

# TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	4
1.1 ESTADO DEL ARTE .....	4
1.2 JUSTIFICACIÓN .....	8
2. METODOLOGIA.....	14
3. OBJETIVOS .....	9
3.1 OBJETIVO GENERAL: .....	9
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	9
4. MARCO TEORICO.....	10
4.1 SISTEMAS PROSTÉTICOS .....	10
PRÓTESIS MECÁNICAS .....	10
PRÓTESIS ELÉCTRICAS.....	11
PRÓTESIS MIOELÉCTRICAS .....	11
PRÓTESIS HÍBRIDAS .....	12
4.2 SELECCIÓN DE SOFTWARE .....	13
5. CRONOGRAMA.....	15
6. BIBLIOGRAFIA.....	16

## RESUMEN

A causa de sus condiciones socioeconómicas, Colombia cuenta con una población infantil en condición de discapacidad con dificultad o imposibilidad de adquirir prótesis para sus miembros faltantes. Específicamente, las prótesis de manos en el país es un ítem faltante por desarrollar ya que para el país es más alto el trabajo en prótesis piernas, enmarcado en contexto del conflicto interno, por la gran cantidad de minas anti personas las que se han activado en el territorio nacional. Por esta razón, es de gran importancia que se desarrollen las prótesis de manos para niños que sufren de esta discapacidad, ya que a los menores de edad su crecimiento limita el tiempo de uso de las prótesis, requiriendo un cambio frecuente de elementos comúnmente fabricados en materiales como lo son el titanio o materiales compuestos, dificultando para esta población la adquisición de este tipo de prótesis debido a su alto costo.

En este documento proponemos el diseño sistematizado de prótesis de mano personalizable según la talla del paciente, explorando el potencial de reducir costos y tiempos de diseño y fabricación, para hacer estos implementos más asequibles.

## INTRODUCCIÓN

La mano humana es, conjuntamente con el cerebro, una de las dos claves del éxito evolutivo de los seres humanos. Esta potente herramienta, capaz de delicados y complicados movimientos, al mismo tiempo que aplicaciones de fuerza, tiene una función motora, sensitiva y comunicativa. Por lo tanto, su limitación o ausencia suele provocar un grave deterioro en la calidad de vida de una persona. Esta discapacidad tiene un efecto aún mayor en la niñez, donde las diferencias marcadas respecto al ambiente social provocan rechazo, burla y aislamiento. La medicina, haciendo buen uso de la ingeniería, ofrece tratamiento en la forma de prótesis, que suplen en grado menor o mayor la pérdida de funciones producida por la amputación o falta congénita de uno o ambos miembros superiores. Sin embargo, debido a la naturaleza inherentemente compleja de los seres vivos, una prótesis funcional demanda un grado similar de desarrollo ingenieril, lo que se traduce en altos costos para estos elementos. Esta situación se ve acentuada precisamente durante la infancia, pues el proceso de crecimiento requiere un cambio periódico de la prótesis; y en el contexto socioeconómico de Colombia, se traduce en la desatención de una necesidad apremiante de un sector vulnerable de la población, no solo de bajos recursos sino incluso también de clase media, debido a coste de las prótesis.

Para solucionar este problema, se hace necesario simplificar y abaratar el diseño y la construcción de las prótesis de mano. Revisando la historia de su aplicación, y las generalidades de su diseño y construcción, optamos por emplear del método diseñar una prótesis enlazada con un aplicativo que registre parámetros antropométricos del paciente y personalice el diseño acorde a sus medidas, lo que agilizaría el proceso de diseño. Adicionalmente, a través de análisis de elementos finitos, primero optimizaremos la geometría del diseño básico, y luego exploraremos las posibilidades que ofrecen materiales y procesos de construcción alternativos a los materiales biocompatibles empleados comúnmente,

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Para el año 2005, un alto porcentaje de la población colombiana se encuentra identificada en condición de discapacidad: el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) realizó un censo que mostró, entre otros datos. De este porcentaje, un 15% corresponde a personas definidas como mutiladas. Algunas de estas limitaciones son producto de la amputación de miembros superiores las cuales en Colombia son consecuencia de accidentes de trabajo, y en tiempos recientes, fruto del conflicto armado que sufre el país desde hace décadas [1]. El empleo de prótesis implica un aumento significativo en la calidad de vida de estas personas, ya sea por parte de una prótesis meramente estética, hasta una compleja prótesis mioeléctrica que reemplace la mayoría de las funciones motrices e incluso sensoriales perdidas por el paciente. Sin embargo, en lo que se refiere al mercado, incluso las prótesis más simples representan una inversión que no está dentro de las posibilidades económicas de todos los individuos discapacitados. Estas necesidades son más apremiantes en la población infantil: su proceso de crecimiento requiere un cambio constante de prótesis, con una frecuencia de alrededor de seis meses, para que las dimensiones de la prótesis se ajusten razonablemente a las proporciones del paciente [2]. La circunstancia de necesitar la actualización periódica de un elemento costoso puede llevar a que muchos menores tengan que arreglárselas con elementos que ya les quedan pequeños, o ni siquiera poder aspirar a adquirir cualquier prótesis. En estas situaciones la calidad de vida se ve muy afectada, no solamente por el impacto directo sobre las posibilidades motoras, sino por lo que esto representa en términos de autonomía, autoestima, y adaptación psicosocial de niños y niñas [3]. Las prótesis actualmente disponibles en el mercado no se adecúan a este escenario, por cuanto emplean materiales de alto costo y conllevan un diseño y construcción largos y detallados. Tanto este costo como su complejidad son dos problemas que limitan el acceso de muchos pacientes a una prótesis, lo que hace necesario proponer nuevas maneras de diseñar y fabricar estos elementos.

### **1.1 ESTADO DEL ARTE**

El avance en el diseño las de prótesis ha estado ligado directamente con el avance en el manejo de los materiales empleados por el hombre, así como el desarrollo tecnológico y el entendimiento de la biomecánica del cuerpo humano.

Una prótesis es un elemento desarrollado con el fin de mejorar o reemplazar una función, una parte o un miembro completo del cuerpo humano afectado, por lo tanto, una prótesis para el paciente y en particular para el amputado, también colabora con el desarrollo psicológico del mismo, creando una percepción de totalidad al recobrar movilidad y aspecto. La primera prótesis de miembro superior registrada data del año 2000 a. C., fue encontrada en una momia egipcia; la prótesis estaba sujeta al antebrazo por medio de un cartucho adaptado al mismo [4]. Con el manejo del hierro, el hombre pudo construir manos más resistentes y que pudieran ser empleadas para portar objetos pesados, tal es el caso del general romano Marcus Sergius, que durante la Segunda Guerra Púnica (218-202 a. C.) fabricó una mano de hierro para él, con la cual portaba su espada, ésta es la primera mano de hierro registrada. En la búsqueda de mejoras en el año de 1400 se fabricó la mano de alt-Ruppín construida también en hierro, constaba de un pulgar rígido en oposición y dedos flexibles, los cuales eran flexionados pasivamente, éstos se podían fijar mediante un mecanismo de trinquete y además tenía una muñeca móvil<sup>1</sup>. El empleo del hierro para la fabricación de manos era tan recurrente, que hasta Goethe da nombre a una de sus obras inspirado en el caballero germano Götz von Berlichingen, por su mano de hierro.

Figura 1: Mano de alt-Ruppín construida con hierro en el año 1400



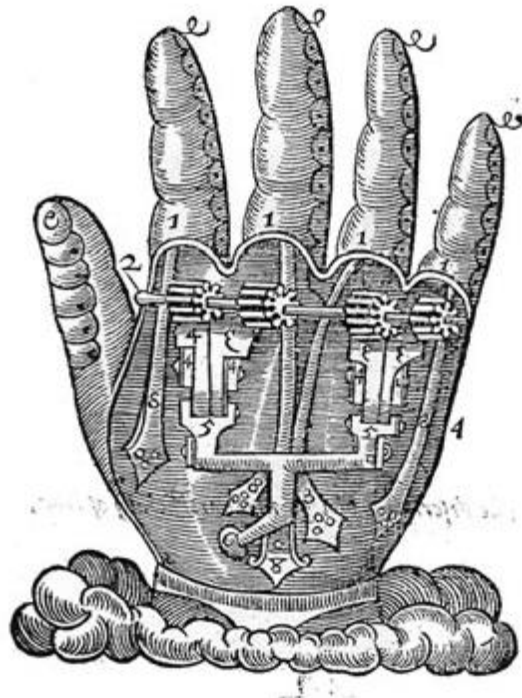
No es sino hasta el siglo XVI, que el diseño del mecanismo de las prótesis de miembro superior se ve mejorado considerablemente, gracias al médico militar francés Ambroise Paré, quien desarrolló el primer brazo artificial móvil al nivel de codo, llamado “Le petit Loraine” el mecanismo era relativamente sencillo tomando en cuenta la época, los dedos podían abrirse o cerrarse presionando o traccionando, además de que constaba de una palanca, por medio de la cual, el

---

<sup>1</sup> J. M. DORADOR y P. RIOS, «Robotica y Protésis inteligentes,» Revista Digital Universitaria, vol. 6, nº 1, pp. 1-15, 15-15, 2004.

brazo podía realizar la flexión o extensión a nivel de codo. Esta prótesis fue realizada para un desarticulado de codo. Paré también lanzó la primera mano estética de cuero, con lo que da un nuevo giro a la utilización de materiales para el diseño de prótesis de miembro superior. Figura 2. Primer brazo artificial móvil En el siglo XIX se emplean el cuero, los polímeros naturales y la madera en la fabricación de prótesis; los resortes contribuyen también al desarrollo de nuevos mecanismos para la fabricación de elementos de transmisión de la fuerza, para la sujeción, entre las innovaciones más importantes al diseño de las prótesis de miembro superior, se encuentra la del alemán Peter Beil. El diseño de la mano cumple con el cierre y la apertura de los dedos pero, es controlada por los movimientos del tronco y hombro contra lateral, dando origen a las prótesis autopropulsadas. Más tarde el Conde Beafort da a conocer un brazo con flexión del codo activado al presionar una palanca contra el tórax, aprovechando también el hombro contra lateral como fuente de energía para los movimientos activos del codo y la mano. La mano constaba de un pulgar móvil utilizando un gancho dividido sagitalmente, parecido a los actuales ganchos Hook.

Figura 2. Primer brazo artificial móvil



En los siglos XVIII y XIX, conflictos a gran escala, como las guerras Napoleónicas, la Guerra de Crimea y la Guerra Civil estadounidense, que aumentaron su intensidad y efecto en los combatientes de mano con el devenir de la Revolución Industrial, produjeron un mayor número de veteranos mutilados en las sociedades

de postguerra, gracias a los avances en la medicina como la anestesia, la asepsia, y nuevas técnicas de amputación que aumentaban las probabilidades de supervivencia y procuraban facilitar la acomodación de las prótesis existentes a los miembros amputados. [5]

En el siglo XX la Primera Guerra Mundial, a diferencia de otras áreas de la medicina, no trajo mayores avances en tratamientos prostéticos; este avance solo se vería con la introducción de nuevos materiales tras el final de la Segunda Guerra Mundial (principalmente polímeros y aleaciones avanzadas). Con el advenimiento de la electrónica, se propuso la creación de prótesis mioeléctricas, que comenzaron su desarrollo en la Unión Soviética en los años 60, y se han mejorado paralelamente con esta ciencia al punto de contarse actualmente con prótesis controladas remotamente por el cerebro y que son capaces de generar una sensación de tacto [6]. Tanto prótesis mioeléctricas, mecánicas como híbridas se han beneficiado con la introducción de la tecnología CAD/CAM en la industria durante los años 70 . Pero si bien para inicios del siglo XXI las prótesis contaban con materiales biocompatibles de altísima calidad, con complejos diseños de muy buenas características biomecánicas y estéticas perfectamente adaptados a las necesidades del paciente, esta especialización conllevó un considerable aumento de precio que disminuía notablemente la distribución que estos adelantos podían tener. A causa de esta necesidad, en el año 2013 surgió la iniciativa Enabling the future, que tomando las ventajas de la masificación de la manufactura adictiva en forma de las impresoras 3-D, ha producido variados diseños distribuidos con licencia libre, pensados para este tipo de fabricación, los cuales reducen enormemente el costo de la prótesis comparada con una tradicional [7].

En la última década, en Colombia se han diseñado prótesis para imprimir en 3D. Lopez (2016) y Muñoz (2014) han trabajado en prótesis ortopédicas [8][9], mientras que el ingeniero de la Universidad Nacional Christian Silva, en el contexto de la iniciativa E-Nable fabrica prótesis de mano, pero como iniciativa privada sin producción de literatura científica [11]. Ninguno de estos trabajos involucra el diseño CAD acoplado con tablas de parámetros. Este método de diseño que comenzó a popularizarse a comienzos de los años 90, permite adaptar un modelo básico a múltiples situaciones individuales a través del cambio de parámetros del diseño que se organizan en una tabla de datos y son susceptibles de modificación [10]. En la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Reyes y Páez (2016), junto a Ortiz y Marroquín (2016) aplicaron exitosamente esta herramienta para diseños mecánicos. [12][13]

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

Ante el panorama aquí expuesto, donde los elementos prostéticos infantiles no cuentan con la asequibilidad suficiente para cumplir las necesidades de todos los pacientes que los requieren, es necesario hacer parte de esta tendencia mundial de fabricar prótesis de bajo costo y fácilmente reemplazables y actualizables. Más apremiante aún es explorar estas posibilidades en un país donde el 8,5% de sus habitantes se encuentra por debajo de la línea de la pobreza extrema, y 28% por debajo de la línea de pobreza; cuando el ingreso promedio del hogar colombiano ronda el millón novecientos mil pesos, se evidencia que ni siquiera para las familias de clase media sería posible adquirir y cambiar con la frecuencia necesaria prótesis tradicionales. El Plan Obligatorio de Salud vigente en mayo de 2017 no cubre implementos prostéticos de mano, únicamente de piernas [1]. La misma ausencia de cifras oficiales discriminadas respecto a población amputada, y menos aún qué segmento corresponde a población infantil, es un indicador de la desatención y vulnerabilidad a la que se somete a estas personas.

Si bien el trabajo que se realiza internacionalmente con prótesis impresas en 3D con diseños de propiedad abierta es un paso enorme para resolver el problema, la academia colombiana ha pasado mayormente de largo estos desarrollos, donde solo se registra un trabajo al respecto en fuentes periodísticas y ninguno que pudiésemos hallar en bases de datos académicas. Así mismo, en la literatura referida al diseño de prótesis de bajo costo, no aparece la metodología de emplear tablas de datos enlazadas a un programa de diseño mecánico para modificar rápidamente los parámetros del modelo para adaptar el modelo existente a las dimensiones de cada paciente, lo que consideramos permitiría solucionar sus necesidades con mayor presteza y aún menos costo comparado con las innovaciones propuestas hasta ahora. Tanto esta posibilidad de desarrollo académico como la posibilidad de aportar a la solución de la apremiante necesidad socioeconómica de estos pacientes, en línea con la vocación social de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, cimientan la pertinencia de llevar a cabo un proyecto de esta naturaleza.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL:**

- Desarrollar un aplicativo software que parametrize de acuerdo a las características antropométricos del paciente un diseño de prótesis de mano infantil.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Aplicar una metodología para el desarrollo de la aplicación de software basada en la antropometría de cada paciente.
- Por medio de la metodología desarrollada, dar un diseño de prótesis de mano el cual cumpla con los parámetros antropométricos de la literatura presentada para el consumidor final.
- Determinar mediante análisis de elementos finitos las alternativas de materiales y geometrías adecuados para el diseño.
- Realizar un análisis económico del diseño con respecto a diseños y materiales tradicionales en el mercado.

### 3. MARCO TEORICO

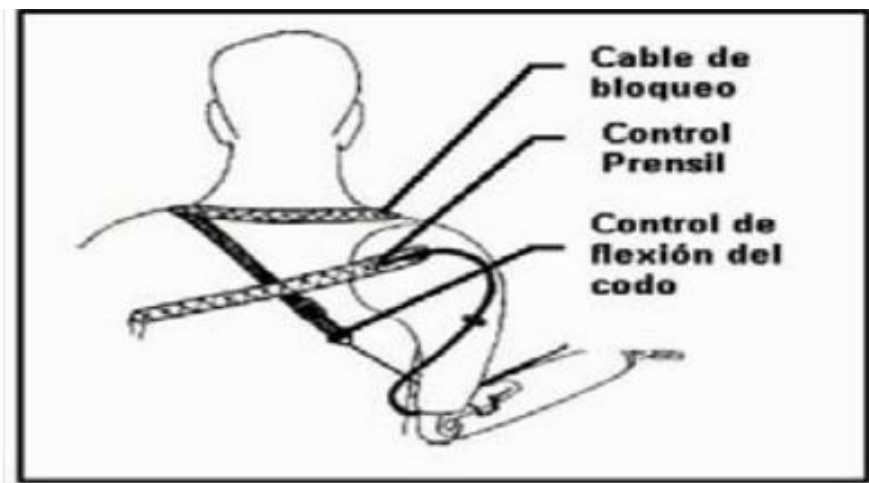
#### 3.1 SISTEMAS PROSTÉTICOS

Toda prótesis artificial activa necesita una fuente de energía de donde tomar su fuerza; un sistema de transmisión de esta fuerza; un sistema de mando o acción y un dispositivo prensor. En la elección de las prótesis a utilizar desempeña un papel trascendental el nivel de amputación o el tipo de displasia de que se trate [15].

#### PRÓTESIS MECÁNICAS

Las manos mecánicas son dispositivos que se utilizan con la función de apertura o cierre voluntario por medio de un arnés el cual se sujeta alrededor de los hombros, parte del pecho y parte del brazo controlado por el usuario. Su funcionamiento se basa en la extensión de una liga por medio del arnés para su apertura o cierre, y el cierre o apertura se efectúa solo con la relajación del músculo respectivamente gracias a un resorte y tener una fuerza de presión o pellizco. Estos elementos se recubren con un guante para dar una apariencia más estética, sin embargo se limita al agarre de objetos relativamente grandes y redondos ya que el guante estorba al querer sujetar objetos pequeños.

Figura 4: Elementos constitutivos de una prótesis mecánica



El tamaño de la prótesis y el número de ligas que se requiera dependiendo de la fuerza y el material para su fabricación varían de acuerdo a las necesidades de cada persona. Dado que estas prótesis son accionadas por el cuerpo, es necesario que el usuario posea al menos un movimiento general de: expansión del pecho, depresión y elevación del hombro, abducción y aducción escapular y flexión glenohumeral.

## PRÓTESIS ELÉCTRICAS

Estas prótesis usan motores eléctricos en el dispositivo terminal, muñeca o codo con una batería recargable. Éstas prótesis se controlan de varias formas, ya sea con un servo control, control con botón pulsador o botón con interruptor de arnés. En ciertas ocasiones se combinan éstas formas para su mejor funcionalidad. Se usa un socket que es un dispositivo intermedio entre la prótesis y el muñón logrando la suspensión de éste por una succión. Es más costosa su adquisición y reparación, existiendo otras desventajas evidentes como son el cuidado a la exposición de un medio húmedo y el peso de la prótesis. Prótesis neumáticas Estas prótesis eran accionadas por ácido carbónico comprimido, que proporcionaba una gran cantidad de energía, aunque también presentaba como inconveniente la complicación de sus aparatos accesorios y del riesgo del uso del ácido carbónico.

## PRÓTESIS MIOELÉCTRICAS

Las prótesis mioeléctricas son prótesis eléctricas controladas por medio de un poder externo mioeléctrico, estas prótesis son hoy en día el tipo de miembro artificial con más alto grado de rehabilitación. Sintetizan el mejor aspecto estético, tienen gran fuerza y velocidad de prensión, así como muchas posibilidades de combinación y ampliación.

Figura 5: Configuración básica de una prótesis mioeléctrica



El control mioeléctrico es probablemente el esquema de control más popular. Se basa en el concepto de que siempre que un músculo en el cuerpo se contrae o se flexiona, se produce una pequeña señal eléctrica (EMG) que es creada por la interacción química en el cuerpo. Esta señal es muy pequeña (5 a 20  $\mu\text{V}$ ) Un micro-voltio es una millonésima parte de un voltio. Para poner esto en perspectiva, una bombilla eléctrica típica usa 110 a 120 voltios, de forma que esta señal es un millón de veces más pequeña que la electricidad requerida para alimentar una bombilla eléctrica.

El uso de sensores llamados electrodos que entran en contacto con la superficie de la piel permite registrar la señal EMG. Una vez registrada, esta señal se amplifica y es procesada después por un controlador que conmuta los motores encendiéndolos y apagándolos en la mano, la muñeca o el codo para producir movimiento y funcionalidad. Éste tipo de prótesis tiene la ventaja de que sólo requieren que el usuario flexione sus músculos para operarla, a diferencia de las prótesis accionadas por el cuerpo que requieren el movimiento general del cuerpo. Una prótesis controlada en forma mioeléctrica también elimina el arnés de suspensión usando una de las dos siguientes técnicas de suspensión: bloqueo de tejidos blandos-esqueleto o succión<sup>1</sup>. Tienen como desventaja que usan un sistema de batería que requiere mantenimiento para su recarga, descarga, desecharla y reemplazarla eventualmente. Debido al peso del sistema de batería y de los motores eléctricos, las prótesis accionadas por electricidad tienden a ser más pesadas que otras opciones protésicas. Una prótesis accionada por electricidad proporciona un mayor nivel de tecnología, pero a un mayor costo.

## PRÓTESIS HÍBRIDAS

Una prótesis híbrida combina la acción del cuerpo con el accionamiento por electricidad en una sola prótesis. En su gran mayoría, las prótesis híbridas sirven para individuos que tienen amputaciones o deficiencias transhumerales (arriba del codo) Las prótesis híbridas utilizan con frecuencia un codo accionado por el cuerpo y un dispositivo terminal controlado en forma mioeléctrica (gancho o mano).

Figura 6: Prótesis híbrida brazo-mano.



### **3.2 SELECCIÓN DE SOFTWARE**

En la elaboración de nuestro aplicativo de software debemos tener en cuenta que es necesario el uso de dos programas de diferente uso el uno es el proceso de programación en el cual se ha seleccionado entre tres programas los cuales son: Matlab, Visual Basic y Labview; y en el proceso de diseño se han seleccionado otros tres programas: Solid Edge, Solid Works y Autodesk Inventor; para esta selección se recurrirá a un QFD con el cual se intenta presentar los mejores datos posibles. Estos programas se seleccionaron debido a su capacidad de integrar tablas de datos con parámetros modificables de un diseño mecánico.

#### 4. METODOLOGIA

La metodología que se seguirá durante el proceso de este proyecto se centrará en el diseño de los modelos parametrizados por un software para la realización de prótesis de mano en niños y niñas de entre 5 a 10 años, para esto usaremos el enfoque orientado a objetos, en la cual se basa el desarrollo de algunas aplicaciones de software con la cual se busca optimizar los desarrollos de cada aplicación por medio de cada uno de los aspectos mediante los cuales se define. Para ello llevaremos a cabo sus etapas de desarrollo en primer lugar se encuentra el análisis de la aplicación que se desarrollara siempre con una visión muy práctica del porqué de esta aplicación con una visualización muy enfocada a la persona con el fin de ser lo más útil posible para el usuario final, seguido de su diseño, para ello se toma como matriz el programa en el cual se pueda priorizar los datos para lograr una parametrización de estos sin que presente demasiada información innecesaria que genere una cortina de humo para el objetivo final y por último el desarrollo de esta que será realizado permitiendo obtener una mejor representación del mundo y de los requerimientos particulares de la aplicación en dicho uso.

Con los programas seleccionados, se procederá a digitalizar las bases de datos antropométricos infantiles correspondientes a Colombia. Paralelamente se iniciará el diseño de la prótesis de mano básica en el software CAD, partiendo de los requerimientos ya delineados en la literatura, optimizándolo tanto dimensionalmente como en selección de materiales, a través de análisis de elementos finitos, y manteniendo presentes los parámetros que serán enlazados a la base de datos mediante el software de programación. Creado el programa de enlace, se le someterá a pruebas para generar diseños personalizados según valores tomados de las bases de datos, analizando cómo responde el diseño básico a las modificaciones dimensionales, desde si corresponde a un diseño viable cinemáticamente hasta su desempeño mecánico al ser sometido a esfuerzos, todo a través de análisis por elementos finitos.

Los resultados de la selección de materiales se compararán con los materiales empleados actualmente en esta industria para analizar su viabilidad económica.

## 5. CRONOGRAMA

### DIAGRAMA DE GANTT

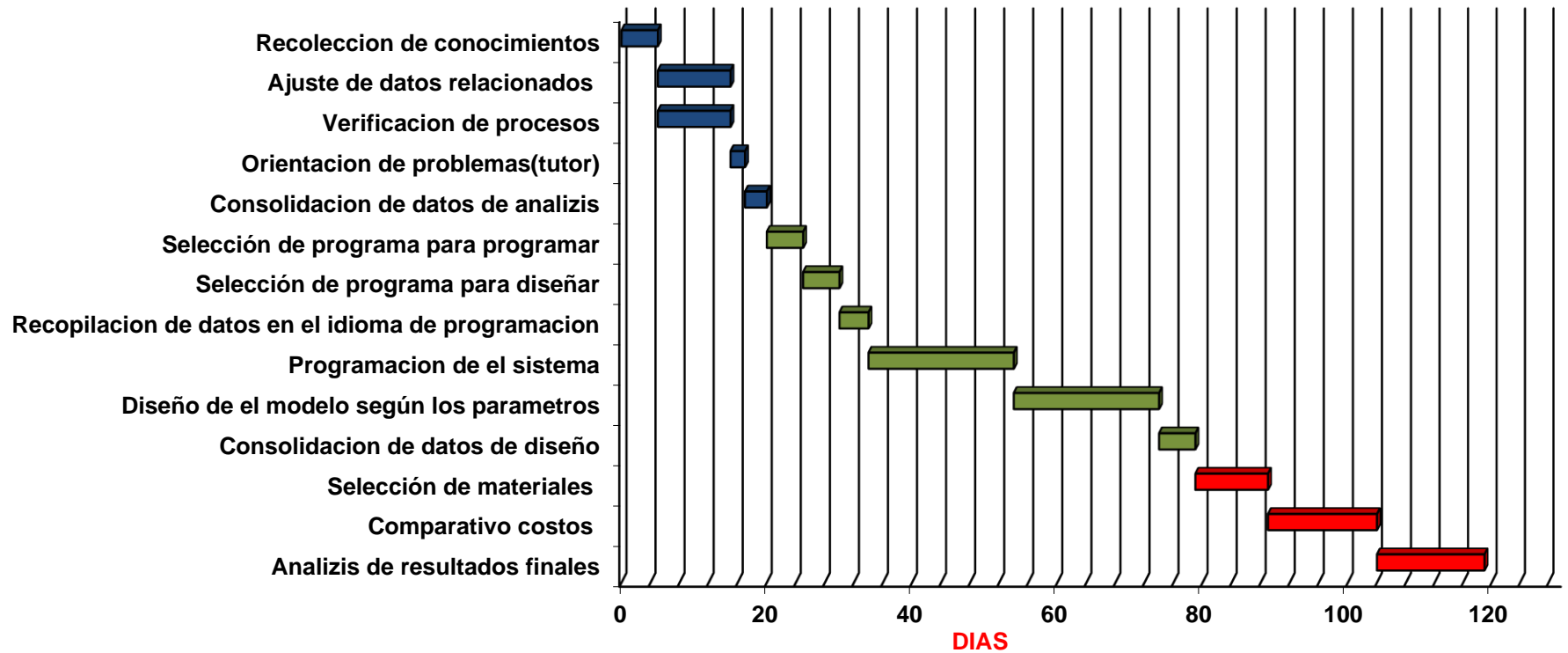


Diagrama 1: cronograma de actividades por días.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] GONZALES, CLARA INÉS. GÓMEZ JULIO CÉSAR. Información estadística de la discapacidad. Departamento Nacional de Estadística. 2004
- [2] J. M. DORADOR y P. RIOS, «Robotica y Protesis inteligentes,» Revista Digital Universitaria, vol. 6, nº 1, pp. 1-15, 15-15, 2004.
- [3] R. MONREAL GONZALES, “La mano, origen, evolución y su papel en la sociedad,» Revista Cubana de Ortopedia, vol. 21, 2007.
- [4] MURPHY DOUGLAS. Fundamentals of Amputation Care and Prosthetics. Medos Medical. 2014
- [5] Diseño y simulación de un prototipo de prótesis de mano bioinspirada con cinco grados de libertad. Proyecto Magister en Ingeniería Mecánica, 2012, Universidad Nacional de Colombia Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica Bogotá, Colombia.
- [6] H CAMPBELL, PAUL. Mechatronic Hands. Prosthetic and Robotic Desig. The Institution of Engineering and Technology. 2016
- [7] STOPFORTH, R. VD RIET, D. BRIGHT, G. DIEGUEL, O. A Low Cost Design of a 3D Printed Multi-fingered Myoelectric Prosthetic Hand. Nova Science Publishers. 2015
- [8] QUINTERO DÍAZ, JOHANNA. Con Tecnología en 3D santandereanos diseñan prótesis ajustables. Diario El Tiempo. 21 de julio de 2016.
- [9] Colombiano desarrolla prótesis económicas en 3D a partir de almidón de maíz. Portal Colombia Inn. Tomado de: <http://colombia-inn.com.co/colombiano-desarrolla-protesis-economicas-en-3d-a-partir-de-almidon-de-maiz/>. Noviembre 2016
- [10] Ricardo A. GÓMEZ CASTRO Alvaro H. GALVIS PANQUEVA Olga MARIÑO DREWS, «INGENIERIA DE SOFTWARE EDUCATIVO CON MODELAJE ORIENTADO POR OBJETOS: UN MEDIO PARA DESARROLLAR MICROMUNDOS INTERACTIVOS,» Informática Educativa, Vol 11, No, 1, 1998 UNIANDES - LIDIE pp.9-30.
- [11] Crean prótesis de manos para niños impresas en 3D. Diario El Tiempo. 26 de octubre de 2014.
- [12] REYES, L. PÁEZ, C. Desarrollar una aplicación de software para uniones de transición de acueducto y alcantarillado de diámetros de 14in a 30in. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2016.
- [13] CADENA, J. MARROQUÍN, G. Desarrollo de software para cálculo y selección de poleas trapezoidales para correas de alta capacidad y métricas. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2016
- [14] ZAMBUDIO, RAMÓN. Prótesis, Ortesis y Ayudas Técnicas. Elsevier España. 2009