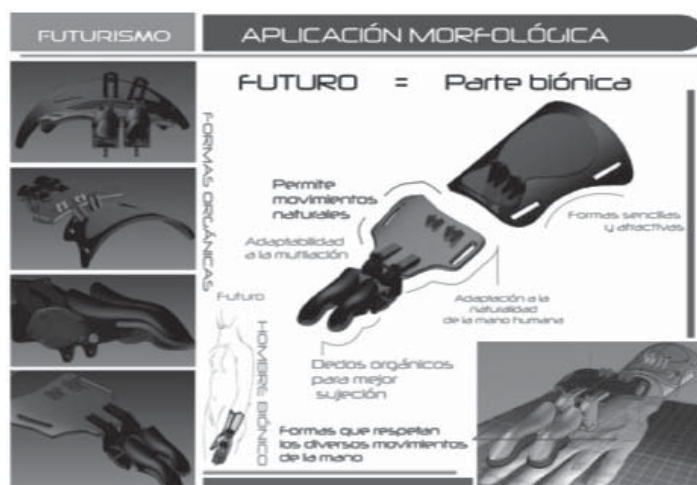


Figura 7. Morfología del producto

## ACOUPLE

La prótesis es capaz de sujetarse al antebrazo de la persona por medio de correas, las cuales brindan al usuario seguridad en el momento de sujetar y mover objetos sin que la prótesis se desprenda o se caiga, así como a la mano por medio de un *socket* o guante que permita su transpiración y proteja los tejidos.

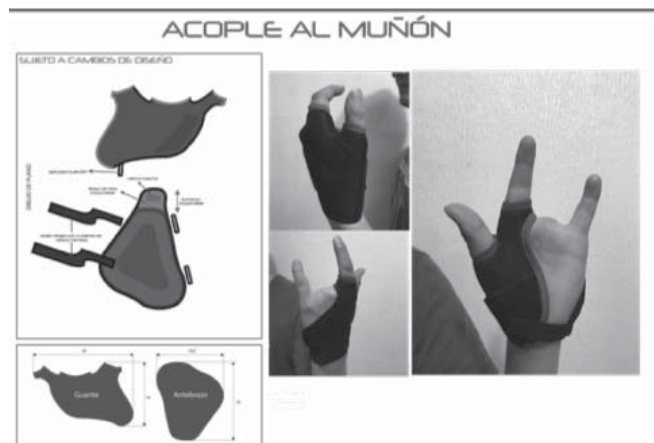


Figura 8. Modo de acople

## MECANISMO

Como la prótesis debe llevar a cabo movimientos mecánicos de aprehensión y sostén de objetos, se emplea un mecanismo de barras articuladas que permita el cierre y apertura de los dedos de la prótesis dotados por el movimiento del muñón; además, este mecanismo permite la incorporación de sensores mioeléctricos y servomotores en caso de ser requeridos.

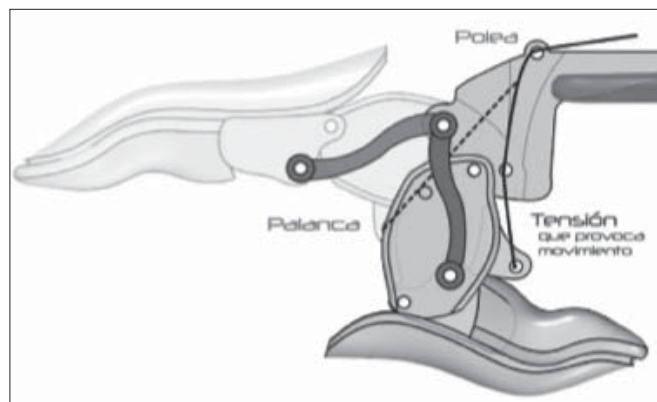


Figura 9. Mecanismo de barras articuladas



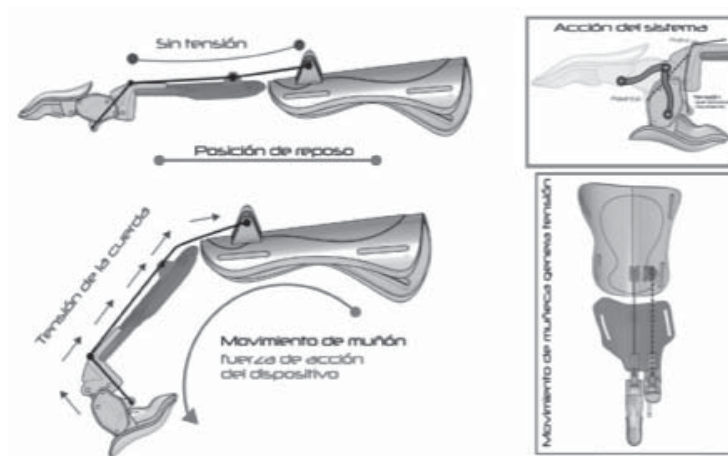


Figura 10. Funcionamiento del mecanismo

## MATERIALES

Con el fin de obtener la ligereza y la alta resistencia requeridas para su uso cotidiano y utilizar además de un sistema de fabricación económico y versátil que permita la producción de piezas individuales acordes a los requerimientos de cada usuario, se adopta el ABS como material base producido mediante impresión 3D, lo que permite además obtener formas adecuadas de las piezas móviles que se adapten a los requerimientos funcionales de cada paciente. Las partes en contacto directo con la piel estarán protegidas por un guante fabricado en spandex microperforado y sujeto por medio de velcro. El mecanismo es accionado mediante hilos de nylon que proveen la resistencia adecuada, además de que permite fácil intercambio en caso de rotura. Cabe indicar que en el caso de requerir accionamiento por medio de servomotores, el mecanismo permite el uso de cables de acero sin problema alguno.

## ANÁLISIS ANTROPOMÉTRICO ESPECÍFICO DEL USUARIO

Resulta relevante el análisis de medidas antropométricas específicas del usuario debido a que la condición del sujeto de estudio es particular por el tipo de mutilación y la prótesis que precisa.

Tabla 2. Requerimientos antropométricos

Componentes de la mano	Dimensión - Dimensión máxima de extremos
Circunferencia del antebrazo	240 mm
Extensión del brazo	210 mm
Dimensión del muñón	95 mm
Extensión del muñón	110 mm
Ancho del muñón en su superficie	210 mm
Dedo índice	63 mm – 165 mm
Dedo meñique	55 mm – 135 mm
Circunferencia de la muñeca	160 mm
Ancho de la muñeca	60 mm
Anchura dedo medio	23 mm
Anchura dedo anular	22 mm
Extensión de la palma	55 mm



Figura 11. Uso del prototipo

## EVALUACIÓN

Para evaluar el prototipo se hace un breve análisis comparativo entre el prototipo fabricado, una prótesis estética de alta calidad EMO, otra prótesis funcional en gancho de fabricación colombiana y otra biónica Bebionic:

Finalmente se hizo una entrevista tanto al paciente de prueba como al técnico en ortésis y prótesis de la Fundación Hermano Miguel de la ciudad de Quito, cuyos resultados son positivos y se presentan en el anexo 1.

## AGRADECIMIENTOS

Al Laboratorio de Órtesis y Prótesis de la Fundación Hermano Miguel de la ciudad de Quito y al Sr. Diego Manzano Pérez, quienes han brindado su tiempo y colaboración desinteresada para desarrollar este trabajo

Análisis comparativo				
Aspecto	Prototipo	Prótesis estética	Prótesis funcional	Prótesis biónica
Forma	Basada en la anatomía de la mano del paciente pero no réplica de modo real	Replica de modo real	No replica de ninguna manera	Replica la forma de la mano pero no de modo real
Función	Aprehensión, sostén movimientos propios de la motricidad gruesa	Ninguna	Aprehensión sostén	Movimientos independientes de cada dedo propios de la motricidad fina
Accionamiento	Mecánico	Ninguno	Mecánico	Mioeléctrico
Materiales	ABS, hilo nylon, spandex	PVC con microcubierta de silicona	PVC, cuero, acero inoxidable	ABS, duraluminio
Sujeción	Correas de velcro, socket de spandex	Ajuste - succión	Arnés	Socket - atornillado
Montaje	Fácil	Fácil	Fácil	Mediano - alto
Personalización	Personalizada	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Costo referencial	120-300	600 - 1000	600 -800	10000

Tabla 3. Análisis comparativo

## CONCLUSIONES

Desde el punto de vista estético, el prototipo no replica la forma natural de la mano, pero la morfología de los dedos y su fisonomía en general

invitan a su uso cotidiano en pacientes jóvenes adultos que aprecian la tecnología o un enfoque futurista.

El diseño de las partes y piezas del mecanismo con base en un estudio antropométrico facilita la réplica específica de los miembros amputados de forma que la funcionalidad del producto final provee movimientos de aprehensión y sostén de forma efectiva.

Desde el aspecto funcional, la prótesis se acopla de modo adecuado al muñón del paciente y permite movimientos ordinarios, además, el mecanismo usado permite recuperar la capacidad de agarre del sujeto de prueba con la presión adecuada y permite el acople de materiales más resistentes como el acero, así como alojar sistemas mioeléctricos para su accionamiento de ser requeridos.

En cuanto a su costo, constituye una alternativa importante, sobre todo por tratarse de una prótesis personalizada con dimensiones acordes a los requerimientos del paciente, lo cual, para los métodos de fabricación tradicionales, supone un costo elevado.

El mantenimiento de este producto es sencillo y la durabilidad y resistencia de los materiales facilitan el intercambio. Además, al ser desarrollado de manera local se facilita la reimpresión de partes y piezas por otras nuevas.

## REFERENCIAS

- BOWERS, R. (2002) El maravilloso mundo de la prótesis cosmética. En: *Motion*.
- BRITO, J.; QUINDE, M.; CUSCO, D.; CALLE, J. (2013) *Estudio del estado del arte de las prótesis de mano*. Ingenius, (9), 57-64.
- DORADOR GONZÁLES, J.M. (2004) Robótica y prótesis inteligentes. En: *Revista Digital Universitaria*, 2-15.
- EMO ESPECIALISTAS EN ORTOPEDIA (s.f.) *Protésica de miembros superiores*. Catálogo de componentes.
- FERNÁNDEZ MENDOZA, O.; GONZÁLEZ MORENO, Á. (s.f.) Amputación, desarticulación: definición, indicaciones; niveles de amputación en miembro superior e inferior: tipos de órtesis o prótesis; amputación en niños y en enfermedades vasculares periféricas; técnicas operatorias. En: *Cirugía Ortopédica y Traumatología* (págs. 215-221).

- NORTON, K. (2007) Un breve recorrido por la historia de la prótesis. En: *Revista Motion de Amputee Coalition*, 17(7).
- LOPEZ, B.; HERNÁNDEZ, J. (2010) *Amputación. Diagnóstico de enfermería*, I, págs. 1- 22.
- LORENZO, J. (2009) *Cómo debemos actuar ante una amputación traumática*. Asepeyo, Mutua de Accidentes de Trabajo y Enfermedades Profesionales de la Seguridad Social no 151, 1-8.

## ANEXO 1 ENTREVISTAS DE VALIDACIÓN

### *Entrevista #1: Marco Muñoz Técnico en Órtesis y Prótesis*



**Lugar y fecha:** Quito, Fundación Hermano Miguel / 24- 01-2017

**Objetivo:** Validar el funcionamiento y utilidad del prototipo de prótesis de mano desarrollado en este proyecto.

1.- ¿En qué grado considera usted que la prótesis de mano desarrollada le aporta a mejorar el movimiento de aprehensión?

En alto grado. Esta será la única alternativa para pacientes con amputación parcial de mano. Es una alternativa muy viable que será para las personas amputadas una bendición para poder reactivar sus actividades diarias, ya que anteriormente solo existían prótesis cosméticas para este tipo de traumas.

2.- ¿Qué otros movimientos de la mano considera usted que se mejoraron con la utilización de esta prótesis?

Varios movimientos de la mano. Con esta prótesis, prácticamente viene a desaparecer la prótesis cosmética porque esta viene a ser una prótesis mecánica y ayuda a generar movimientos únicos, no hay otra, no hay como reemplazarla, genera movimientos únicos.

3.- ¿Considera que uso de prótesis ayuda al mejoramiento de la sujeción de objeto?

No solamente a eso, sino a la calidad de vida de la persona, ya que se sentirá más optimista porque podrá hacer cosas que con la prótesis pasiva no podía.

4.- ¿En qué grado considera usted que esta prótesis ayuda al mejoramiento en el desarrollo de actividades cotidianas como la escritura o la manipulación de objetos?

En alto grado. No podemos comparar lo que están haciendo ustedes ahorita con lo que anteriormente se ponía antes, solamente de latex, que se quedaban en una sola posición, estas manejan la función de aprehensión y agarre.

5.- ¿Qué características mencionaría usted como más relevantes en este prototipo?, ¿su forma, función, sistema, mecanismo, entre otros?

Anatómicamente está muy bien hecha, los dedos son muy bien elaborados y tienen similitud con los naturales.

6.- ¿Considera que el diseño de este prototipo es apropiado para el desarrollo de prótesis similares?

Claro que sí, este es un prototipo que puede irse mejorando al conversar con los técnicos protesistas para que mejore su nivel y su presión

### *Entrevista #2: Diego Manzano Pérez*



**Ocupación:** Estudiante

**Lugar y fecha:** Ambato, 23- 01-2017

**Objetivo:** Validar el funcionamiento y utilidad del prototipo de prótesis de mano desarrollado en el presente proyecto.

1.- ¿En qué grado considera usted que esta prótesis de mano desarrollada le permite mejorar el movimiento de aprehensión? (bajo grado, moderado, alto, muy alto)

En un 100%

2.- ¿Qué otros movimientos de la mano considera usted que se han podido mejorar con la utilización de esta prótesis?

La pinza digital, en gran manera lo que es muy importante para desarrollar varias cosas

3.- ¿Considera que uso de la prótesis ayuda a mejorar la sujeción de objeto?

Si se aplica una pequeña recomendación dada por el usuario, ayuda en mucho a la sujeción, en un 100%, porque se puede usar la fuerza de la muñeca y la fuerza natural de los tendones.

4.- ¿En qué grado considera usted que esta prótesis ayuda al mejoramiento en el desarrollo de sus actividades cotidianas como la escritura o la manipulación de objetos?

En un 100% en la manipulación de objetos grandes.

5.- ¿Qué características mencionaría usted como más relevantes en este prototipo, su forma, función, sistema, mecanismo, entre otros?

La función, esta me ayuda en gran manera para el desarrollo de mis actividades

6.- ¿Considera que el diseño de este prototipo es agradable?

Sí, el diseño es muy agradable, me encanta la forma de los dedos.