

**Integrantes**

Katherine Arzate Serrano.  
Carlos Sebastián Madrigal Rodríguez.

**Información General****Nombre del Proyecto**

Diseño y producción de una mano protética con movimiento independiente de extremidades mediante inteligencia artificial.

**Fecha inicio**

23/04/2021

**Fecha estimada de término**

16/11/2022

**Área****Disciplina**

Tecnología y biomédica.

Mecatrónica biomédica

**Protocolo****Descripción del Problema**

Las amputaciones de extremidades superiores, conocidas como AES, son efecto principalmente de traumatismos. Gracias a un estudio realizado por Jaime C. Bizama por medio de Salud Pública en el 2010, se obtuvo que durante 5 años más del 15% de las cirugías de amputaciones correspondieron a ser AES, donde un 85% eran hombres y el resto mujeres, con edades entre los 20 y 40. La mayor problemática consiste en la accesibilidad económica y tecnológica que ofrecen las diferentes empresas que se dedican a la venta y/o producción de prótesis, teniendo en cuenta que afecta, según datos recolectados por el Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI) del año del 2019, al 90% de personas amputadas, del cual solo 10% cuenta con una prótesis.

Desafortunadamente México no cuenta con estudios para saber exactamente el panorama global más a fondo de esta situación. La mayor parte de los estudios realizados se han enfocado en identificar aspectos específicos de determinadas etiologías o ciertos segmentos corporales que se relacionan con la situación. Jaime C. confirma que la mayor parte de personas que han sufrido de una AES son hombres, y su causa es principalmente debido a actividades laborales de alto riesgo, mientras que en las mujeres es mayormente por accidentes domésticos. Lamentablemente muchos de los trabajos donde se debe realizar dichas actividades no cuentan con un seguro para cubrir con los gastos para incluir la obtención de una prótesis.

Restaurar o reincorporar extremidades afectadas hasta un nivel compatible con la función y vida de los tejidos es prácticamente imposible, por ello las amputaciones son la razón fundamental para después, ya que el objetivo inicial del cirujano es salvar el humano por encima de salvar la extremidad. En la actualidad, contar con una discapacidad motriz como lo es una amputación, es una situación común en la sociedad mexicana, contando con centros de salud encargados de brindar atención con la infraestructura necesaria y personal médico debidamente capacitado. No obstante, no se ofrece de manera gratuita y accesible la oportunidad de adquirir la extensión artificial que reemplaza la parte del cuerpo amputada, que cumplirá con casi la misma función que el miembro natural.

El costo de las prótesis de brazo en el mercado se encuentra de 300 hasta 500 mil pesos, esto hace casi imposible que quien haya sufrido de un AES pueda adquirir una prótesis por las condiciones económicas que afecta a la mayoría. La problemática se puede centrar en resolver los siguientes aspectos: (1) Ofrecer un bajo costo accesible. (2) Alta funcionalidad para que no solo

pueda abrir y cerrar, sino también mover cada uno de los dedos y así acercarse más a sentirse parte natural del cuerpo. (3) Brindarle la posibilidad al portador de que sienta más confianza en sí mismo y pueda realizar tareas cotidianas sin complicaciones.

**Necesidad**

El principal problema que tienen las personas con discapacidad, es el desempleo (27 %) y el segundo, la discriminación (20 %). El 39 % de las personas con discapacidad reciben la mayor parte de sus ingresos de su trabajo y el 43 % de sus familiares, según la Encuesta Nacional sobre Discriminación en México (Enadis 2010). El 54 % de las personas con discapacidad en el país considera que sus ingresos no son suficientes para cubrir sus necesidades, y el 23 % dijo que “más o menos”. En México, el acceso a herramientas de ayuda para personas con discapacidad depende de la capacidad adquisitiva de cada paciente. (Gerardo Rodríguez, jefe del Laboratorio de Prótesis del Instituto Nacional de Rehabilitación (INR), en entrevista con CNNMéxico.) Para una persona cuya vida se ve afectada por una discapacidad causada por la pérdida o falta de algún miembro, la tecnología representa una esperanza, sin embargo, una esperanza demasiado costosa.

Si bien, con la biomecánica en conjunto con otras disciplinas, se han desarrollado prótesis, desde las más simples como las dentales hasta las más complejas como las que reemplazan huesos y extremidades, estas no siempre están al alcance de todos. Es preciso afirmar que están al alcance de muy pocos.

### Motivación para atenderlo

Proporcionarles a las personas que sufren de alguna amputación de mano mayor independencia y alegría de vivir, sin sufrir deudas a largo plazo y ofreciendo total movilidad en su día a día. Además de aumentar la autoestima de quienes lo portan gracias al incremento de auto percepción cuando se tiene alguna diferencia anatómica congénita o adquirida.

A pesar de que los beneficios que presente cada individuo portador de una prótesis, es por seguro que la mayor motivación es ayudar a esas personas a cumplir con sus necesidades alcanzando el máximo beneficio y aportarles una esperanza nueva de vida, ya que una amputación como esta puede llegar a resultar una importante pérdida de funcionalidad en las personas afectadas.

### Beneficiarios

Toda persona que tenga haya sufrido una amputación de una extremidad superior, en especial personas que no cuentan con la solvencia suficiente para comprarse una prótesis de alta funcionalidad, ya que en muchas ocasiones han sido despedidos por la creencia de un bajo rendimiento laboral por parte de la misma empresa u organización.

## Trabajos Relacionados

### 1. OPTIMIZACIÓN DE LA GEOMETRÍA DE UNA PRÓTESIS DE MIEMBRO SUPERIOR. POR LUIS ANTONIO AGUILAR PEREZ DE LA ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA.

Este proyecto lleva a cabo el desarrollo de una prótesis para miembro superior donde se necesitó de diversas fuentes referentes a la robótica médica y el desarrollo de robots de rehabilitación para su elaboración, con un enfoque a la simulación de la cinemática del miembro superior. Presenta las herramientas computacionales que fueron utilizadas para el diseño, modelado y construcción de esta prótesis.

### 2. DISEÑO ORIENTADO A IMPRESIÓN 3D DE MANO PROTÉSICA CON ARTICULACIONES FLEXIBLES. POR JOSUE ISRAEL SÓPALO ROMERO CON TÍTULO DE MÁSTER EN INGENIERÍA MECÁNICA.

Realiza diseño y prototipado de una mano prostética que apoya a personas de bajos recursos económicos con innovaciones y tecnología con movimientos prediseñados, ya que se estudió a profundidad toda la mano humana incluyendo la anatomía, la antropometría y movimientos básicos de la mano para alcanzar un mayor potencial en su desarrollo del diseño y funcionalidad. El diseño se lleva a cabo en un programa CAD para poder simular a través de elementos finitos situaciones similares que pasarían en la vida real.

### 3. FRECUENCIA Y CAUSAS DE AMPUTACIÓN EN PACIENTES ATENDIDOS EN LA DIRECCIÓN DE ATENCIÓN A LA DISCAPACIDAD, POR EL PROGRAMA DE APOYO DE AYUDAS FUNCIONALES DEL DFI ESTADO DE MÉXICO 2011-2012 POR JESÚS CARLOS HERNÁNDEZ GARCÍA.

Plantea la frecuencia y causas por las que ocurre la amputación en pacientes atendidos en la Dirección de Atención a la Discapacidad, donde se obtiene que el rango de edad con mayor porcentaje de amputaciones es entre 30 y 59 años con un 52%, donde el hombre obtiene un 78% ese porcentaje. Las causas más importantes de amputación son la etiología traumática y la vascular.

### 4. DISEÑO DE UN PROGRAMA FISIOTERAPÉUTICO PARA PACIENTES CON MIEMBROS AMPUTADOS QUE ACUDEN A LA FUNDACIÓN PRÓTEIS PARA LA VIDA DURANTE EL PERIODO JULIO 2012- ENERO 2013 POR STEFANIE C. CEVALLOS Y VIRGINIA D. HIDROBO.

Se centra en los ejercicios físicos terapéuticos que deben tomar los amputados, y que se concluyó que la mayoría no los toma porque desconoce de ello, y por tanto, manifiestan un gran desinterés por incorporarse al proceso de rehabilitación lo que impide el desarrollo de sus capacidades y habilidades volviéndose completamente dependientes de familiares. El propósito es ayudar a estos pacientes a tener una mejor calidad de vida y que sean lo más independientes posibles, ya que con esto ayuda a que mejore su condición para una óptima adaptación a una prótesis y a obtener un buen estado del muñón.

#### 5. GUÍA DE ATENCIÓN PARA PACIENTES CON AMPUTACIÓN TRAUMÁTICA NIVEL TRANSFEMORAL EN ETAPA PROTÉSICA POR ANA MARÍA SILVA ARTUNDUAGA DE LA FACULTAD DE CINÉTICA HUMANA Y FISIOTERAPIA.

Estipula que la amputación trae consigo diferentes causas como preocupación e interés por el personal de salud de brindar nuevas alternativas de tratamiento y que las complicaciones disminuyan al igual que las limitaciones del usuario amputado. Por ello, se plantea un diseño de una guía de atención para pacientes con amputación traumática nivel transfemoral en etapa protésica para determinar los test requeridos para el examen y evaluación de la situación para identificar posibles factores de riesgo que se puedan presentar en los pacientes amputados.

#### 6. ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MUSCULAR Y ESTABILIDAD EN PACIENTES AMPUTADOS TRANSTIBIALES. ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA AMPUTACIÓN DE LA IMAGEN CORPORAL, LA AUTOESTIMA Y LA CALIDAD DE VIDA POR NURIA SORRACA BECERRICA DE LA UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID.

Expone la importancia del conocimiento de los aspectos esenciales que intervienen en la amputación de un miembro, lo que puede generar anomalías como nuevos patrones biomecánicos de carga que puedan causar lesiones por sobrecarga por un mayor desplazamiento de su centro de gravedad. Esto a su vez, puede causar una alteración en la autoestima, la percepción de imagen corporal y la calidad de vida, por lo que es importante darle atención.

#### 7. PRÓTESIS ROBÓTICA DE MIEMBRO SUPERIOR CONTRADO POR MEDIO DE INTERFACES NEURONALES: EL ESTADO DEL ARTE Y UN DISEÑO CONCEPTUAL. POR SAMUEL BUSTAMANTE GÓMEZ DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA.

El trabajo presenta una recopilación del estado del arte de las prótesis robóticas de miembro superior revisando nuevos desarrollos de interfaces como conexiones con el centro humano denominadas interfaces cerebro-máquina, donde se ha explorado que la ciencia ha encontrado formas de comunicar las prótesis con el sistema nervioso del humano, creando interfaces neuronales que permiten obtener un mayor control y una mejor experiencia de uso en los pacientes.

## 8. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PRÓTESIS BIÓNICA DE MANO DE 7 GRADOS DE LIBERTAD UTILIZANDO MATERIALES INTELIGENTES Y CONTROL MIOELÉCTRICO ADAPTADA PARA VARIOS PATRONES DE SUJECCIÓN.

El proyecto consiste en la construcción de una prótesis biónica de mano de 7 grados de libertad con la finalidad de validar la funcionalidad que esta presenta mediante actividades cotidianas que realiza una persona que posee una amputación transradial debajo del codo. Con el modelado antropomórfico, simula movimientos naturales de la mano humana que terminarán representando los patrones básicos de agarre, con servomotores para la transmisión de movimiento de cada dedo, giro de la muñeca y oposición del pulgar.

## 9. ANALISIS DE SENALES EMG SUPERFICIALES Y SU APLICACION EN CONTROL DE PROTESIS DE MANO. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Este articulo presenta métodos y técnicas más utilizadas para la extracción de características discriminantes de las señales Electromiografías superficiales (EMG), con fines de aplicación en el control de prótesis artificiales de mano para la ejecución de movimientos sobre la misma. La información extraída de las señales EMG, es seleccionada de tal manera que se minimice el error en el control de los sistemas de prótesis mioeléctricas.

## 10. MECANISMOS DE TRANSMISION Y ACTUADORES UTILIZADOS EN PROTESIS DE MANO. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.

Este articulo concentra el análisis y comparativas de tres tipos de actuadores eléctricos, hidráulicos y neumáticos, las limitaciones que presentan cuando son utilizados en prótesis de mano, así como las características más importantes de los elementos de transmisiones se utilizan en el diseño de prótesis.



### Metodología

El desarrollo de este trabajo se realizará de la siguiente manera. Primero, se realiza un análisis de los métodos de adquisición de señales EMC, adquiridos a través de electrodos ECG (electrocardiográficos) colocados estratégicamente en los bíceps. Como consecuente, a través los datos obtenidos se pretende crear un modelo de inteligencia artificial que interprete los datos de entrada como un movimiento de extremidades. Finalmente, se implementa las matrices resultantes del entrenamiento de la red neuronal al FPGA interpretando las salidas de la red como un movimiento direccional de los servomotores.

Una parte de la investigación será cuantitativa, ya que se mide el factor de amplificación de las ondas EMC, el modelo logístico de los datos obtenidos, así como la población que será beneficiada con la producción de este modelo, y cualitativa para generar un discriminante de los resultados de los sensores.

### Objetivo General, Objetivos Específicos e Hipótesis

#### OBJETIVO GENERAL:

Diseñar e implementar un modelo de machine learning capaz de traducir las ondas EMC a movimientos inducidos en una prótesis de bajo coste desarrollada con fabricación aditiva, brindando una prótesis antropomórfica y antropométrica la cual pretende conseguir soluciones viables, de carácter práctico y accesible a cualquier usuario, mejorando así la calidad de vida a quienes sufren AES.

**OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Investigar avances en el campo de la robótica médica.
- Explorar la anatomía de la mano humana.
- Diseñar la mecánica que deberá obedecer la prótesis para los diferentes grados de libertad.
- Generar un modelo 3D de cada miembro de la mano y unirlo en un diseño final.
- Fabricar un amplificador de señales EMC para un mejor tratamiento de las mismas.
- Generar datos de entrenamiento en base a las señales capturadas de los electrodos ECG de movimientos reales de un ser humano.
- Entrenar la red neuronal mediante un algoritmo de entrenamiento supervisado.
- Implementar el modelo de machine learning entrenado en un FPGA para el control de los servomotores.
- Sintetizar circuito lógico de control de servomotores en el FPGA.
- Definir factores socioeconómicos y ambientales de la prótesis de mano.

**HIPÓTESIS:**

Hipótesis alternativa (H1): Mediante el uso de ondas cerebrales se puede entrenar un modelo supervisado que llega a controlar un prototipo de mano robótica con arquitectura antropomórfica.

Hipótesis nula (H0): Mediante el uso de ondas cerebrales no se pudo llegar a controlar un prototipo de mano robótica con arquitectura antropomórfica a través de un modelo supervisado de inteligencia artificial.

**CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES**

ACTIVIDADES	Primer semestre														
	SEMANAS														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Recopilación de información sobre avances en el campo de la robótica médica. (Sebastián-Katherine)															
Explorar la anatomía de la mano humana. (Sebastián-Katherine)															
Consultar a profesores especialistas en el campo de la inteligencia artificial. (Sebastián-Katherine)															
Consultar a especialistas en el tema de AES. (Sebastián-Katherine)															

Replanteamiento de hipótesis en base al nuevo conocimiento. (Sebastián-Katherine)															
Elaboración de marco teórico. (Sebastián-Katherine)															
Fabricar un amplificador de señales EMC. (Sebastián-Katherine)															
Sintetizar un módulo controlador de Servomotores. (Sebastián-Katherine)															
Diseñar la mecánica que deberá obedecer la prótesis. (Sebastián-Katherine)															
Propuesta de modelo 3D de cada miembro de la mano (Sebastián-Katherine)															
Elaboración de Pruebas. (Sebastián-Katherine)															
Unir cada miembro en un diseño final (Sebastián-Katherine)															
Generar datos de entrenamiento. (Sebastián-Katherine)															

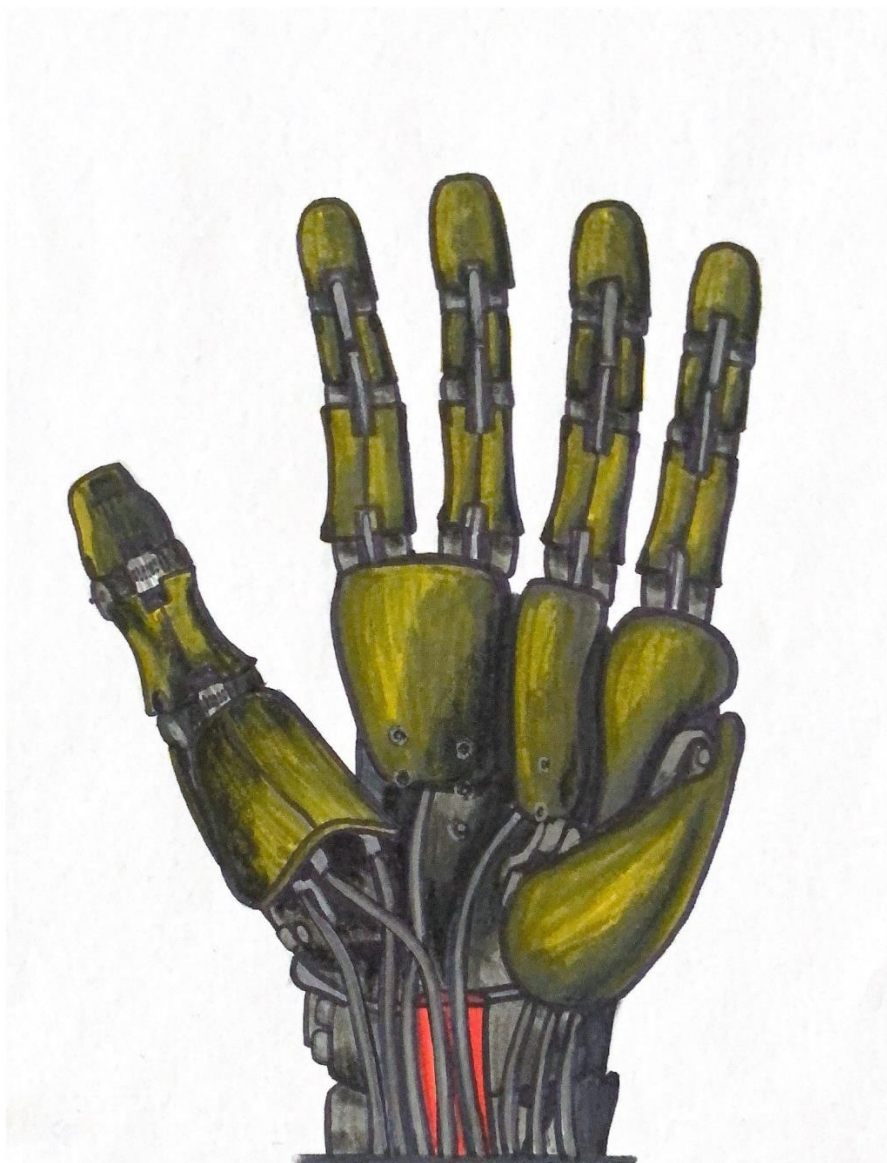
Entrenar la red neuronal. (Sebastián-Katherine)															
Implementar el modelo de machine learning. (Sebastián-Katherine)															
Correcciones y mejoras finales. (Sebastián-Katherine)															
Definir factores socioeconómicos y ambientales de la prótesis de mano. (Sebastián-Katherine)															
Elaboración de pruebas finales. (Sebastián-Katherine)															
Encuestas de satisfacción y evaluación. (Sebastián-Katherine)															
Interpretación de resultados. (Sebastián-Katherine)															
Generación final de resultados. (Sebastián-Katherine)															
Presentación final de resultados. (Sebastián-Katherine)															

## PRESUPUESTOS

Nombre	Cantidad	Precio unitario	Precio
Kit FPGA Altera Cyclone IV.	1	\$1,599.00 MXN	\$1,599.00 MXN
Servo Motor Mg995 TowerPro.	7	\$114.00 MXN	\$798.00 MXN
Placa Fenolica 30x30cm cobre.	1	\$180.00 MXN	\$180.00 MXN
Rollo 100gr soldadura.	1	\$160.00 MXN	\$160.00 MXN
Paquete cables jumper Dupont Hembra-hembra, Macho-macho, Hembra-macho.	1	\$94.00 MXN	\$94.00 MXN
Electrodo EMG.	12	\$38.94 MXN	\$467.28 MXN
Cable para 3 electrodos EMG.	2	\$150.00 MXN	\$300.00 MXN
Amplificador operacional TL084 10 piezas.	1	\$110.00 MXN	\$110.00 MXN

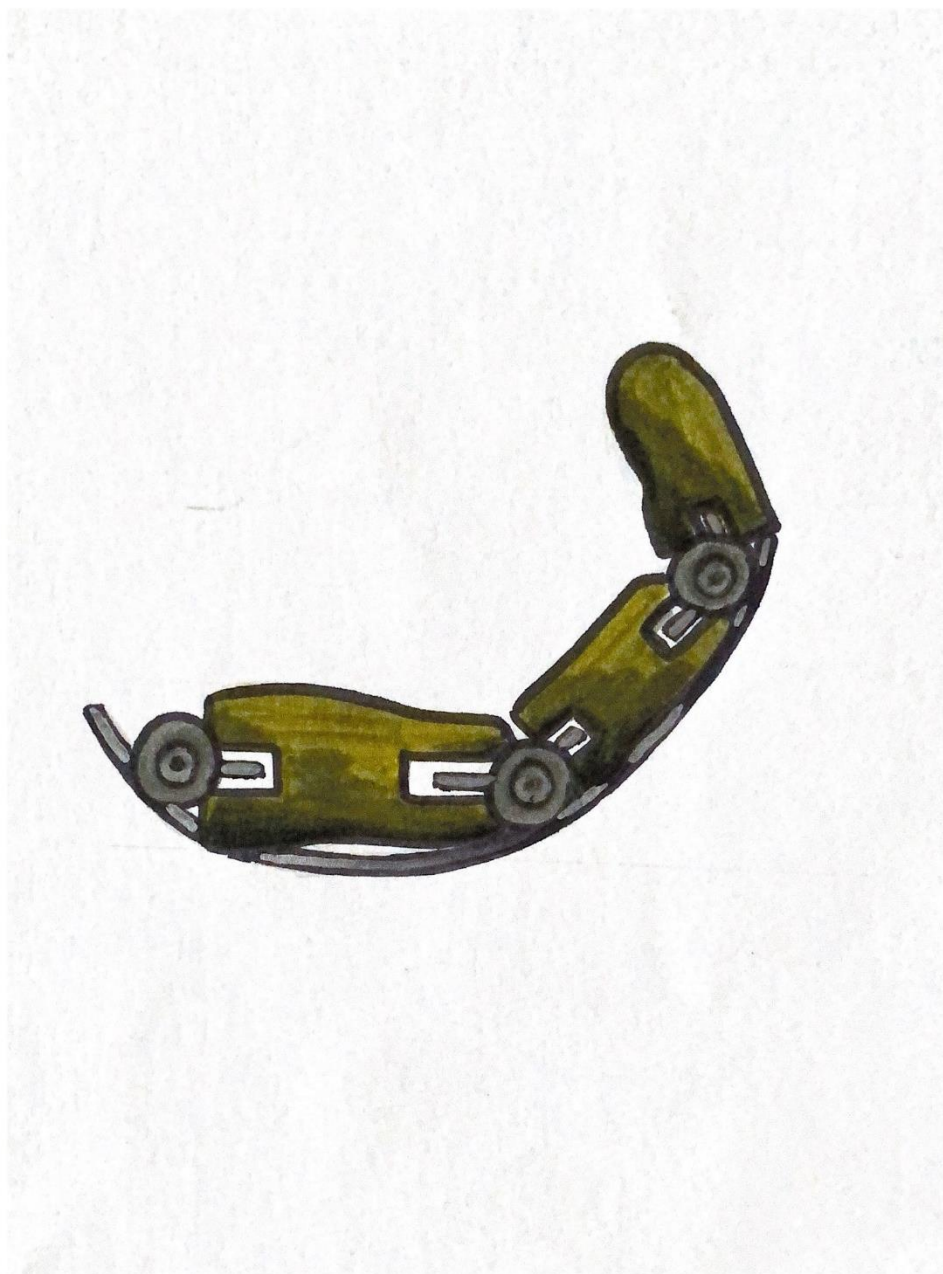
Capacitores cerámicos 300 piezas 30 valores diferentes de 10c/u.	1	\$90.00 MXN	\$90.00 MXN
ADC0808CCN 10 piezas PIPO.	1	\$417.00 MXN	\$417.00 MXN
Solidworks CAD Student edition	1	\$2,267.01 MXN	\$2,267.01 MXN
Impresión 3D del modelo	1	\$1,000 MXN	\$1,000 MXN
TOTAL	30		\$7,482.29 MXN

## DISEÑO



*Fig.1. Diseño de la prótesis completamente ensamblada.*





*Fig.2. Vista lateral del diseño de la extremidad.*

Fig. 1: Prótesis biométrica de 3 falanges en cada dedo y 2 en el pulgar, que consta de cable para realizar los movimientos mecánicos de contracción y alivio de las extremidades. Cada articulación consta de 1 servomotor (1 ligamento) para generar la mecánica correspondiente de los dedos.

Fig.2: Extremidad que utiliza resortes como tendón extensor, ya que estos por lo general tienen una gran predictibilidad en la posición y esfuerzo que se realiza, a parte que son económicos y fáciles de conseguir. Su movimiento es definido por la dirección en que el servomotor gira, contrayendo o estrechando el ligamento, en este caso un alambre o cable.