

DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES



UNIVERSIDAD DE SONORA

ING. EN TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA

SISTEMA DE CONTROL CINEMÁTICO POR FLEXIÓN
PARA PRÓTESIS

Tesis Sometida al Departamento de Investigación en Física como
Requisito para la Obtención del Grado en Ingeniería en Tecnología
Electrónica

Yescas Kuri Ricardo Antonio

Director de tesis: **Dr. Roberto Gómez Fuentes**

Hermosillo sonora - 13 Abril 2012

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

A Mis Padres

Gracias por el apoyo otorgado, a mi familia, amigos, compañeros de clase, profesores y personal académico, que ayudaron a culminar mi carrera profesional.

En especial al Dr. Dainet Berman Mendoza y al Dr. Marco Mendoza Gutiérrez por haber revisado mi tesis.

A mis padres Ing. Ruben Yescas Suarez y Griselda Kuri Gallardo, por guiar mi vida en la dirección correcta, haciéndome una persona llena de valores, lo cual en la actualidad es lo que te diferencia del resto.

Gracias.

Índice general

1. Introducción	3
1.1. Motivación	4
1.2. Objetivos	4
1.3. Visión General	4
2. Estado del Arte	7
2.1. Introducción	7
2.2. Características Generales	10
2.3. El control en la manipulación de robots	11
3. Circuitos, Sensores y Actuadores	15
3.1. Introducción	15
3.2. PWM (Pulse Width Modulation)	15
3.3. Sensores y Actuadores	18
3.4. Sensores	20
3.5. Características y funcionamiento de los sensores	20
3.6. Características del flexómetro:	21
3.7. Actuadores	22
3.8. Servomotores	23
3.9. Funcionamiento	24
4. Diseño Mecánico y Construcción	29
4.1. Introducción	29
4.2. Diseño Mecánico	29
5. Resultados	43
6. Conclusiones	45
7. Índice de figuras	47
8. Bibliografía	49

Capítulo 1

Introducción

En la actualidad, escuchar las palabras robot, robótica, electrónica empieza a ser más común. A medida que pasa el tiempo, al menos en este país, los jóvenes empiezan a introducirse en el área de la electrónica, lo cual lleva a que la electrónica y todos sus derivados vayan creciendo poco a poco. El crecimiento de los sistemas mecatrónicos es impulsado por el crecimiento en las áreas constitutivas. Los avances en las disciplinas tradicionales impulsan el crecimiento de los sistemas mecatrónicos. Por ejemplo, la invención del microprocesador tuvo un efecto profundo en el rediseño de los sistemas mecánicos y de diseño de nuevos sistemas mecatrónicos. Debemos esperar que los continuos avances en el costo efectivo de microprocesadores y microcontroladores, el desarrollo de sensores y actuadores, las metodologías de control adaptable y de programación en tiempo real, redes y tecnologías inalámbricas, creación de prototipos virtuales, etc. Ayuden al desarrollo rápido y continuo en estas áreas.

El Internet es una tecnología que, en combinación con la tecnología inalámbrica, también puede dar lugar a nuevos productos mecatrónicos. Aunque la evolución de la automoción proporcionará ejemplos vivos de desarrollo, hay numerosos ejemplos de sistemas inteligentes en todos los ámbitos de la vida, incluidos los electrodomésticos inteligentes, como lavavajillas, aspiradoras, microondas, y los dispositivos inalámbricos de red habilitados. Otras áreas que se beneficiarán de los avances mecatrónicos pueden incluir la robótica, la industria manufacturera, la industria aeroespacial, la tecnología y el transporte.

El futuro de la mecatrónica es muy abierto [23]. En México, algunas universidades invierten en la investigación para el desarrollo de dispositivos mecatrónicos. La UNAM hace importantes investigaciones en el desarrollo de robótica y prótesis inteligentes. El la Universidad de Sonora solo la carrera de ingeniería se dedica a la investigación y el desarrollo de dispositivos mecatrónicos. En este proyecto de tesis se plantea la implementación y caracterización de un sistema de control manual por flexión para prótesis.

1.1. Motivación

En la actualidad existen muchos trabajos de alto riesgo para los seres humanos. El trabajo de esta tesis plantea minimizar la exposición de las personas a medios ambientes hostiles (temperaturas extremas, exposición a la radiación, etc.) por medio de un sistema de control manual. El proyecto propone el desarrollo de un guante que, permite por medio de sensores de flexión, controlar una mano robótica como actuador. Este sistema evita el uso de palancas o botones emulando los movimientos naturales de la mano, lo cual significa que cualquier persona podría controlarlo.

1.2. Objetivos

Este trabajo de tesis tiene como objetivo, desarrollar un sistema que permita la manipulación remota, segura y precisa de sustancias o materiales peligrosos sin que se vea comprometida la integridad física del operario. Así mismo, sentar las bases para el desarrollo de prótesis. La creación de máquinas se lleva a cabo debido a que el ser humano muchas veces se ve comprometido en su seguridad, para esto se crean máquinas, las cuales pueden ser capaces de hacer cosas con mayor precisión que una persona, cargar cosas más pesadas, procesos repetitivos durante horas sin necesidad de descansar, trabajar en zonas donde una persona simplemente no puede estar presente, entre otras.

El propósito a futuro de esta tesis es poder controlar un brazo robótico con impulsos eléctricos. La señal biológica se puede obtener de muchas formas, esta información puede ser grabada y manipulada para posteriormente actuar en un sistema de control o en este caso de manipulación de una prótesis [19].

1.3. Visión General

Esta tesis esta compuesta por 4 capítulos más, los cuales están descritos de la siguiente manera:

- En el capítulo II se expone el estado del arte, los brazos robóticos que se pueden encontrar en el mercado, un poco de historia acerca de las cosas que se han hecho con anterioridad y una pequeña introducción de lo que se verá en esta tesis. También se habla de los sistemas de control más utilizados.
 - El capítulo III describe el circuito y los componentes a utilizar, una reseña de cómo funcionan y por qué se tomó la decisión de usar cada pieza que se encuentra en nuestra mano robótica.
-

- El capítulo IV el diseño y la construcción de la mano robótica son mostrados, explicando paso a paso cómo se hizo y cómo se ensambló cada pieza.
 - Finalmente en el capítulo V las conclusiones y resultados de este trabajo de tesis son presentados.
-

Capítulo 2

Estado del Arte

2.1. Introducción

Hoy en día existen muchos brazos mecánicos, la mayoría hechos para la industria, aunque también los podemos hallar en procesos quirúrgicos y en lugares como el espacio donde es mejor operar algún brazo desde una zona segura sin arriesgar la vida humana. Al dispositivo mecánico que puede ser programado para realizar alguna tarea de manipulación o la locomoción bajo control automático se le llama Robot, Existen varios tipos de robots, como:

- Robot "Pick and place": Es un robot simple, a menudo con sólo dos o tres grados de libertad, que transfiere artículos de un lugar a otro por medio de movimientos punto a punto.
- Robot "Manipulador": Es un mecanismo que por lo general consiste en una serie de segmentos, articulados, con el fin de agarrar y mover objetos, generalmente cuenta con varios grados de libertad. Puede ser controlado remotamente por un ordenador o por un humano. Nota: Las frases "Por control remoto... Por un ser humano" indican que este dispositivo no es automático.
- Robot "Inteligente": Un robot que puede ser programado para tomar decisiones propias [ref].
- Robot "Fixed-Stop": Un robot con control de parada de punto, pero no hay control de trayectoria, es decir, cada uno de sus ejes tiene un límite fijo en cada extremo de su recorrido y no se puede detener excepto en uno o el otro de estos límites. Es un robot con N grados de libertad por lo tanto, puede detenerse en no más de $2N$ locaciones (donde incluye la ubicación, posición y orientación).
- Robot "Android": Es un robot que parece un ser humano en el aspecto físico.

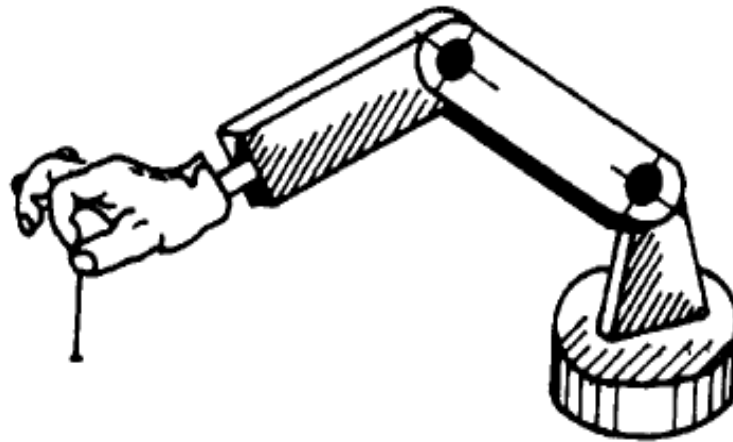


Figura 2.1: Robot manipulador o brazo robótico [16].

La figura 2.2 muestra la imagen de un brazo robótico creado por FESTO, el cual es uno de los más avanzados y precisos del mundo, ya que cuenta con músculos, tendones y huesos artificiales que son controlados por una computadora.

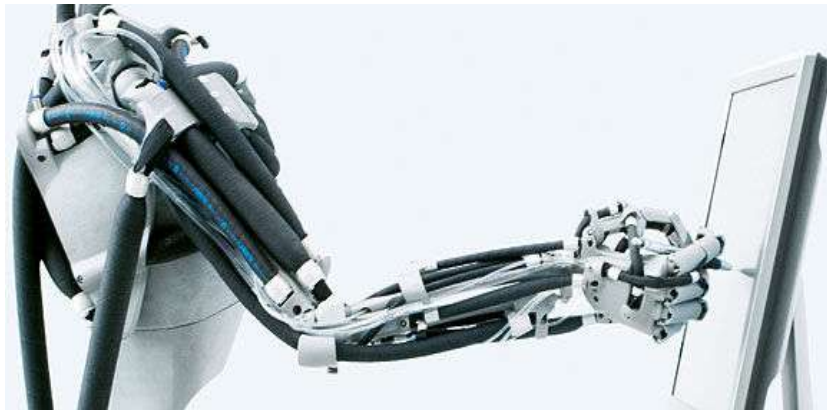


Figura 2.2: Brazo robótico de la empresa FESTO [1].

El siguiente brazo fue creado "CEBEK", tiene movimiento en cualquier dirección, es muy preciso, uno de los problemas que podríamos mencionar es que solo cuenta con una pinza, esta hecha de plástico, motores dc, es controlado por palancas lo cual lo hace depender de un operador y la precisión de la persona que lo esté operando, es comercial y se puede ordenar por internet. Este hecho con propósitos de aprendizaje, se vende desarmado, y el usuario lo va armando poco a poco.



Figura 2.3: Brazo robótico fabricado por la empresa CEBEK[2].

El siguiente brazo es el famoso “Shadow Arm” (Brazo de la sombra), cuenta con músculos artificiales los cuales imitan las fibras musculares de un brazo humano, esto lo hace con ayuda de aire, contrayéndose y extrayéndose. Es uno de los más fuertes en el mercado y obviamente de los más caros. Es muy preciso y tiene movimientos individuales, es controlado por una computadora, la cual con ayuda de la neumática hacen posible el funcionamiento de este brazo.

Gracias a que cada vez más personas dedican sus investigaciones al desarrollo de tecnología de este tipo, los brazos son más precisos, ya que la finalidad de la mayoría es imitar los movimientos de el brazo humano, ya que al construir un brazo con los mismos movimientos de un brazo humano podemos ser capaces de realizar tareas en donde existe un riesgo para una persona o el acceso a ciertos lugares es muy remoto.

Al principio la construcción de máquinas o robots era sólo para el área de la industria automotriz, y sólo se podían encontrar en esos lugares, hoy en día podemos encontrar brazos robóticos en cualquier lugar, desde la industria hasta en una tienda de juguetes, pasando por escuelas, laboratorios etc.

Hablemos un poco de realidad y ficción, desde hace mucho tiempo se dice que los robots están a la vuelta de la esquina y que estos van a sustituir cosas que nosotros hacemos a diario, como labores domésticas, pero la verdad es que hoy en día los robots domésticos no pasan de simples diseños que siguen una línea y van evadiendo obstáculos.



Figura 2.4: Shadow arm es la mano comercial más avanzada del mundo creada por Shadow Robot Company [3].

Un robot, podría decirse que es una maravilla, no se cansa, puede trabajar largas jornadas, hace trabajos 10 veces más duros que una persona común, podría pensarse que todo está resuelto gracias a los robots, pero la realidad es que los robots son naturalmente un problema, ya que van remplazando a los obreros, o simplemente es mas fácil que algún robot haga el trabajo por nosotros, haciéndonos dependientes de una máquina.

Como ya se ha mencionado, los robots son muy útiles por una gran variedad de razones, no se enferman, tampoco se aburren lo cual significa que pueden hacer una tarea repetitiva durante décadas, esto ayuda a economizar precios para las industrias, ya que las empresas ocupan mayor precisión, mayor rapidez y producción a gran escala, lo cual simplemente con personas sería casi imposible.

Al menos esas son algunas de las razones por las cuales se decidió tomar como tema de tesis el diseño y control de una mano robótica, la cual podrá ser controlada desde una zona segura por medio de un guante, sensando la posición de la mano del usuario.

2.2. Características Generales

El proyecto de tesis esta dividido en 3 partes.

- Diseño mecánico de la mano.
- Sensado de los movimientos de la mano por medio de un guante.
- Diseño del sistema de control por flexión.

A continuación un diagrama de bloques describiendo las tres partes.

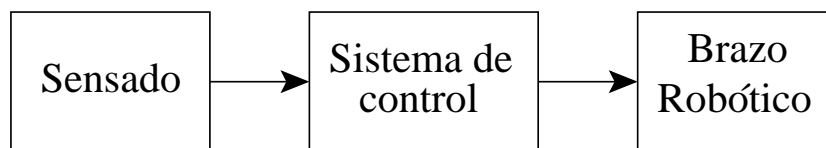


Figura 2.5: Diagrama a bloques.

Las ventajas de esta mano robótica serán la maniobrabilidad, la precisión de sus movimientos, rigidez y sobre todo la facilidad de controlar la mano. El sistema de control por flexión puede adaptarse en muchos lugares, como podría ser en una máquina de palancas, simplemente tendría que hacerse el arreglo para sustituir las palancas y adecuar los sensores en las partes de nuestro cuerpo para imitar la funcionalidad de las palancas, en este caso con nuestra mano. No se nos deben olvidar las tres leyes de la robótica, propuestas por Isaac Asimov en 1942; las cuales son:

- Un robot no debe dañar al ser humano, o permitir que con una acción el mismo humano se dañe.
- Un robot debe obedecer las órdenes dadas por un humano, a menos que estén en conflicto con la primera ley.
- Un robot debe de proteger su propia existencia, mientras ésta no entre en conflicto con la primera y segunda ley.

Tomando en cuenta estas leyes, se puede pasar a la construcción de nuestra mano robótica, junto con su sistema de control y el sensado.

2.3. El control en la manipulación de robots

El Control automático desempeña un papel importante en los procesos de manufactura, industriales, navales, aeroespaciales, económicos, biológicos, controlados por robots. Algunos tipos de control empleados para estos procesos serán descritos a continuación.

- **Control Difuso:** La lógica difusa o la lógica heurística se basan en lo relativo de lo observado como posición diferencial. Este tipo de lógica toma dos valores aleatorios, pero contextualizados y referidos entre sí. Así, por ejemplo, una persona que mida 2 metros es claramente una persona alta, si previamente se ha tomado el valor de persona baja y se ha establecido en 1 metro. Ambos valores están contextualizados a personas y referidos a una medida métrica lineal. La lógica difusa se utiliza cuando la complejidad del proceso en cuestión es muy alta y no existen modelos matemáticos precisos, para procesos altamente no lineales y cuando se envuelven definiciones y conocimiento no estrictamente definido (impreciso o subjetivo). En cambio, no es una buena idea usarla cuando algún modelo matemático ya soluciona eficientemente el problema, cuando los problemas son lineales o cuando no tienen solución. Como principal ventaja, cabe destacar los excelentes resultados que brinda un sistema de control basado en lógica difusa: ofrece salidas de una forma veloz y precisa, disminuyendo así las transiciones de estados fundamentales en el entorno físico que controle. Por ejemplo, si el aire acondicionado se encendiese al llegar a la temperatura de 30 °, y la temperatura actual oscila entre los 29 °-30 °, nuestro sistema de aire acondicionado estaría encendiéndose y apagándose continuamente, con el gasto energético que ello conllevaría. Si estuviese regulado por lógica difusa, esos 30 ° no serían ningún umbral, y el sistema de control aprendería a mantener una temperatura estable sin continuos apagados y encendidos. [4]
 - **Control PID:** El control PID (proportional-integral-derivative) es un mecanismo de retroalimentación de lazo cerrado, ampliamente utilizado en sistemas de control industrial. PID es el controlador de retroalimentación más utilizado comúnmente. Un controlador PID calcula el valor de un "error" como la diferencia entre una variable de un proceso y un punto de ajuste deseado. El controlador intenta reducir al mínimo el error mediante el ajuste de las entradas de control. Una ventaja distintiva de los controladores PID es que dos controladores PID se pueden utilizar juntos para dar un mejor rendimiento dinámico. Esto se denomina control en cascada PID. En el control en cascada hay dos PIDs dispuestos con un PID para controlar el punto de consigna de otro. Un controlador PID actúa como controlador de lazo exterior, que controla el parámetro principal físico, tales como el nivel del líquido o la velocidad. El otro controlador actúa como controlador de lazo interior, que lee la salida del controlador de lazo externo como punto de referencia, generalmente controlar aun más rápido los cambios de parámetros, el caudal o la aceleración [5].
 - **Control Cinemático:** La cinemática es la rama de la mecánica clásica que estudia las leyes del movimiento (cambios de posición) de los cuerpos, sin tomar en cuenta las causas que lo producen, limitándose esencialmente, al estudio de la trayectoria en función del tiempo. La imagen muestra el tipo de robot del cual trata ésta tesis. La finalidad del control cinemático es establecer las trayectorias que ha de seguir ca-
-

da articulación del robot para lograr los objetivos fijados por el usuario, teniendo en cuenta las restricciones físicas de los accionamientos y atendiendo a criterios de suavidad y precisión. La función principal del control cinemático es generar las referencias articulares para el control dinámico a partir de las trayectorias articulares generadas, teniendo en cuenta los datos del programador, las limitaciones físicas, restricciones y el modelo cinemático del robot [6].

Capítulo 3

Circuitos, Sensores y Actuadores

3.1. Introducción

En el siguiente capítulo se hablará acerca del circuito a utilizar en nuestra mano, para que el sistema de control por flexión funcione, el circuito está adecuado a las necesidades y los componentes que tenemos. Es fundamental estudiar la teoría de electrónica analógica y digital, y aprender la función de las resistencias, condensadores, transistores y otros componentes electrónicos comunes. Para operar hasta los más simples robots se requiere de un circuito electrónico de un tipo u otro. La construcción de estos circuitos determinará en gran medida qué tan bien funcionará el robot. El uso de técnicas apropiadas de construcción asegurará el buen funcionamiento y durabilidad del circuito [18].

3.2. PWM (Pulse Width Modulation)

La modulación por ancho de pulsos (también conocida como PWM, por sus siglas en inglés pulse-width-modulation) de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica, ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga. El ciclo de trabajo de una señal periódica es el ancho relativo de su parte positiva en relación con el período. Expresado matemáticamente:

$$D = \frac{\tau}{T} \quad (3.1)$$

Donde:

D = Ciclo de trabajo.

τ = Tiempo en el que la función es positiva.

T = periodo de la función.

La modulación por ancho de pulsos es una técnica utilizada para regular la velocidad de giro de los motores eléctricos de inducción o asíncronos. Mantiene el par del motor constante y no supone un desaprovechamiento de la energía eléctrica. La modulación por ancho de pulsos también se usa para controlar servomotores, los cuales modifican su posición de acuerdo al ancho del pulso enviado cada un cierto período que depende de cada servo motor [7].

Al momento de usar servomotores, se requiere de un circuito, el cual nos arroje un tren de pulsos con determinadas características y además con el cual podamos variar el ancho de pulso. Para cumplir con estas características la manera más fácil de crear un tren de pulsos y el cual pueda variarse por medio de nuestros flexómetros es usando un Timer 555.

El circuito integrado 555 es de bajo costo y de grandes prestaciones. Inicialmente fue desarrollado por la firma Signetics. En la actualidad es construido por muchos otros fabricantes. Entre sus aplicaciones principales cabe destacar las de multivibrador estable (dos estados metaestables) y monoestable (un estado estable y otro metaestable), detector de impulsos, etcétera. Este circuito consiste básicamente en dos comparadores, resistencia divisora de voltaje, un flip flop y descarga al transmisor. El estado de salida puede ser controlado por sus propiedades en señal de entrada y reloj controlador de los elementos que contienen a este [8]. El temporizador 555 se puede conectar para que funcione de diferentes maneras, entre los más importantes están: como multivibrador astable y como multivibrador monoestable. En nuestro caso se conectara de la forma monoestable.

En este caso el circuito entrega a su salida un solo pulso de un ancho establecido por el diseñador. El esquema de conexión es el que se muestra en la figura 3.1. La fórmula para calcular el tiempo de duración (tiempo en el que la salida está en nivel alto) es:

$$T = \ln(3)(R)(C) \quad (3.2)$$

$$T \approx 1,1(R)(C) \quad (3.3)$$

Nótese que es necesario que la señal de disparo, en la terminal 2 del 555, sea de nivel bajo y de muy corta duración para iniciar la señal de salida [9].

Como se mencionará más adelante en este capítulo para que nuestros servomotores funcionen correctamente se requiere de un pulso de entre 0.5ms y 2.5ms, al momento de ingresarle un pulso de 0.5ms estará en una posición de 0° y conforme se aumenta el ancho del pulso este se irá moviendo hasta los 180° cuando el ancho del pulso sea de 2.5ms. Todo esto dependiendo de la flexión que se le de a nuestro flexómetro. El diagrama del circuito 555 a utilizar es el siguiente:

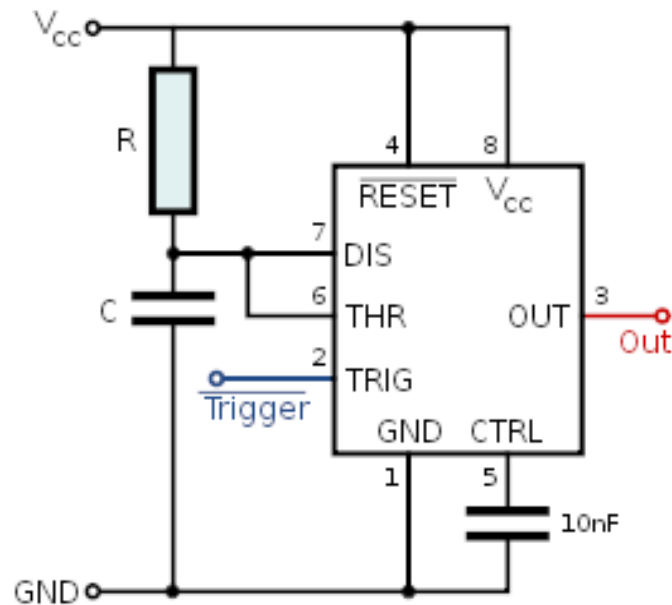


Figura 3.1: Configuración del 555 en modo Monoestable[15].

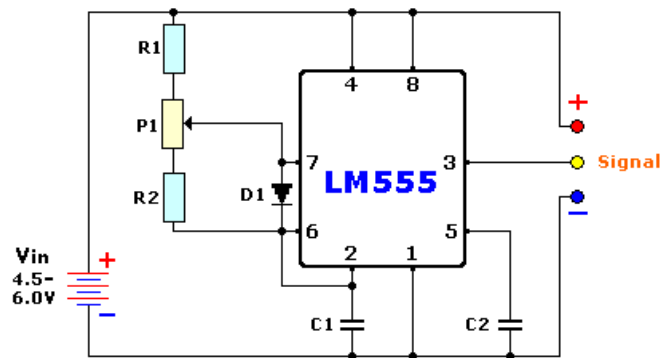


Figura 3.2: Diagrama del circuito controlador del Servomotor[15].

El cual nos arrojará un tren de pulsos, el pulso dependerá de los componentes que se utilicen. Para el circuito anterior que vemos en la imagen, aparte de buscar los componentes adecuados para que la señal cuadrada de salida nos de un determinado ancho de pulso, se tendrá que adaptar el circuito para añadirle nuestros flexómetros, los cuales son los que modularán el ancho del pulso, haciendo de este circuito un controlador de posición para los servomotores. Al momento de simular este circuito, buscar los componentes adecuados y adaptar los sensores este nos quedaría como se muestra en la figura 3.3:

Los flexómetro que se están utilizando son los que en el circuito de la figura 3.3 se

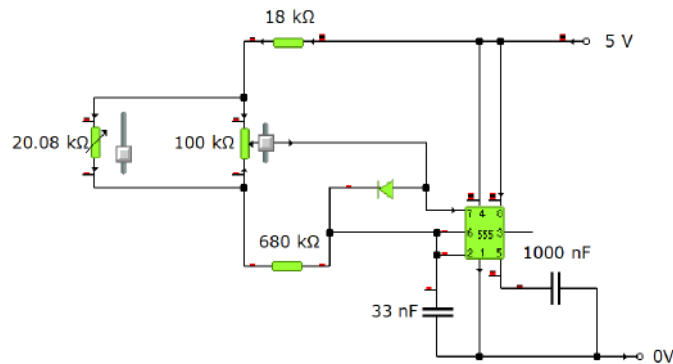


Figura 3.3: Diagrama del circuito a utilizar para el control cinemático por flexión.

representan a la izquierda como resistencia variable, la cual va de los $20k\Omega$ a los $70k\Omega$. Este circuito controlará un dedo únicamente, por lo que se requiere hacer 5 circuitos idénticos, los cuales irán conectados cada uno a su flexómetro por un extremo y a la salida a cada servomotor, como se muestra en la siguiente imagen.

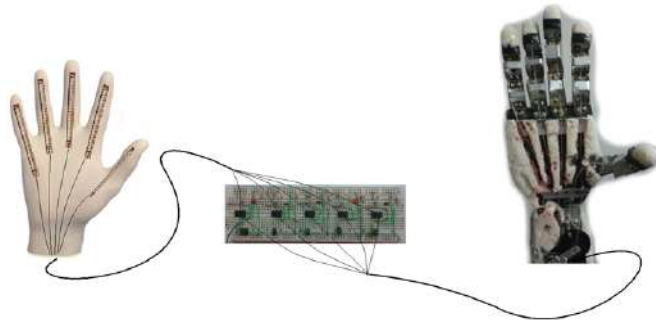


Figura 3.4: Imagen del diagrama de bloques caracterizado.

El pulso que obtenemos en la salida cuando el flexómetro esta en reposo (no flexionado) es mostrado en la figura 3.5.

Conforme se flexiona, el ancho del pulso va cambiando, el pulso varía de los 0.5ms a los 2.5ms.

3.3. Sensores y Actuadores

Introducción: Esta sección trata acerca de los componentes a utilizar en nuestra mano robótica, tales como los sensores y los actuadores de la mano, ya que con el circuito adecuado, los sensores le enviarán al circuito la información de la posición en la que se en-

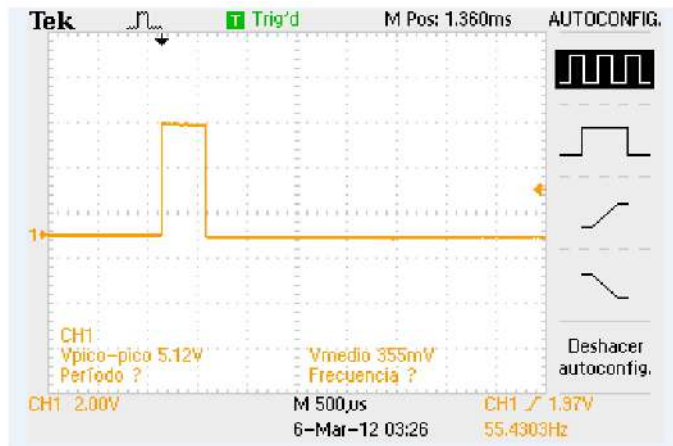


Figura 3.5: Pulso en el osciloscopio del circuito con el flexómetro en reposo.



Figura 3.6: Pulso en el osciloscopio del circuito con el flexómetro flexionado.

cuentran, y éste enviara la señal a los actuadores para simular los movimientos de nuestro brazo. Se hablará un poco de cómo funcionan y por qué se tomo la decisión de usar este tipo de componentes.

Primeramente, para saber que tipo de sensores se utilizarían, se tenia que tener muy claro lo que se haría, ya que los sensores se tenían que adecuar a nuestra mano, los sensores tenían que ser los más chicos posibles, también se tenia que imaginar como quedarían estos acomodados previo al desarrollo del guante, ya que se tendrían que montar en él y no deberían de estorbar al movimiento natural de la mano, también tendrían que estar accesibles tanto económicamente como físicamente. La comunicación entre la unidad de control de la mano robótica y el usuario se realiza a través de una terminal o una "caja técnica". La caja técnica es un método simple pero no permite sistemas de control muy

complejos. El sistema de control recibe la información a través de los sensores y este la transforma para que pueda utilizarse dentro de la trayectoria del robot a nivel estratégico de control.

3.4. Sensores

Un sensor, es un dispositivo diseñado para recibir información de una magnitud del exterior y transformarla en otra magnitud, normalmente eléctrica, que sea capaz de ser cuantificada y manipulada. El tipo de sensores utilizados en esta mano son de tipo pasivo, los cuales son todos aquellos componentes que varían su magnitud en función de una variable. Los sensores pueden ser de temperatura, fuerza, presión, resistencia, altura, etc. En nuestro caso utilizaremos Flexómetros, los cuales producen un cambio de resistencia en sus dos terminales al momento de ser flexionados, las cuales serán colocadas en lugares estratégicos para que nuestra mano funcione como uno desee. Estos sensores son utilizados mayormente para estudiar el cambio en las propiedades de un material por ejemplo; hasta que extremo puede ser doblado o estirado un material físicamente. Con ayuda de mi asesor de tesis, Dr. Roberto Gómez se determinó el uso de estos flexómetros, ya que podríamos pasar corriente a través de estas resistencias variables, y con el circuito adecuado determinar la posición de los dedos de nuestra mano por medio del dobles del flexómetro. También se decidió el uso de estos sensores ya que son tan delgados como una hoja de papel, y pueden ser ordenados de acuerdo al tamaño que uno vaya a utilizar. Se observó que podrían fácilmente ser instalados en un guante común, esto nos facilitaría el diseño del guante y también de los costos que éste tendría. Como ya se mencionó, los flexómetros son resistencias variables, entonces para poder determinar que tipo de flexómetros se utilizarían, se tendría que tomar en cuenta el tamaño y la resistividad de los flexómetros (ya que existen de diferente resistividad y de diferente tamaño), los cuales están relacionados directamente con el circuito, ya que el circuito será el que mandará la posición en la que se encuentra nuestra mano por medio de los flexómetros.

3.5. Características y funcionamiento de los sensores

Al momento de realizar el guante, algunos compañeros de clase y profesores desconocían este tipo de sensores, por lo que aquí están sus características y como funcionan. A continuación una imagen del flexómetro.

Las medidas de los flexómetros varían, los que nosotros utilizamos son de 10 cm aproximadamente, y varían de $20k\Omega$ a $70k\Omega$.



Figura 3.7: Sensor de Flexión. Patentado por "Spectra Symbols". [10]

3.6. Características del flexómetro:

- El potencial nominal es de 0.50 watts continuos y 1 watt de carga máxima instantánea.
- El rango de temperatura va desde los $-35^{\circ}C$ a los $80^{\circ}C$.
- Tienen un ciclo de vida aproximado a las 1000 flexiones.

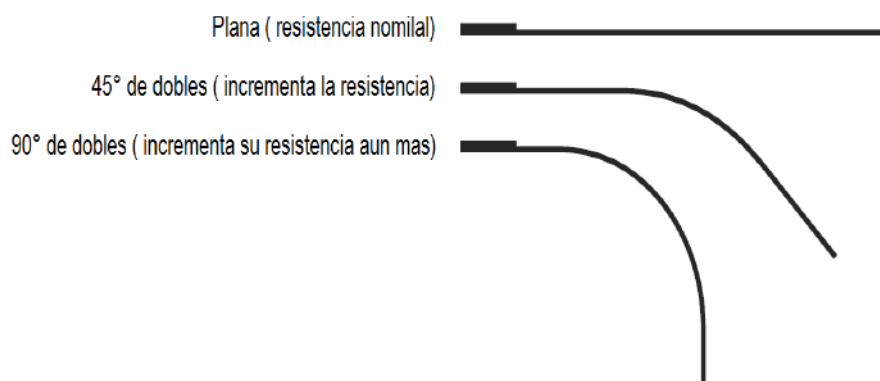


Figura 3.8: Gráfica del funcionamiento de acuerdo al grado de flexión [10].

En el interior del sensor de flexión existen elementos resistivos de carbono en un sustrato flexible y delgado. Más carbono significa menos resistencia. Cuando el sustrato se dobla el sensor produce una resistencia de salida con respecto al radio su dobles. Pero,

¿Por qué varía su resistencia al ser flexionado? El sensor consiste en una película de plástico impresa con una tinta especial de carbono. La película no es nada inusual, la verdadera innovación es la tinta. La resistencia de esta tinta disminuye al ser doblada. La tinta se puede imprimir en prácticamente cualquier forma personalizada y tamaño de película [21].

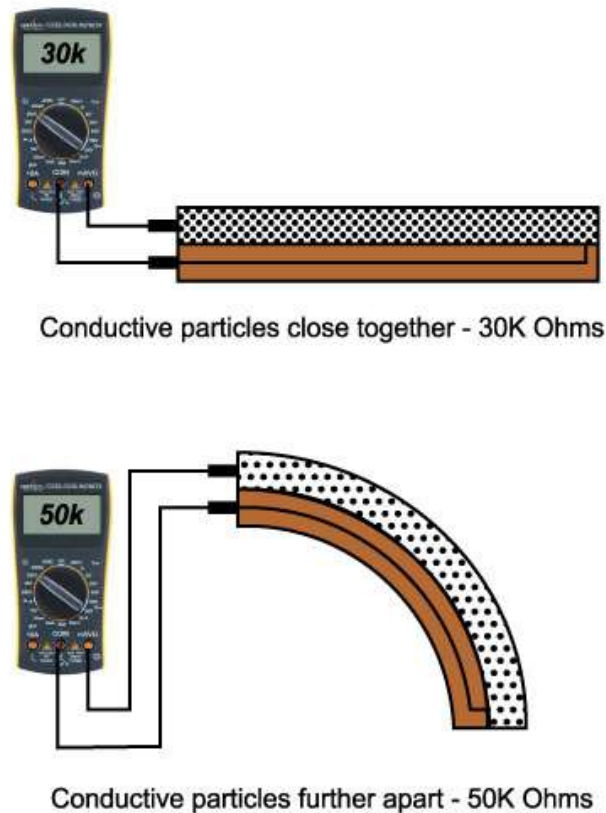


Figura 3.9: Partículas conductivas en un flexómetro en reposo y al momento de ser flexionado [22].

3.7. Actuadores

Los actuadores son dispositivos capaces de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso. Éste recibe la orden de un regulador o controlador y en función a ella genera la orden para activar un elemento final de control como, por ejemplo, una válvula. Existen varios tipos de actuadores como son:

- Electrónicos
- Neumáticos
- Hidráulicos
- Eléctricos

En nuestro caso hablaremos solo de actuadores eléctricos, Además de la estructura mecánica, los servomotores serán fundamentales en el diseño de nuestra mano, ya que por su tamaño y gran fuerza serán ideales, con el arreglo adecuado podremos entonces simular los músculos y tendones de una mano humana, con ayuda de los sensores y del circuito adecuado se podrá entonces imitar los movimientos de nuestra mano.

3.8. Servomotores

Un servomotor o servo es un motor de corriente continua al cual se le puede controlar su posición. Es capaz de ubicarse en cualquier posición dentro de un rango de operación (generalmente de 180°) y mantenerse estable en dicha posición. Los servos se suelen utilizar en robótica, automática y modelismo como aviones y carros de R/C debido a su gran precisión en el posicionamiento.

Los servomotores están compuestos por 4 elementos fundamentales:

- Motor de corriente continua: Es el elemento que le brinda movilidad al servo. Cuando se aplica un potencial a sus dos terminales, este motor gira en un sentido a su velocidad máxima. Si el voltaje aplicado en sus dos terminales es inverso, el sentido de giro también se invierte.
 - Engranajes: Engranajes que cambian la velocidad de giro del motor para darle mayor fuerza al giro.
 - Sensor de desplazamiento: Suele ser un potenciómetro que se encuentra colocado en el eje de la salida del motor, el cual sirve para saber el posicionamiento angular del motor.
 - Circuito de control: Es una placa que utiliza una estrategia de control de la posición por realimentación. Para ello compara la señal de entrada de frecuencia (posición deseada) con la posición actual medida por el potenciómetro. La diferencia entre la posición actual y la deseada es utilizada para mover el motor a la posición necesaria para eliminar el error.
-



Figura 3.10: Componentes de un servomotor

A continuación la figura 3.10 muestra los componentes de un servomotor con sus componentes:

Componentes de la figura 3.10, a) Carcasa; b) motor DC; c) potenciómetro; d) circuito de control; e) engranes; f) brazo o mariposa (es el elemento terminal del servo).

El servomotor se ve físicamente de la siguiente manera en la figura 3.11.



Figura 3.11: Servomotor Comercial

3.9. Funcionamiento

Los servomotores tienen tres cables, el color de estos cables dependerá de la marca del servomotor, en nuestro caso estamos usando servomotores marca FUTABA, el cual tiene 2 cables de alimentación (positivo y negativo), el voltaje depende del modelo que se utiliza,

varia de 5V a 15V, el tercer cable es el de control, el cual le indica la posición deseada al circuito del servo mediante una señal PWM (Pulse Width Modulation), a continuación una imagen del cableado:

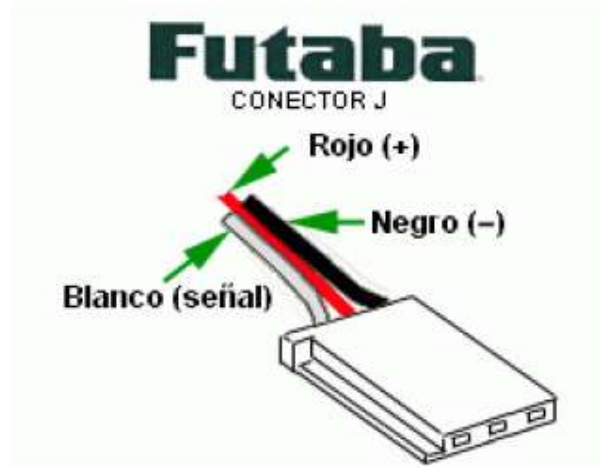


Figura 3.12: Indicadores del conector para un servomotor marca “Futaba” [11].

Las señales PWM utilizadas para controlar los servos están formadas por pulsos positivos cuya duración es proporcional a la posición deseada del servo y que se repiten cada 20ms (50Hz). Todos los servos pueden funcionar correctamente en un rango de movimiento de 90°, que se corresponde con pulsos PWM comprendidos entre 0.9 y 2.1ms. Sin embargo, también existen servos que se pueden mover en un rango extendido de 180° y sus pulsos de control varían entre 0.5 y 2.5ms. Para mantener fijo un servo en una posición habrá que enviar periódicamente el pulso correspondiente; ya que si no recibe señales, el eje del servo quedará libre y se podrá mover ejerciendo una leve presión.

La figura 3.13. Muestra un comparativo de la señal de entrada con la posición del servomotor.

Además de la estructura mecánica, los servomotores serán fundamentales en el diseño de nuestra mano, ya que por su tamaño y gran fuerza serán ideales, con el arreglo adecuado podremos entonces simular los músculos y tendones de una mano humana, con ayuda de los sensores y del circuito adecuado se podrá entonces imitar los movimientos de nuestra mano.

La disposición física de los flexómetros es de suma importancia, ya que con estos se envían los niveles de voltaje hacia los controladores y estos a su vez permiten controlar las posiciones de los servomotores. Las figuras 3.14, 3.15 y 3.16 muestran los flexómetros.

La figura 3.15 muestra el conjunto de sensores listos para ser incorporados al guante que los mantendrá fijos, permitiendo la flexión de los mismos.

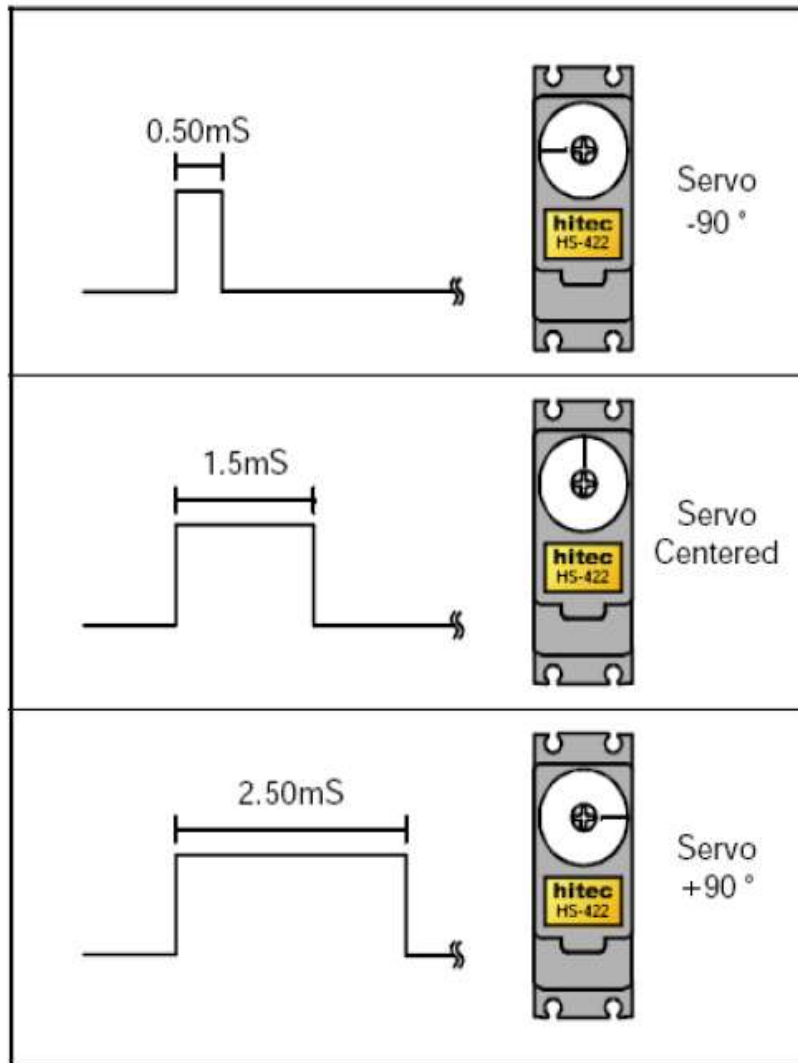


Figura 3.13: Estados del servomotor dependiendo del ancho de pulso que reciba [14].

Finalmente en la figura 3.16 se muestra el guante, donde los sensores de flexión son colocados.



Figura 3.14: Dos sensores de flexión, los cuales le indicarán a nuestra mano la posición de los dedos.

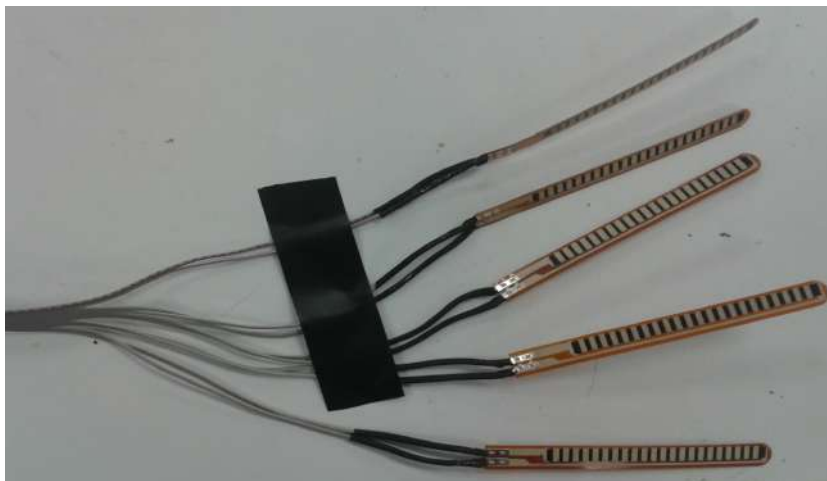


Figura 3.15: Sensores de flexión listos para adecuarse a nuestra mano por medio de un guante.



Figura 3.16: Guante donde se ubican los flexómetros, las marcas muestran donde fueron colocados.

Capítulo 4

Diseño Mecánico y Construcción

4.1. Introducción

Al momento de tener algo en mente, como una idea, se recomienda escribirla o dibujarla, así comenzó este proyecto de tesis, con la idea muy clara de realizar una mano mecánica, tratando de imitar la estructura física de una mano real, capaz de realizar los mismos movimientos de una mano humana. Es por ello que se decide empezar a dibujar y diseñar diferentes estereotipos de manos, tratando de imaginar de que manera se desempeñaría mejor, para ayudarme en esta parte decidí primeramente trazar la mano en un programa de diseño en una computadora, es recomendable haber cursado al menos una materia optativa de diseño.

Así es como se empezó a diseñar el brazo poco a poco, tomando medidas reales de una mano promedio, de igual manera buscando materiales con los cuales se pudiera hacer una mano rígida y duradera, capaz de tener una vida útil larga ya sea para motivos de estudio o laborales. El esqueleto puede dar la forma del robot, pero, como en las personas, los músculos dan movimiento. Los motores eléctricos hacen el papel de los músculos, pero si se requiere de más potencia, se utiliza el aire comprimido (neumática) y aceite bombeado (hidráulica). Para el movimiento, también debe haber articulaciones, como la cadera o el codo, y por supuesto una manera correcta de conectar todo, y así hay muchas otras piezas en la mecánica, engranajes de rompecabezas, palancas, ruedas y las distintas fuerzas que manipulan. Todos ellos entran en una categoría “tecnología de la mecánica” [17].

4.2. Diseño Mecánico

Primero que nada, saber que se requiere hacer es fundamental, observar lo que ya esta hecho hasta la actualidad (estado del arte), usar la imaginación e ingenio y pensar a futuro como se vería una vez construido. Para esto se hace el uso de herramientas coti-

dianas y profesionales. Se necesita saber que piezas se pueden encontrar en el mercado que podamos utilizar. Una vez que tengamos una idea clara de cómo queremos que se vea nuestra mano, podemos empezar a dibujar o plasmar nuestras ideas sobre una simple hoja de papel, ya que al empezar de cero tenemos mayor probabilidad de equivocarnos, y con simples diseños con lápiz y papel empezamos a reducir esta probabilidad. Primeramente, se empezó a dibujar un bosquejo de una mano real promedio, un simple dibujo para darnos una idea de cómo empezar, y después poder diseñar en computadora.

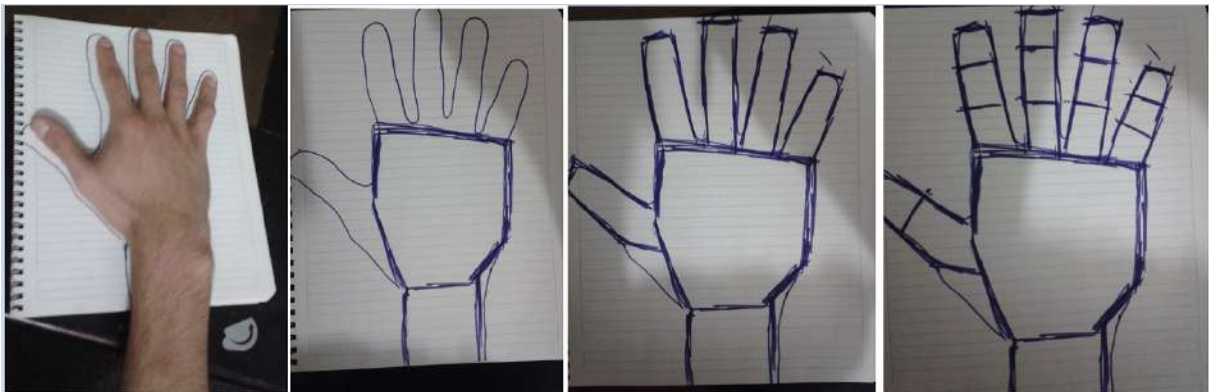


Figura 4.1: Primeras pruebas previas al diseño en computadora de la mano robótica.

Después pasamos a la computadora, donde podemos dibujar, manipular, modificar y dar solidez a nuestro dibujo.

Al llegar aquí ya se tiene una base de cómo se empezará a dar forma y movilidad a nuestro brazo robótico. La siguiente parte es darle la forma a los dedos, para que estos puedan cerrarse y abrirse y no estorbarse a si mismos, para esto echamos un vistazo a nuestra mano, la cual al contraerse los dedos dibujan cierta silueta.

Se tiene que saber esto antes de diseñar, ya que si no se hace y se construye sin tomar en cuenta este espacio de los dedos contraídos, simplemente el modelo colisionará con el mismo. Detalles que tienen que tomarse en cuenta en el diseño de la mano.

Lo anterior se hizo para cada dedo con diferentes medidas.

El diseño finalizado de la mano quedo de la siguiente manera, lo cual era justo lo que se tenia en mente.

La figura 4.6 muestra el modelo completo en 3D de la mano con las dimensiones.

Una vez finalizado nuestro diseño, se procede a buscar el material con el cual se construirá. Tomando en cuenta que tiene que ser una mano ligera y rígida, se opta por usar aluminio o lo más parecido que haya en el mercado con la mayoría de sus propiedades. Después de hacer varias pruebas con diferentes tipos de metales, se opta por usar "Duraluminio", el cual es una aleación de aluminio y otros metales, se puede encontrar fácilmente en una ferretería, es comúnmente utilizado en el marco de las ventanas. Al momento de ir realizando nuestra mano se tendrán que rediseñar ciertas partes, ya que

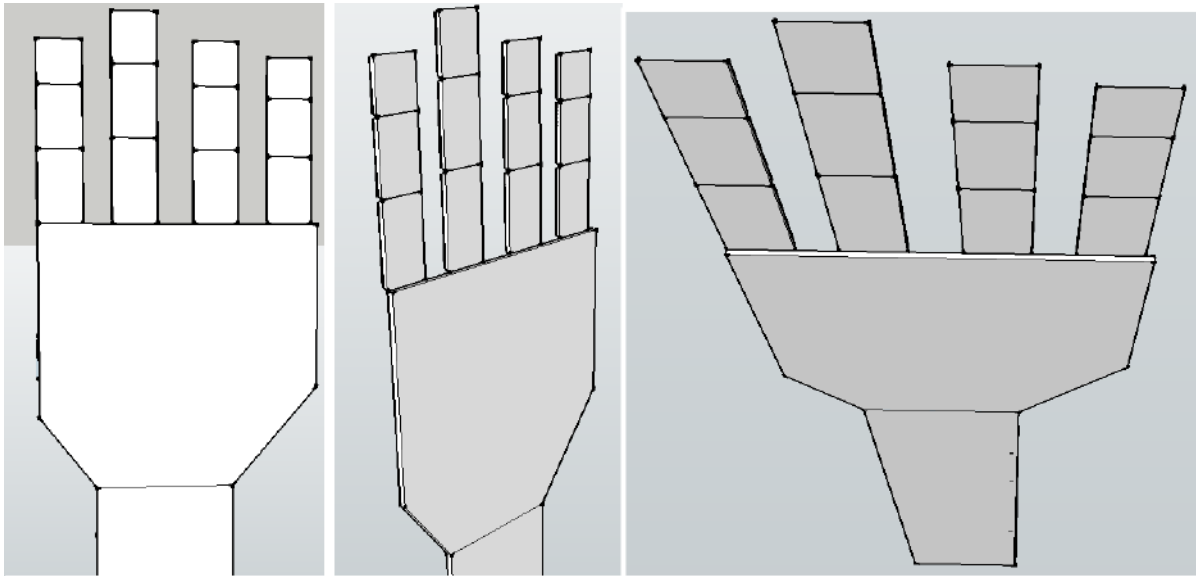


Figura 4.2: Primer diseño en computadora de nuestra mano robótica.

al momento de construirlo podemos toparnos con problemas los cuales en el diseño no se pueden apreciar, además de que se irán montando componentes tales como pequeñas bisagras, elásticos que imitarán las funciones de los músculos y tendones de la mano, servomotores, tornillos, placas conductoras de los tendones artificiales, remaches, entre otros. Para comenzar, se empieza a cortar el material y a doblarlo, para empezar a darle la forma deseada, tal y como lo hicimos en nuestro diseño.

Y así es como nuestra mano empieza a tomar forma, a continuación se siguen haciendo cortes, dobleces, perforaciones etc. Con herramienta especializada para este material. Se usan las pequeñas bisagras para conectar las partes de cada dedo y poder así obtener el movimiento natural de un dedo, las bisagras se adjuntan al material con ayuda de remaches, ya que son muy resistentes y están hechos de aluminio, con esto se continúa con el diseño ligero y resistente que deseamos construir.

Poco a poco se construyó cada dedo, además se fueron ajustando conforme se iban construyendo, se hizo la construcción a prueba y error, ya que al hacer el brazo partiendo desde cero se tenía que ir ajustando para obtener lo que requeríamos.

Hasta esta parte las flexiones de los dedos se ven bien, un poco disparejo, aunque como se menciona con anterioridad todo se fue ajustando, al momento de construir algo a partir de cero, se tiene la ventaja de que puedes hacer ajustes hasta que se obtenga lo que uno quiere, sin importar que se tenga que remover o adjuntar alguna pieza. La mano tiene que estar con los dedos extendidos cuando estén en reposo, ya que para contraerse los servomotores harán su función de cerrar la mano, en este caso se usan elásticos para los tendones y servomotores para los músculos. Al momento de hacer pruebas se utilizaron

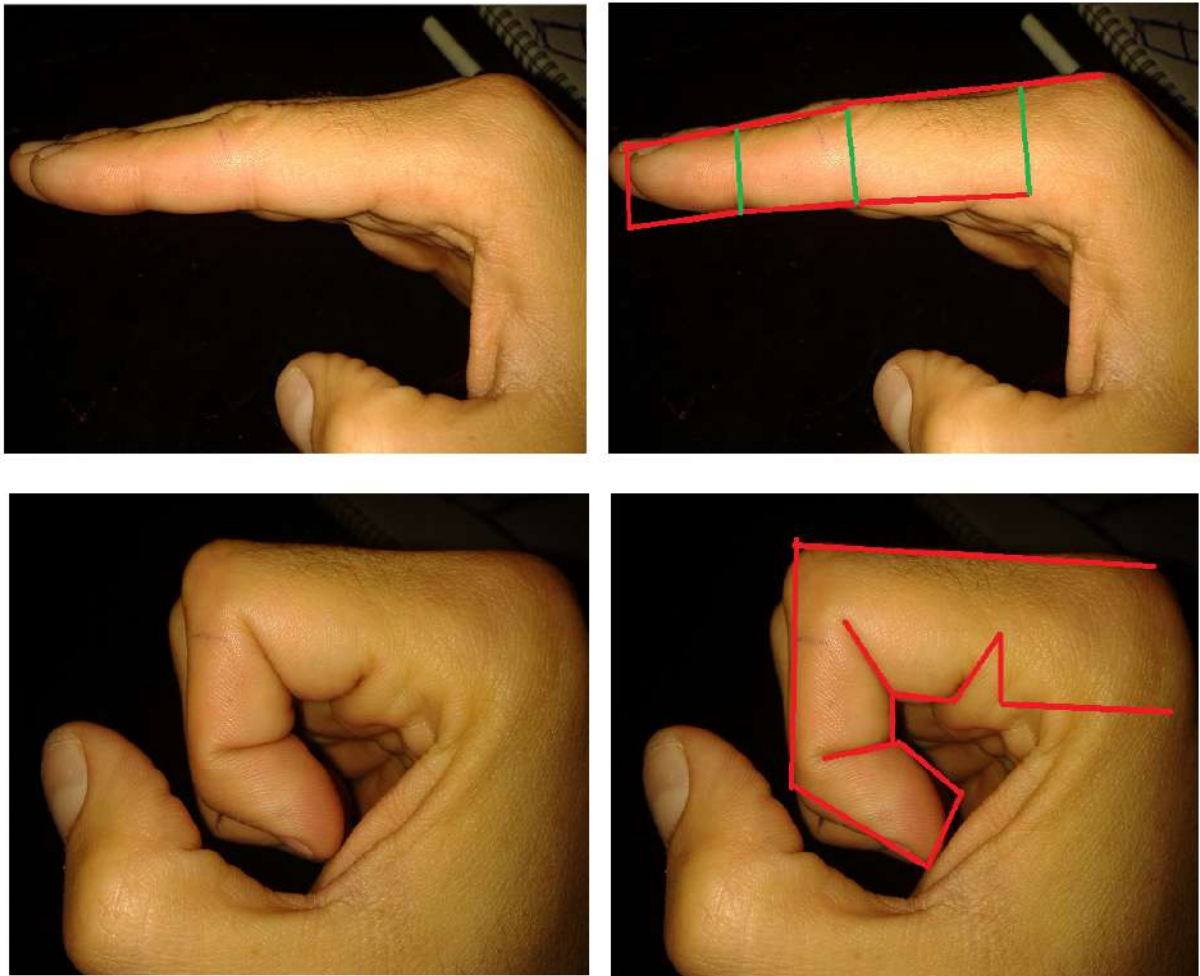


Figura 4.3: Factores de flexión a tomar en cuenta para el diseño de la mano.

globos como elásticos, los cuales con un arreglo adecuado nos permitirá tener los dedos extendidos firmemente, y al momento de ser alados los servomotores cumplirían con el movimiento en una dirección de el dedo contraído, al soltar lentamente, estos regresaran a su posición de inicio.

Como se observa en la figura 4.11, el elástico es el de color rojo, el cual esta entrelazado en el dedo para que éste quede extendido. Los cables usados en esta imagen son cables delgados de acero, los cuales funcionan bien, pero solo fueron utilizados al momento de hacer pruebas al igual que los elásticos.

Como podemos observar, las flexiones simulan los movimientos de un dedo. Se decidió construir el dedo pulgar hasta el final, debido a que contiene un movimiento más complejo que los otros dedos.

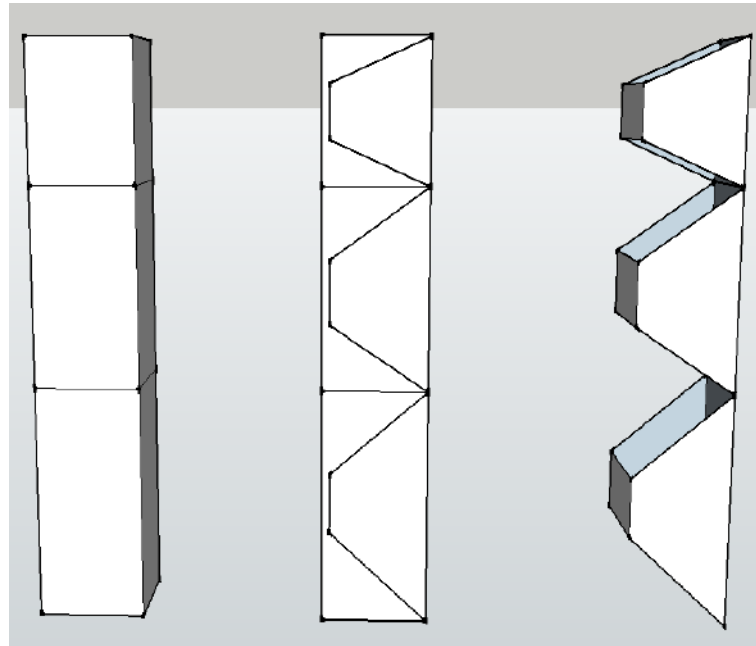


Figura 4.4: Modelo por computadora de un solo dedo.

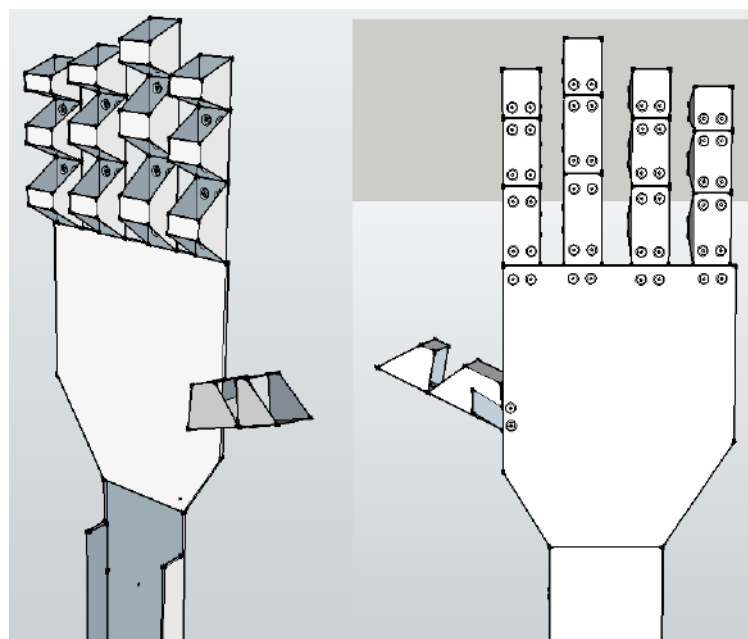


Figura 4.5: Modelo 3D de la mano.

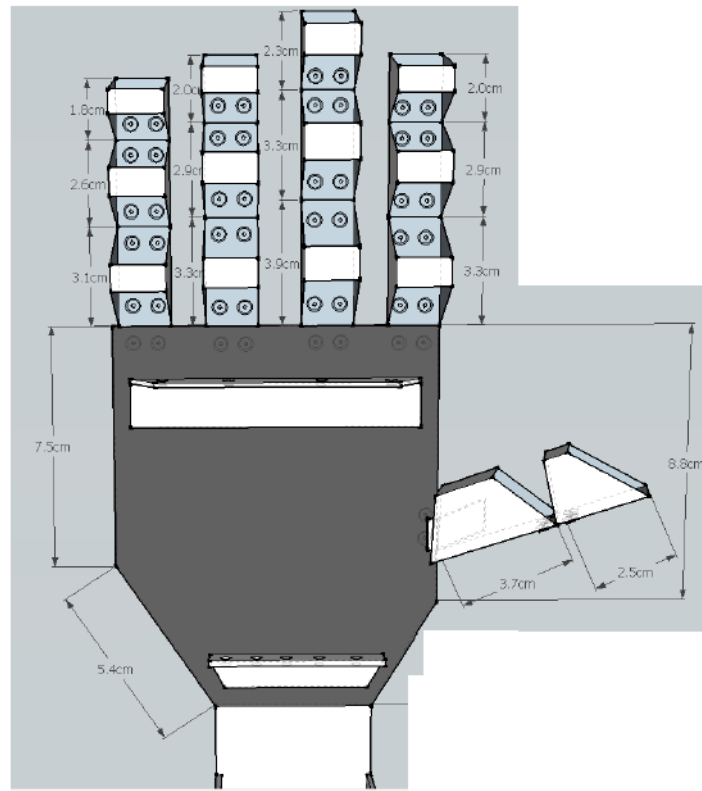


Figura 4.6: Modelo 3D de la mano con Dimensiones.

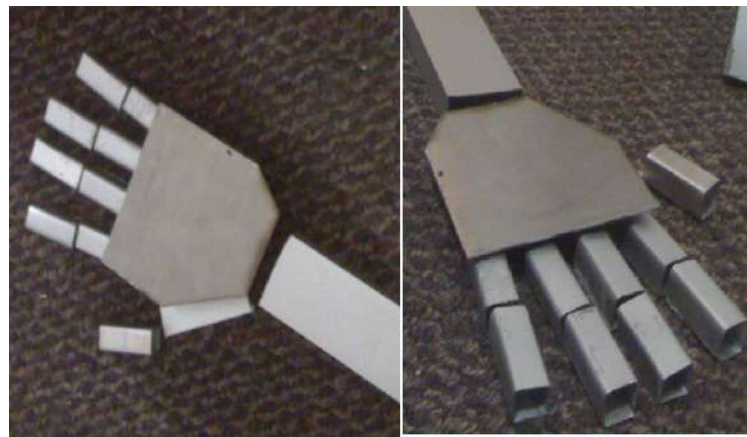


Figura 4.7: Primeros cortes y dobleces para la realización del diseño.

Una vez finalizada la mano, se necesita montar sobre una base en donde podremos hacer las pruebas correspondientes, el duraluminio se encuentra comercialmente en forma de PTR (Perfil Tubular Rectangular) en tramos de 6 metros, entonces utilizamos este



Figura 4.8: Primeros ensambles de los dedos del brazo robótico.



Figura 4.9: Imagen de la mano con cuatro dedos ya ensamblado.

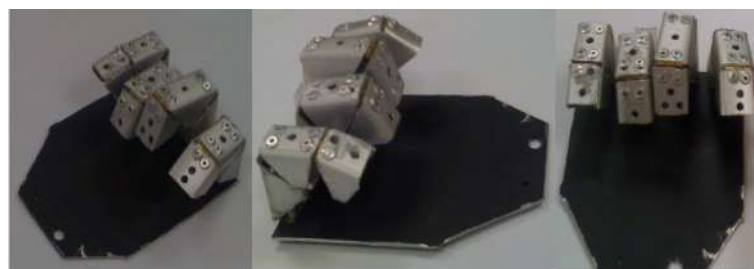


Figura 4.10: Dedos flexionados sin obstrucción.

mismo para darle una base a nuestra mano y empezar a formar el brazo.

Posteriormente, se montan los servomotores, previamente acomodados en el simulador para que los servos no choquen entre si al momento de halar los cables tensores. Y

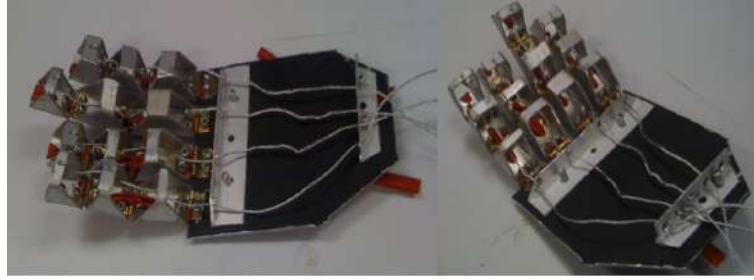


Figura 4.11: Ensamblaje de tendones y cableado para pruebas de flexión del brazo.

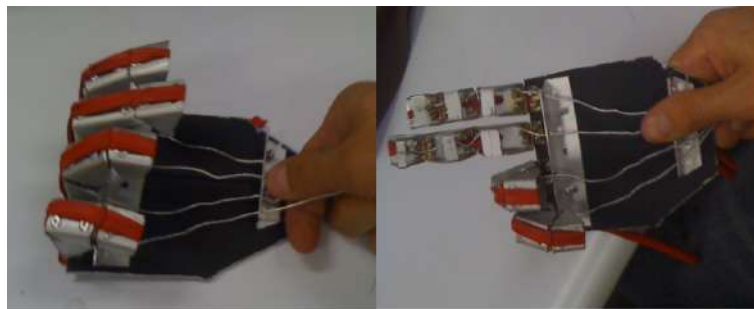


Figura 4.12: Prueba de elásticos y movimientos mecánicos de los dedos.

así es como empieza a tomar la forma de nuestro diseño hecho con anterioridad en la computadora.

A continuación se pasa a conectar los brazos o mariposas del servo a los cables, además se les hacen conductos especiales para que no se estorben entre si, los cuales están conectados al extremo de los dedos, se hizo esta configuración ya que es la manera en la que al alar el tendón el dedo se contrae de una manera natural y uniforme.

Como se puede observar en la figura 4.17, hay un gran parecido de la simulación con la mano ya construida, con medidas exactas y espacios adecuados, con lo cual evitamos errores y desperdicio de material.

Una vez terminado nuestra mano, sigue la parte estética, utilizando un revestimiento de poliuretano en aerosol se cubre la mano, en cuestión de un tiempo el poliuretano se endurece y es fácil de moldear, cortándolo o lijándolo.

Como se mencionó en el párrafo anterior, poco a poco se va moldeando, con ayuda de una navaja y una lija.

Como se observa en la figura 4.19, se cambiaron los elásticos que se usaron en las pruebas por unos elásticos más resistentes, además de cambiar los cables de acero por un nylon igual de resistente, el cual facilita la movilidad de los dedos al no atorarse entre las coyunturas del dedo.

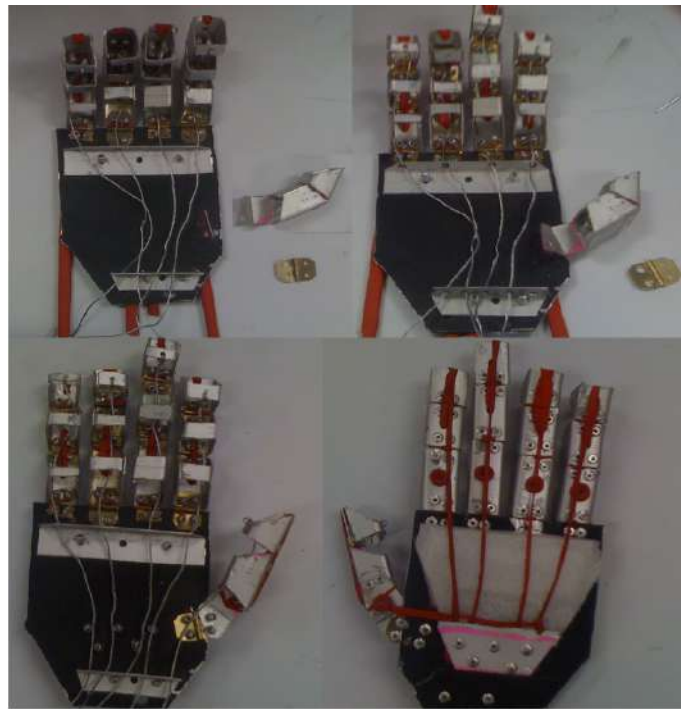


Figura 4.13: Ensamble del último dedo y adecuaciones físicas de la mano.

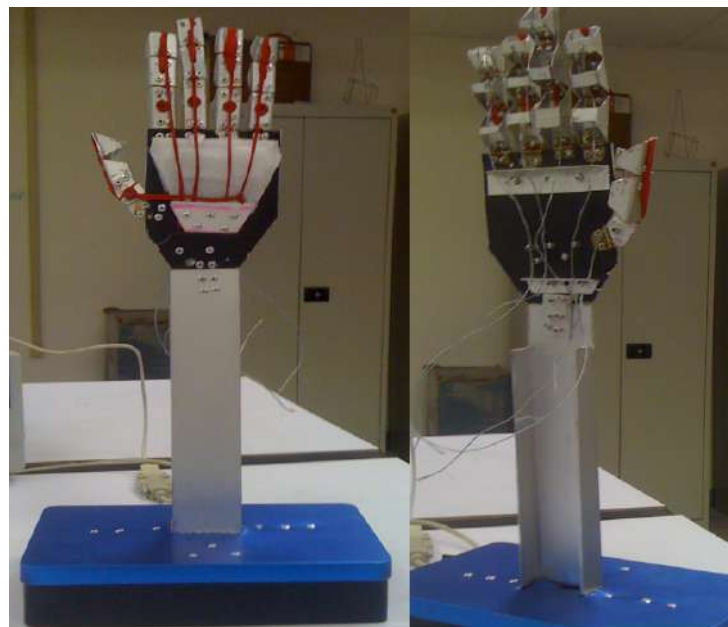


Figura 4.14: Mano montada en el brazo donde irán los servomotores.

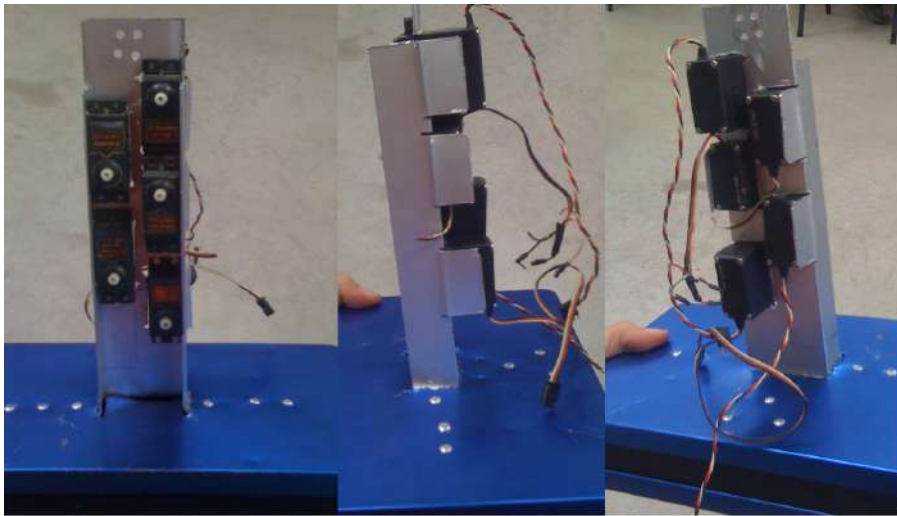


Figura 4.15: Arreglos de servomotores en el brazo.

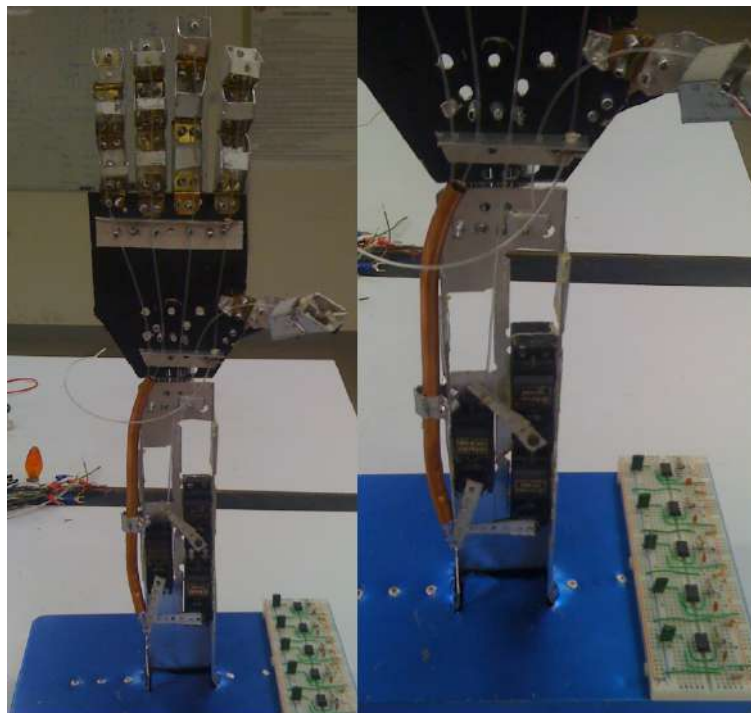


Figura 4.16: Cambio de cables de acero por nylon, así como el conducto de estos.

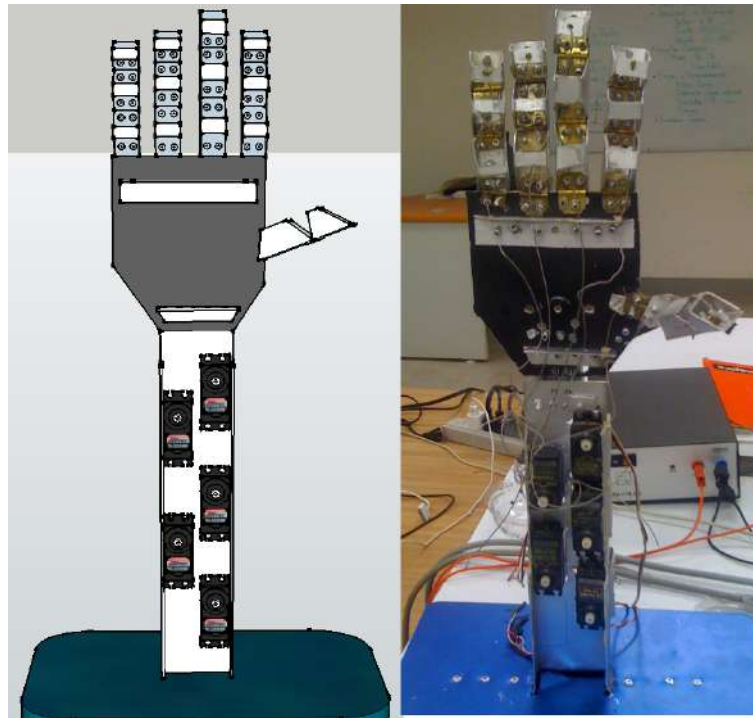


Figura 4.17: Comparativa de diseño por computadora con el diseño físico.



Figura 4.18: Poliuretano en aerosol, utilizado para cubrir y dar forma.



Figura 4.19: Corte y moldeado del poliuretano.



Figura 4.20: Imagen de la mano mecánica finalizada.

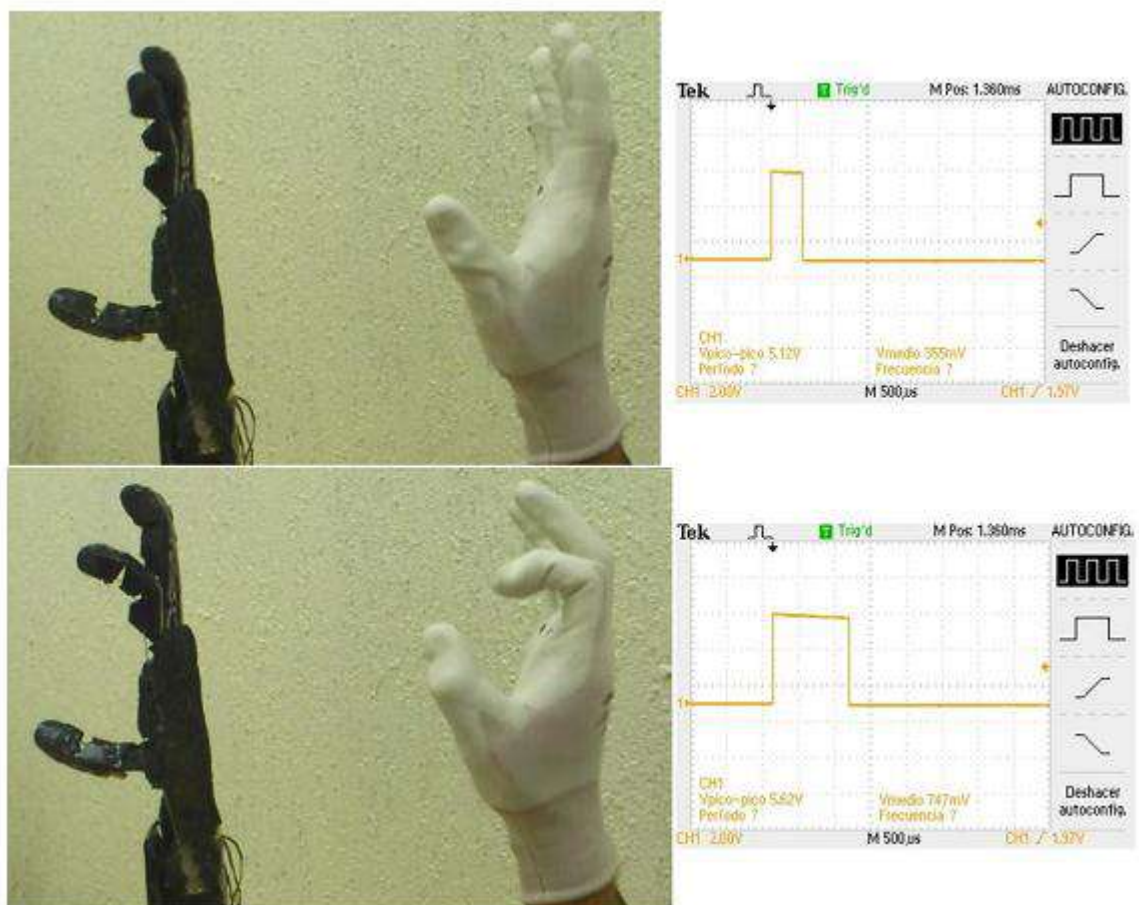


Figura 4.21: Imagen de la mano acabado final.

Capítulo 5

5.1 Resultados

En la Figura 4.22 podemos observar cómo se modifica la señal dependiendo de la flexión del dedo, la cual se introduce al servomotor para indicarle en qué posición se encuentra la mano.



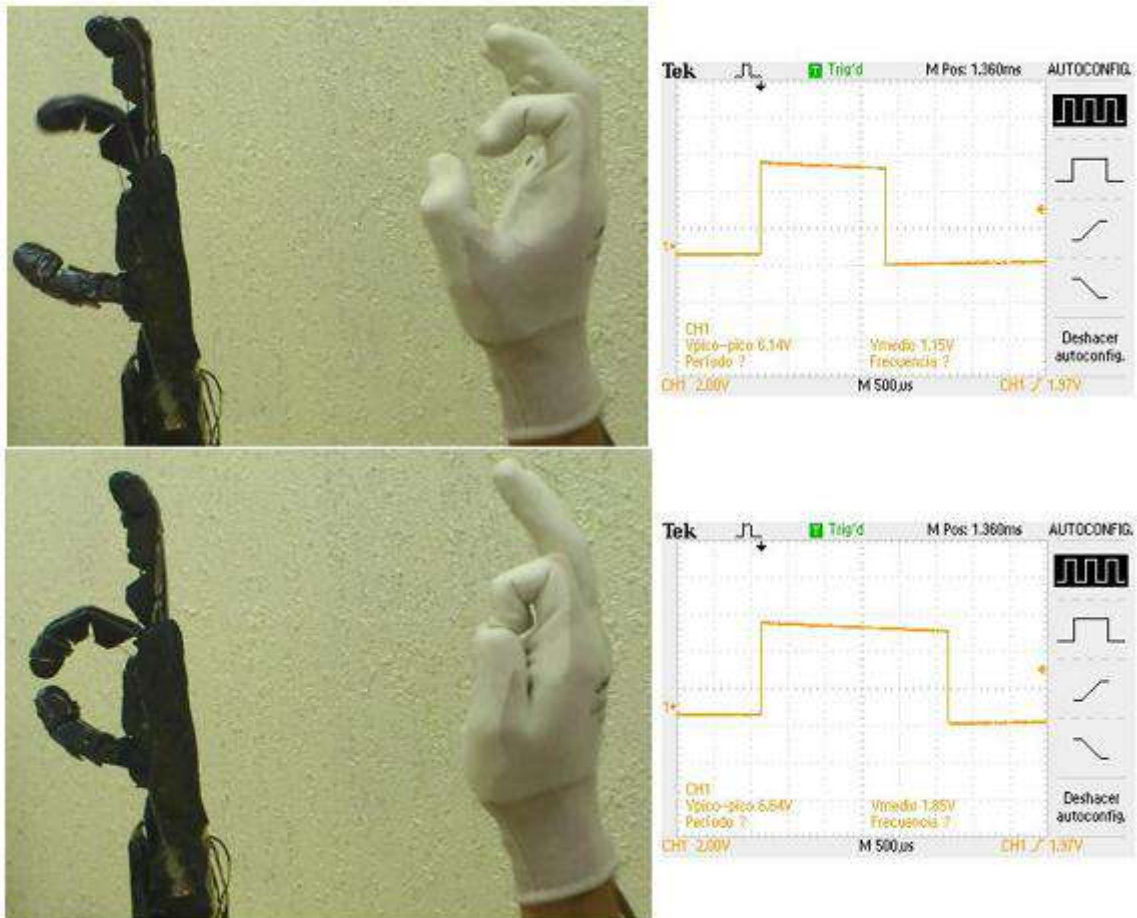


Figura 4.22. Comparación de la señal que introduce el circuito controlador al servomotor para indicarle la posición de la mano.

Capítulo 6

Conclusiones

Tal como se observa en los resultados, el Sistema de control cinemático por flexión ¡funciona! Al usar los flexómetros vemos que tenemos una gran precisión, ya que son muy sensibles al menor movimiento realizado, también las dimensiones de estos mismos simplifica la maniobrabilidad del guante, haciendo aun mas estéticos los movimientos de nuestra mano robótica.

El uso del circuito integrado 555, nos origina un bajo consumo de corriente, ya que todo el sistema opera con 5 volts y 0.7A. Con este circuito se obtuvo una muy buena precisión ya que se pudo diseñar la señal que requeríamos con los componentes adecuados.

Con el diseño del guante y la instalación correcta de los flexómetros fue posible la movilidad de la mano, teniendo movimientos independientes de cada dedo y muy precisos. El peso del guante junto con los sensores de flexión no es ningún problema ya que pesan alrededor de los 60 gramos.

El sistema electrónico se monto primeramente sobre un protoboard, al momento de hacer pruebas hubo problemas, no se recomienda usar un protoboard al momento de estar manejando altas frecuencias, ya que puede haber inducciones de corriente no deseadas. Después soldamos el circuito en una tarjeta prefabricada, obteniendo mejores resultados al momento de hacer pruebas.

Con la experiencia que se adquirió en la construcción de esta mano, observamos que se puede hacer cualquier tipo de robot, con cualquier tipo de material ya sea aluminio, madera, plástico o acero, con la combinación de un buen diseño y el uso de servomotores.

Las aplicaciones de este sistema son variadas y el diseño contribuye a que sea transportado y utilizado en cualquier lugar, ya sea en una prótesis con el uso de una batería o en la industria con el uso de una toma de 110V y usar una fuente adecuada al circuito. La mano esta montada sobre una base ligera de aluminio, en donde se encuentra el sistema de control, esto hace que el sistema con todos sus componentes se pueda transportar con facilidad.

Éste proyecto de tesis propone a futuro la creación de una prótesis, una prótesis es una

extensión que reemplaza o provee una parte del cuerpo que falta por diversas razones. El principal objetivo de una prótesis es sustituir una parte del cuerpo que haya sido perdida por una amputación o por diversas causas. Las características principales de la mano robótica que nos podrían ser útiles para el desarrollo de prótesis serían su fuerza, el bajo consumo de corriente, su poco peso y su rigidez [24].

Índice de figuras

2.1. Robot manipulador o brazo robótico [16].	8
2.2. Brazo robótico de la empresa FESTO [1].	8
2.3. Brazo robótico fabricado por la empresa CEBEK[2].	9
2.4. Shadow arm es la mano comercial más avanzada del mundo creada por Shadow Robot Company [3].	10
2.5. Diagrama a bloques.	11
3.1. Configuración del 555 en modo Monoestable.	17
3.2. Diagrama del circuito controlador del Servomotor[15].	17
3.3. Diagrama del circuito a utilizar para el control cinemático por flexión.	18
3.4. Imagen del diagrama de bloques caracterizado.	18
3.5. Pulso en el osciloscopio del circuito con el flexómetro en reposo.	19
3.6. Pulso en el osciloscopio del circuito con el flexómetro flexionado.	19
3.7. Sensor de Flexión. Patentado por “Spectra Symbols”. [10]	21
3.8. Gráfica del funcionamiento de acuerdo al grado de flexión [10].	21
3.9. Partículas conductivas en un flexómetro en reposo y al momento de ser flexionado [22].	22
3.10. Componentes de un servomotor	24
3.11. Servomotor Comercial	24
3.12. Indicadores del conector para un servomotor marca “Futaba” [11].	25
3.13. Estados del servomotor dependiendo del ancho de pulso que reciba [14].	26
3.14. Dos sensores de flexión, los cuales le indicarán a nuestra mano la posición de los dedos.	27
3.15. Sensores de flexión listos para adecuarse a nuestra mano por medio de un guante.	27
3.16. Guante donde se ubican los flexómetros, las marcas muestran donde fueron colocados.	28
4.1. Primeras pruebas previas al diseño en computadora de la mano robótica.	30
4.2. Primer diseño en computadora de nuestra mano robótica.	31
4.3. Factores de flexión a tomar en cuenta para el diseño de la mano.	32

4.4. Modelo por computadora de un solo dedo.	33
4.5. Modelo 3D de la mano.	33
4.6. Modelo 3D de la mano con Dimensiones.	34
4.7. Primeros cortes y dobleces para la realización del diseño.	34
4.8. Primeros ensambles de los dedos del brazo robótico.	35
4.9. Imagen de la mano con cuatro dedos ya ensamblado.	35
4.10. Dedos flexionados sin obstrucción.	35
4.11. Ensamble de tendones y cableado para pruebas de flexión del brazo.	36
4.12. Prueba de elásticos y movimientos mecánicos de los dedos.	36
4.13. Ensamble del último dedo y adecuaciones físicas de la mano.	37
4.14. Mano montada en el brazo donde irán los servomotores.	37
4.15. Arreglos de servomotores en el brazo.	38
4.16. Cambio de cables de acero por nylon, así como el conducto de estos.	38
4.17. Comparativa de diseño por computadora con el diseño físico.	39
4.18. Poliuretano en aerosol, utilizado para cubrir y dar forma.	39
4.19. Corte y moldeado del poliuretano.	40
4.20. Imagen de la mano mecánica finalizada.	40
4.21. Imagen de la mano acabado final.	41
4.22. Posicionamiento del servomotor dependiendo de la flexion	42

Bibliografía

[1] <http://boingboing.net/2007/08/29/humanlike-robotic-ar.html>

[2] [<http://www.thinkgeek.com/geektoys/science/b696/>]

[3] <http://www.shadowrobot.com/>

[4] http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%B3gica_difusa

[5] http://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller

[6] <http://www.aurova.ua.es/robolab/practicas/cc.html>

[7] http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_por_ancho_de_pulsos

[8] <http://www.lci.ulsal.mx/Material/ewb/pdf/ape.pdf>

[9] http://es.wikipedia.org/wiki/Circuito_integrado_555

[10]

<http://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Flex/FLEXSENSOR%28REVA1%29.pdf>

[11] <http://www.aurova.ua.es:8080/proyectos/dpi2005/docs/publicaciones/pub09-ServoMotores/servos.pdf>

[12] <http://www.kluggers.net/web/mecanica-/60-el-servomotor>

[13] <http://dungun-electronics.blogspot.com/2011/06/rc-servo-motor.html>

[14] <http://www.aurova.ua.es:8080/proyectos/dpi2005/docs/publicaciones/pub09-ServoMotores/servos.pdf>

[15] <http://www.rclabujia.com/circuito-control-servo/>

[16] “Ben-Zion Sandler.

ROBOTICS: Designing the Mechanisms for Automated Machinery.

ACADEMIC PRESS. 2da Ed. United States of America. 1999.”

[17] “Wise Edwin.

Robotics: Demystified.

McGraw-Hill. 3ra Ed. United States of America. 2005.”

[18] **“McComb Gordon, Predko Myke.**

Robot Builder’s Bonanza.

McGraw-Hill. 3ra Ed. United States of America. 2006.”

[19] **“Braz Jose, Araujo Helder, Vieira Alves.**

Informatics In Control: Automation And Robotics I.

Springer. 1ra Ed. Portugal. 2006.”

[20] **“Bishop Roberto H.**

Mechatronics: An Introduction.

2006.”

CRC Press Taylor & Francis Group. 1ra Ed. United States of America.

[21] <https://www.inventables.com/technologies/bend-sensor>

[22] <http://www.sparkfun.com/tutorials/270>

[23] http://3w.revista.unam.mx/vol.6/num1/art01/art01_enero.pdf

[24] <http://es.wikipedia.org/wiki/Pr%C3%B3tesis>