

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE MECANISMO DE PRENSION PARA
MANO ROBOT ANTROPOMORFICA**

Vladimir Pizarro de la Hoz
Giovanny Alberto Rincón Sánchez

Director
Dr. Oscar Fernando Avilés Sánchez
Codirector
Prof. Ing. Ricardo Andrés Castillo Estepa

Área de Investigación: Robótica

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
BOGOTÁ, D.C.
2012

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE MECANISMO DE PRENSION PARA
MANO ROBOT ANTROPOMORFICA**

Vladimir Pizarro de la Hoz
Giovanny Alberto Rincon Sánchez

Director
Dr. Oscar Fernando Avilés Sánchez
Codirector
Prof. Ing. Ricardo Andrés Castillo Estepa

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero en Mecatrónica

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
BOGOTÁ, D.C.
2012

Nota de aprobación

El Trabajo de grado titulado “**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE MECANISMO DE PRENSION PARA MANO ROBOT ANTROPOMORFICA**”, elaborado y presentado por los estudiantes Vladimir Pizarro de la Hoz y Giovanny Alberto Rincon Sánchez, como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Mecatrónica, fue aprobado por el jurado calificador.

Prof. Dr. Oscar F Avilés Sánchez
DIRECTOR

Prof. Ing. Ricardo Castillo Estepa. M.Sc.
CO-DIRECTOR

JURADO

JURADO

DEDICATORIA

A Dios

A mis padres Yolanda Sánchez y Pablo Rincón

A mi hermano David, Edward y Ferney que está en el cielo cuidándome

A mis familiares y A mis amigos por la

Invaluable paciencia, amor,

Sacrificio y apoyo dado durante

Mi formación profesional.

Giovanny Rincón Sánchez

Este trabajo de tesis de grado está dedicado primeramente a **Dios**, por permitirme a través de **mis padres** que me otorgaron la vida, la oportunidad de estudiar y sacar adelante una etapa más de mi vida como profesional.

A **mis hermanas** que siempre me apoyaron e impulsaron a seguir adelante por difícil que fuese la situación.

A **mi hijo**, quien es el motor que me impulsa a seguir adelante y quien también sacrificó su tiempo a mi lado para poder alcanzar esta meta.

A aquellos docentes que creyeron en mí y me apoyaron a seguir adelante y por los cuales es posible la realización de esta tesis de grado.

Vladimir Pizarro de la Hoz

AGRADECIMIENTOS

Agradecer al director del proyecto Ing. Oscar Fernando Avilés y Co-director Ricardo Castillo Estepa por su dedicación y aliento en todo momento. Sin su orientación y sus valiosas sugerencias esta tesis no habría sido posible.

A los docentes del departamento de Ingeniería Mecatrónica que durante toda nuestra formación nos aportaron tanto en el desarrollo profesional como personal sus conocimientos y experiencias.

Agradecemos también a todas aquellas personas que de una u otra forma nos ayudaron durante el desarrollo del proyecto de grado.

Tabla de contenido

Introducción.....	11
➤ Planteamiento del problema	11
➤ Objetivo general	11
➤ Objetivos específicos	11
➤ Antecedentes.....	12
➤ Justificación.....	13
➤ Alcance o delimitación del proyecto de grado	14
➤ Metodología.....	14
1. Marco Teórico	15
1.1. Introducción.....	15
1.2 Robótica Industrial	16
1.2.1 Configuración Cartesiana.....	17
1.2.2 Configuración Cilíndrica	18
1.2.3 Configuración Polar o Esférica	19
1.2.4 Configuración Angular.....	19
1.3 Efectores Finales	20
1.4 Prensión en Humanos.....	22
1.4.1 La prensión por oposición terminal.....	22
1.4.2 La prensión por oposición subterminal.....	23
1.4.3 La prensión por oposición subterminolateral.....	23
1.4.4 La prensión palmar a manos llenas.....	24
1.5 Estructura y función de la mano humana.....	24
1.5.1 Anatomía de la mano	25
1.5.2 Movimientos de la mano humana	28
1.6 Mano robótica antropomórfica.....	30
1.6. Manos robóticas	32
1.6.1 Mano Utah/MIT.....	32
1.6.2 Mano Robonaut.....	33
1.6.3 Mano DLR	33
1.6.4 Mano Ultraleve	34
1.6.5 Mano Marcus	34
2. Diseño acople para Gripper	35

2.1. Arquitectura general del sistema implementado	35
2.2. Diseño mecánico.....	36
2.2.1. Diseño mecánico (CAD).....	37
2.2.2. Análisis de elementos finitos a los mecanismos.....	40
2.3. Diseño electrónico.....	42
2.3.1. Simulación circuito electrónico.....	47
2.3.2. Diseño PCB.....	50
2.4. Diseño de software de mando.....	52
3. Implementación de acople para mano antropomórfica.....	53
3.1. Implementación de acople Mecánico	54
3.2. Implementación Circuitos eléctricos.....	55
3.3. Implementación software de mando	57
4. Pruebas y análisis de resultados	58
5. Conclusiones y trabajo futuro	60
5.1 Conclusiones.....	60
5.2 Trabajo futuro.....	61
Bibliografía	62
Anexo.....	65

Lista de Figuras

Figura 2.1 Integración de la mecatrónica en robótica.....	16
Figura 2.2 Emulación brazo humano con manipulador robótico [10].....	17
Figura 2.3 Configuración cartesiana [10].....	18
Figura 2.4 configuración cilíndrica [10].....	18
Figura 2.5 Configuración polar [10].....	19
Figura 2.6 Configuración angular [10].....	19
Figura 2.7 Diseño final del manipulador robótico aplicado a la cirugía [14]....	20
Figura 2.8 Garras Robóticas [14].....	21
Figura 2.9 Mano UMNG [15].....	21
Figura 2.10 Formas básicas de Preensión de la mano [18].....	22
Figura 2.11 Preensión por oposición terminal [17].....	23
Figura 2.12 Preensión por oposición subterminal [17].....	23
Figura 2.13 Preensión por oposición subterminolateral [17].....	23
Figura 2.14 Preensión palmar a manos llenas [17].....	24
Figura 2.15 Huesos y músculos del brazo humano.....	25
Figura 2.16 a) Huesos de la mano y b) modelo matemático equivalente.....	26
Figura 2.17 Mano humana y sus articulaciones.....	27
Figura 2.18 Movimientos dedo pulgar [22].....	28
Figura 2.19 Modelos prensiles humanos, a) cilíndrica palmar, b) subtermino, c) centralizado, d) tridigital, e) posición subterminal [24].....	29
Figura 2.20 Clasificación de los Modelos Prensiles Humanos.....	29
Figura 2.21 Arcos de la mano [25].....	30
Figura 2.22 Manos desarrolladas por centros de investigación [15].....	31
Figura 2.23 Construcción esquemática del dedo [27].....	32
Figura 2.24 Mano Utah [24].....	32
Figura 2.25 Mano Robonaut [28].....	33
Figura 2.26 Mano DLR [29].....	33
Figura 2.27 Mano Ultraleve [27].....	34
Figura 2.28 Mano Marcus [30].....	34
Figura 3.29 Arquitectura de la mano robótica.....	35
Figura 3.30 Metodología de desarrollo del proyecto.....	36
Figura 3.31 Elementos mecánicos constitutivos de la mano robótica.....	37
Figura 3.32 CAD acople sinfin-piñon.....	38
Figura 3.33 CAD agarre objeto cilíndrico.....	38
Figura 3.34 CAD agarre objeto esférico.....	39
Figura 3.35 CAD agarre objeto planar.....	39
Figura 3.36 Análisis de deformación.....	40
Figura 3.37 Tensión estática nodal.....	41
Figura 3.38 Conexión motor.....	42
Figura 3.39 Requerimientos técnicos del controlador.....	43
Figura 3.40 Salida PWM [33].....	43

Figura 3.41 Frecuencia de operación (MHz) [33]	44
Figura 3.42 Numero de terminales de E/S [33]	45
Figura 3.43 Memoria de programa (KB)[33].....	45
Figura 3.44 Simulación tarjeta mano robótica	47
Figura 3.45 Modulo alimentación	48
Figura 3.46 Modulo procesamiento	48
Figura 3.47 Modulo driver potencia	49
Figura 3.48 Modulo testigos	49
Figura 3.49 Módulos XBEE	50
Figura 3.50 Conector.....	50
Figura 3.51 PCB vista superior.....	51
Figura 3.52 PCB vista inferior.....	51
Figura 3.53 Modulo interfaz grafica	52
Figura 3.54 Tarjeta XBEE Explorer	53
Figura 4.55 Acople mecánico	54
Figura 4.56 Tarjeta de control vista superior	55
Figura 4.57 Tarjeta de control vista inferior	56
Figura 4.58 Tarjeta de extensión vista superior.....	56
Figura 4.59 Tarjeta de extensión vista inferior.....	57
Figura 4.60 Interfaz usuario.....	58
Figura 5.61 Agarre cilíndrico	58
Figura 5.62 Agarre objetos esféricos.....	59
Figura 5.63 Agarre objetos planar	60

Lista de Tablas

Tabla 1 Rangos de movilidad del brazo humano [21]	25
Tabla 2 Movilidad dedo humano [21]	27
Tabla 3 Características mano Utah	32
Tabla 4 Características Robonaut	33
Tabla 5 Características Mano DLR	33
Tabla 6 Características mano ultraleve	34
Tabla 7 Características Mano Marcus	35
Tabla 8 Características driver de potencia	46
Tabla 9 Consumo del motor	46

Introducción

➤ Planteamiento del problema

En la actualidad en el laboratorio de robótica e inteligencia artificial de ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Militar Nueva Granada cuenta con un Robot UMNG1¹. Dicho robot es usado para brindarles a los estudiantes la posibilidad de interactuar con este tipo de mecanismo y afianzar los conocimientos adquiridos durante su proceso de aprendizaje en la carrera, en áreas como: automatización industrial, control de sistemas y procesos, inteligencia artificial y robótica.

Aunque dicho robot posee diversas capacidades actualmente carece de un gripper² antropomórfico capaz de reconfigurarse para realizar trabajos de aprensión de objetos con distintas formas, aspectos que será solucionado a través de la formulación y desarrollo del presente proyecto.

➤ Objetivo general

Diseñar e implementar un mecanismo de presión reconfigurable para una mano robot antropomórfica, posibilitando el agarre de objetos de forma plana, esférica y cilíndrica.

➤ Objetivos específicos

- Análisis y diagnóstico de los diseños y mecanismo utilizados en manos robóticas.
- Diseñar los componentes mecatrónicos empleados para el acople de la mano robótica:
 - Mecánico
 - Electrónico
 - Programación(Software)
- Construir e implementar los sistemas requeridos para acoplar el dedo pulgar a la mano robótica.
- Validar el diseño implementado del acople del dedo pulgar de la mano robótico.

¹ UMNG1 robot con fines de enseñanza e investigación en la Universidad Militar Nueva Granada

² GRIPPER: garras que aprovechan la fuerza normal por el rozamiento para sostener el objeto. Tomado de

² GRIPPER: garras que aprovechan la fuerza normal por el rozamiento para sostener el objeto. Tomado de WordReference.com

➤ Antecedentes

Los robots son un agente artificial mecánico o virtual, según la Federación Internacional de Robótica (IFR) se entiende que es una maquina de manipulación automática, reprogramable y multifuncional con tres o más ejes que pueden posicionar y orientar materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales para la ejecución de trabajos, ya sea en una posición fija o en movimiento.

El gripper es un dispositivo terminal que se encuentra en la muñeca del brazo del robot cuya finalidad es cargue o descargue de objetos, mediante dedos los cuales se abren y cierran de acuerdo al tamaño del objeto a manipular. El desarrollo de grippers en la robótica se ha tornado cada vez más difícil debido a los objetos a manipular.

La biología es un campo en donde se han implementado estos mecanismos para realizar la manipulación de células acuosas en las cuales se han utilizado diminutas pinzas[1] las cuales por medio de visión de máquina estiman la fuerza a aplicar en función del desplazamiento, apoyadas en cálculos computacionales, para realizar movimientos de mandíbula paralela y angular. Esta clase de pinzas se fabrican utilizando diferentes técnicas y materiales como lo son los resortes de acero y de polidimetilsiloxano (PDMS)³.

Un aspecto a tener en cuenta al momento de manipular objetos es la forma, pues algunos de ellos pueden ser deformables, aspecto que complica el reconocimiento de patrones para realizar la sujeción. El robot “*ROLLER*” [2] es una solución a este tipo de problema. Es un robot que cuenta con dos brazos robóticos equipados con sensores y grippers. Un caso particular es el de la sujeción de una toalla, acción la cual desarrollará el brazo del robot basado en la retroalimentación de los sensores.

El problema luego de haber realizado un tipo de sujeción específica es cómo recuperar o realizar una nueva, debido a que los objetos deformables son sensibles a la fuerza de contacto, una solución a este tipo de problema es el diseño de grippers tipo gusano. Las cuales permiten a los brazos del robot tener mayor libertad de manipular objetos deformables.

Otro aspecto importante de análisis es el agarre de objetos [3] de diversas formas, función necesaria para determinar el tipo de servicio del robot. La mayoría de robots con grippers reconfigurables disponibles tienen un número elevado de grados de libertad, un control robusto y por tanto un elevado costo de fabricación.

³ PDMS grippers fabricated by vacuum casting

En la Universidad Militar Nueva Granada en el laboratorio de Robótica e Inteligencia artificial se desarrolló una mano antropomórfica que reproduce los modelos prensiles humanos, igualmente en la Universidad Estatal de Campinas (Brasil) con colaboración de la Universidad Militar Nueva Granada en Bogotá implementaron un sistema de palancas donde la entrada es un tornillo sin fin para conversión de movimiento rotacional en lineal obteniendo como resultado dedos robóticos con un bajo costo de fabricación y los cuales permiten ser controlados de forma sencilla para reproducir gran parte de los movimientos de la mano humana[4].

Dichos dedos robóticos construidos y desarrollados como tesis de grado por el ingeniero Oscar Fernando Avilés, no son completamente funcionales debido a que carecen de un mecanismo capaz de rotar y mover el dedo pulgar para realizar la reconfiguración de la mano antropomórfica. Motivo por el cual se propone el presente trabajo de grado.

➤ **Justificación**

El dedo pulgar es de especial importancia en la mano, sin él los movimientos de los dedos solo se constituirían en simples presiones en lugar de movimientos precisos⁴.

El presente proyecto surge debido a la necesidad de acoplar el dedo pulgar al gripper robótico presentado en AVILES⁵ debido a que este dedo por su ubicación se encuentra fijo por debajo de los otros dedos. Imposibilitando realizar dos tipos de movimiento, los cuales son: rotacional y de cierre. Propiedades que dan una alta importancia al momento de manipular objetos con precisión. Con este acople en el gripper le permitirá realizar diferentes tipos de configuraciones para el agarre de objetos y así poder ser acoplado como gripper en el robot UMNG1 u otros robots existentes.

El acople cinemático del dedo pulgar implicará la aplicación conocimientos adquiridos en la disciplina profesional, especialmente en áreas relacionadas con: mecánica, electrónica, evaluación de proyectos de ingeniería y programación.

⁴ Importancia de dedo pulgar tomada de libro Anatomía humana: descriptiva, topográfica y funcional.

⁵ Avilés O. Fernando, Simanca P.L. y Niño P.A., "Diseño y construcción de un dedo para grippers robóticos", presentado en el Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, Perú, 2007.

➤ **Alcance o delimitación del proyecto de grado**

El diseño e implementación del mecanismo de presión de una mano robot antropomórfica⁶ constara de tres etapas: la primera es el diseño e implementación del acople del dedo pulgar, mecanismo que sujetara dicho dedo a la base de la mano que cuenta con cuatro dedos. Además de esto soportara el motor para permitir la rotación del dedo pulgar y el mecanismo de transmisión del movimiento del motor. La segunda etapa es el diseño de circuito de control de la mano robótica e implementación en PCB⁷ y la última etapa es desarrollar un programa de comando que permita a la mano robot el agarre de objetos de forma plana, esférica y cilíndrica.

➤ **Metodología**

La metodología para la realización del proyecto tendrá en cuenta la siguiente estructura analítica:

- **Análisis y diagnostico de los diseños y mecanismo utilizados en manos robóticas.**
 - Recopilación de información relacionada con la arquitectura de manos robóticas y mecanismos de aprensión.
 - Lectura de artículos respecto al diseño, circuitos de comando, control y simulación de manos robóticas.

- **Diseñar los componentes mecatrónicos empleados para el acople de la mano robótica:**
 - Modelación en el CAD (Diseño Asistido por Computador) del acople para el dedo pulgar de la mano robótica.
 - Implementación del acople Cinemático del dedo pulgar de la mano robótica.
 - Diseño e implementación del circuito electrónico para el comando del agarre de la mano robótica.
 - Diseño de los circuitos de control y de potencia de la mano robótica.
 - Implementación de los circuitos en PCB.
 - Desarrollo del software para comando de agarre de la mano.

⁶ ANTROPOMORFISMO: Una forma aplicar cualidades humanas a objetos inanimados. Tomado de wikipedia

⁷ PCB: es un medio para sostener mecánicamente y conectar eléctricamente componentes electrónicos, a través de *rutas* o *pistas* de material conductor. Tomado de Wikipedia

- **Prueba y Análisis de los resultados.**
 - Integración entre los componentes mecánico, eléctrico y de control, de la mano robótica.
 - Pruebas de agarre de objetos de diferentes formas (plana, esféricas y cilíndricas).
- Escritura de informe científico.

1. Marco Teórico

1.1. Introducción

A medida que la humanidad avanza, lo hacen también las ciencias. Los conocimientos, las técnicas y los nuevos equipos son desarrollados para enfrentar y solucionar los problemas que afectan al hombre[4]. Aplicado a la producción se dio en la Revolución Industrial – segunda mitad del siglo XVIII y principios del XIX–, periodo en el cual, entre otras cosas, fue aplicado el conocimiento y la tecnología existente para desarrollar nuevas y mejores maquinas, disminuyendo costos, agilizando procesos e industrializando la manufactura.

Después de la industrialización y gracias a los aportes de la electrónica y la informática, la industria desarrolló nuevos métodos y perfeccionó otros. La búsqueda de soluciones para enfrentar los crecientes retos entregó como resultado nuevas ideas, sabiduría e ingenierías[5].A este periodo se le acredita el nacimiento de la mecatrónica ,la palabra mecatrónica fue compuesta por el ingeniero japonés Yaskawa en 1969,como la combinación de “*Mecha*” de Mechanism y “*tronics*” de electronics [6].El desarrollo de la mecatrónica está cubierto por tres etapas.

1. **Introducción:** Durante esta época se desarrollaban las tecnologías independientes y se trataba de introducir el término y la aceptación en el medio industrial.
2. **Integración sinérgica (años 80):** Se caracterizo por la integración de diferentes tecnologías como la óptica y la electrónica para conformar la opto-electrónica y el diseño integrado del hardware y el software.
3. **Era de la mecatrónica:** Se desarrollo la inteligencia computacional y los sistemas de información.

Hoy en día, la mecatrónica es un concepto integración de sistemas mecánicos, sistemas hidráulicos, sistemas neumáticos, motores, sensores, sistemas de control y computadores en una nueva concepción durante el proceso de diseño y manufactura[7].Un robot es un ejemplo de tecnología mecatrónica, Figura 2.1 La mecánica contribuye en el diseño y selección de componentes estructurales del robot, la electricidad y la electrónica contribuye al diseño y selección de elementos y los sistemas computarizados contribuyen con la integración de los

sistemas de control, software, simulación supervisión, programación de trayectorias y diseño CAD[7].

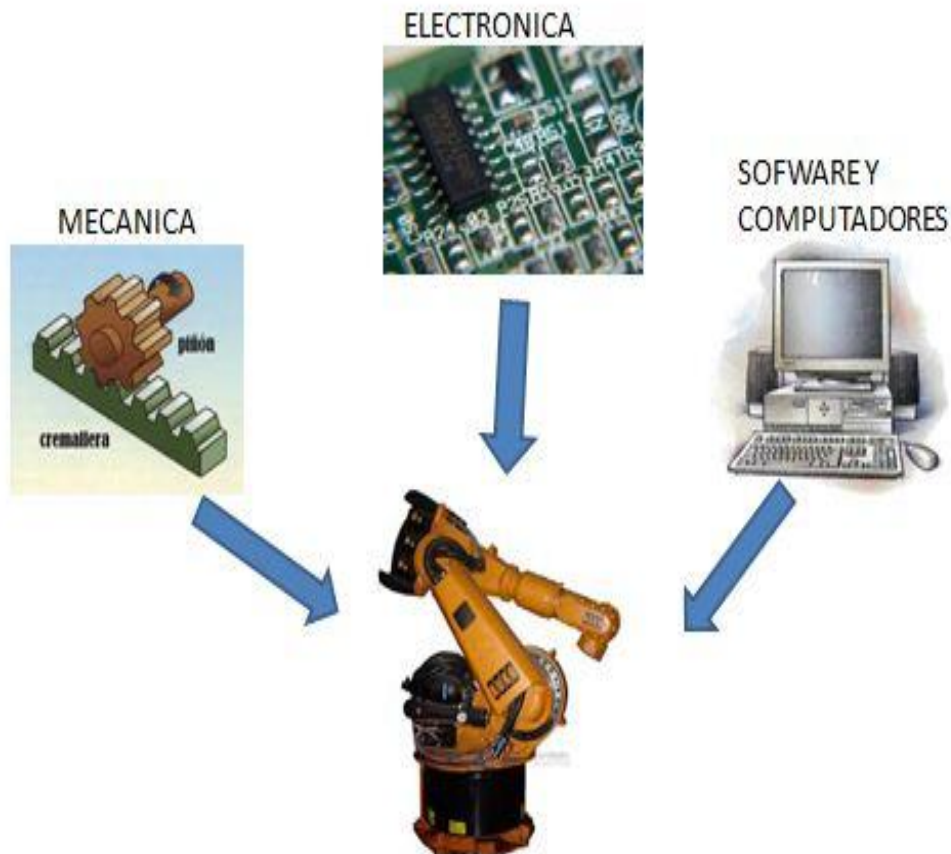


Figura 2.1 Integración de la mecatrónica en robótica

La robótica comprende un amplio campo de aplicaciones, en los cuales el robot tiene como tarea principal la manipulación de elementos, realizada por medio de manipuladores antropomórficos o efectores finales. El diseño de manipuladores de agarre tiene como fuente de inspiración la mano Humana, el objetivo principal es tratar de emular las habilidades mostradas por la mano en su interacción con el ambiente externo[8].

1.2 Robótica Industrial

La robótica industrial son esencialmente brazos articulados, los cuales emulan el brazo humano, véase Figura 2.2, de ahí se nombre de brazo robot o manipulador, según la definición del “Robot Institute of America”, un robot industrial es un manipulador programable multifuncional diseñado para mover materiales, piezas herramientas, dispositivos especiales, sustancias peligrosas, mediante movimientos programados para la ejecución de diferentes tareas[9].

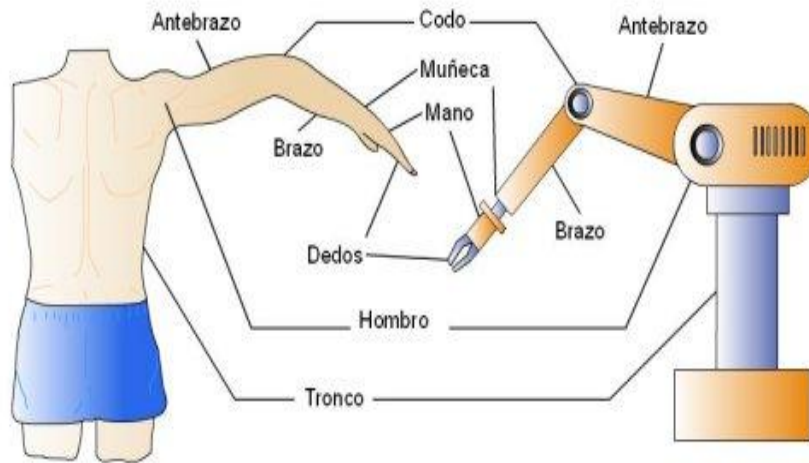


Figura 2.2 Emulación brazo humano con manipulador robótico [10]

La robótica industrial surge a partir de la unión de la mecánica articulada y sistemas electrónicos de control incorporando una computadora[11]. Esto permita la integrar el control y la programación para realizar movimientos precisos sobre el robot y la memorización de secuencias, como por ejemplo el descargar una pieza de la matriz debido a que el ambiente de fundición no es apropiado para los trabajadores por sus altas temperaturas. Por esta razón los robots industriales ofrecen adaptación a diversos trabajos y medios de trabajo.

Actualmente, los robots son utilizados en la industria manufacturera[7] para:

- Transporte y transferencia de materiales y piezas.
- Operación y procesamiento.
- Montaje y control de calidad.

Los robots industriales en su configuración básica esta conformados por un brazo compuesto por articulaciones como uniones entre ellos. En la última unión se dispone de una garra o herramienta de trabajo[9].Debido a que el área de trabajo de los robots es limitada para la realización de diferentes trabajos, se dispone de diferentes configuraciones para la accesibilidad a posiciones determinadas de trabajo. La mayoría de robots disponen de cuatro configuraciones básicas:

- Configuración cartesiana
- Configuración cilíndrica
- Configuración polar o esférica
- Configuración angular

1.2.1 Configuración Cartesiana

La configuración cartesiana, posee tres movimientos lineales, su nombre proviene de las coordenadas cartesianas. Los movimientos del robot los realiza

de modo rectilíneo, es decir en las coordenadas XYZ, como se ve en la figura 2.3. Se le denominan movimientos de desplazamiento X, altura Y, y alcance del brazo Z [12].

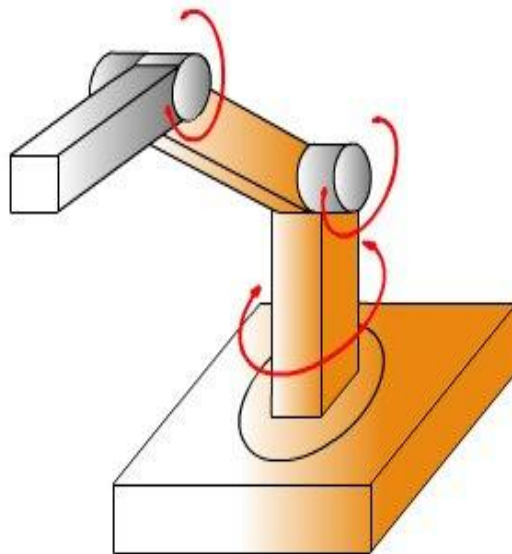


Figura 2.3 Configuración cartesiana [10]

1.2.2 Configuración Cilíndrica

Este tipo de configuración cilíndrica posee una articulación de revolución y dos prismáticas. Para este tipo de configuración en comparación en la mostrada en la figura 2.3, se reemplaza la primera articulación prismática por una articulación de revolución, los puntos a alcanzar son especificados con coordenadas cilíndricas [13], es decir, ángulo α , altura ρ y radio Z, como se indica en la figura 2.4.

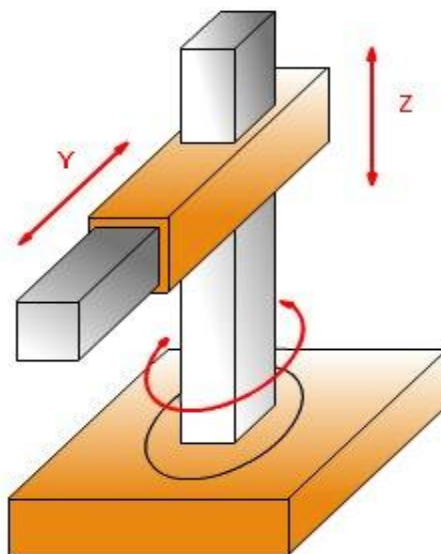


Figura 2.4 configuración cilíndrica [10]

1.2.3 Configuración Polar o Esférica

La configuración polar emplea: dos articulaciones de revolución y una prismática, específicamente un ángulo de rotación de la base, un ángulo de elevación y una extensión lineal del brazo. La configuración esférica emplea coordenadas polares (α , β , ρ) como se muestra en la figura 2.5.

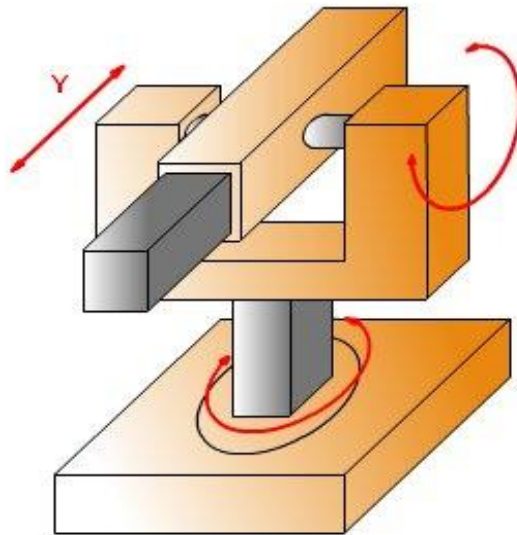


Figura 2.5 Configuración polar [10]

1.2.4 Configuración Angular

La configuración angular es una estructura con tres articulaciones de revolución, la articulación de la base es de movimiento rotacional y las otras dos de movimiento angular (α , β , γ) como se muestra en la figura 2.6. Estos tipos de robot se parecen al brazo humano, con una cintura, el hombro, el codo, la muñeca[13].

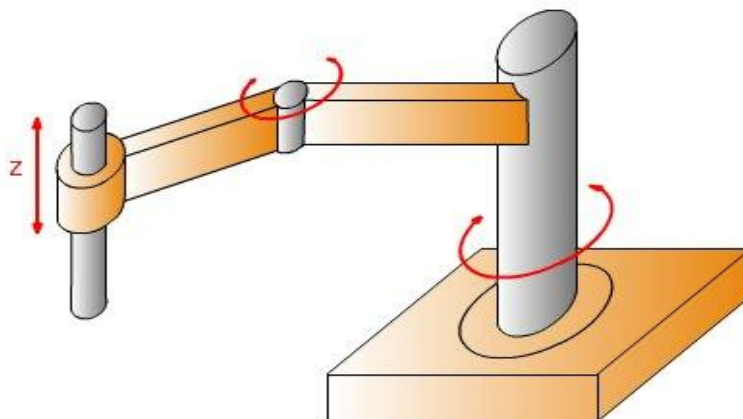


Figura 2.6 Configuración angular [10]

1.3 Efectores Finales

Es el cuerpo o elemento terminal del robot, el cual es ubicado como manipulador para suministrar la capacidad de agarre y manipulación de objetos en el área de trabajo de trabajo del robot. Las características a tener en cuenta en el momento de diseñar efectores finales son[13]:

- Capacidad de carga
- Fuerza de agarre
- Geometría y dimensiones del objeto a manipular
- Tipos de movimientos a realizar
- Alimentación(neumática ,eléctrica ,hidráulica)
- Características de la superficie de contacto

Los efectores finales se pueden clasificar en dos grupos: las garras y las herramientas especializadas los robots emplean especialmente pinzas para mover objetos o realizar trabajos especializados como por ejemplo en la figura 2.7 se muestra un proyecto de un manipulador robótico para el entrenamiento de personal en cirugía incisiva [14], en el cual se desarrolla tecnología de manipulación para personal médico en cirugías incisivas con seres vivos, las garras son utilizadas para el capturar objetos por el área interna o externa, los mecanismos implementados para este tipo de manipuladores(véase figura 2.8) son diversos entre ellas las más utilizadas son :mecanismos de manivela y guía de extensión, mecanismos de manivela y guía de retracción, mecanismos de dedos pivotantes, mecanismos de cuatro barras paralelas, mecanismos de cuatro barras con piñón y cremallera y mecanismos de cuatro barras con servo motor eléctrico [7].

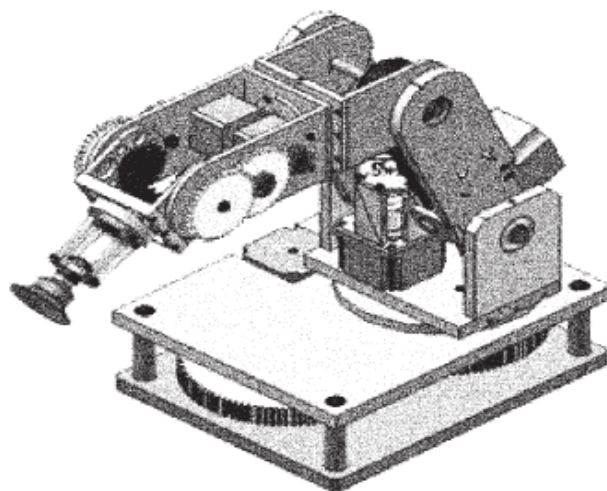


Figura 2.7 Diseño final del manipulador robótico aplicado a la cirugía [14]

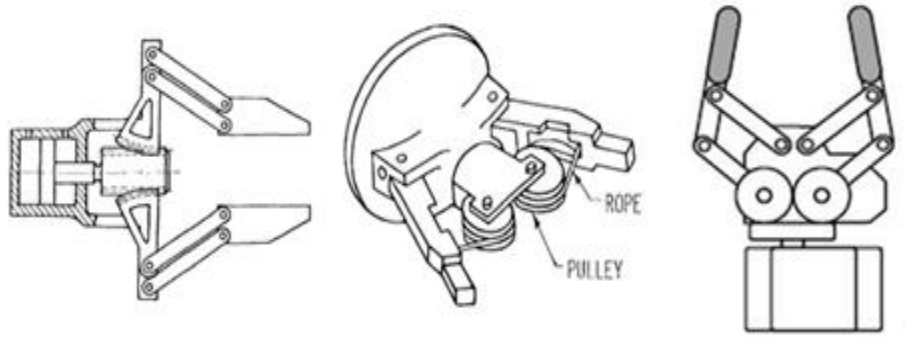


Figura 2.8 Garras Robóticas [14]

La captación y manipulación de objetos en procesos industriales, requieren efectores especiales dependiendo de la operación del robot como: mecanizado, soldadura por arco continuo, soldadura por puntos, corte por chorro de agua, pintura pulverizada, montaje e inspección, etc.

Algunos robots cuentan con dispositivo automatizado que permiten el intercambiar rápidamente herramientas de agarre, utilizados para compensar la baja adherencia del manipulador al objeto, los robots cuentan con dispositivos que permiten seleccionar herramientas en el sistema según la necesidad de alcanzar niveles superiores de manipuladores más evolucionados en la robótica ha hecho que las universidades e instituciones de investigación han estado estudiando en los últimos años, los sistemas de sujeción similar a una mano humana, con énfasis en el modelado cinemático, el control de la estructura, etc. Garras avanzada como la mano humana (véase figura 2.9) en la versatilidad, puede ser utilizado tanto para recoger y mover objetos de la industria, así como manipular y usar diseñados para los trabajadores humanos.

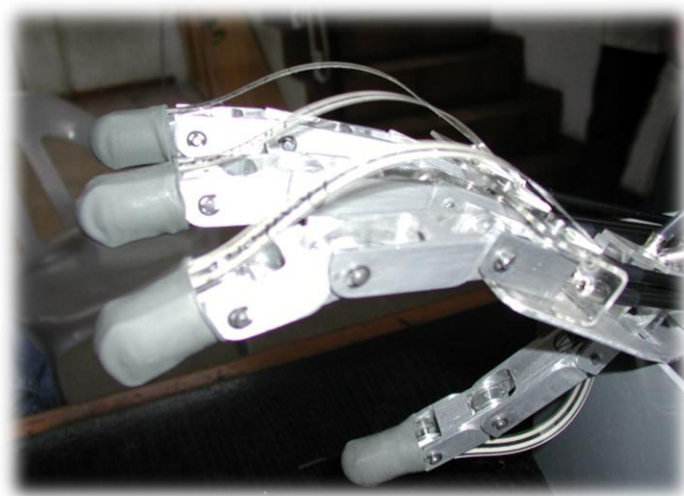


Figura 2.9 Mano UMNG [15]

1.4 Prensión en Humanos

La funcionalidad de la mano se basa en dos aspectos:

- La Prensión: habilidad de la mano para agarrar con firmeza y sostener diferentes objetos de distintos tamaños y formas.
- El tacto: Sentido mediante el cual la mano percibe cualidades de un objeto cuando se establece un contacto del objeto con la piel.

Funcionalidades las cuales le permiten al hombre convertir las ideas en formas[16], la mano otorga expresión a las palabras, la compleja organización anatómica y funcional de la mano tiene como meta la prensión. Pero no existe un tipo único de prensión, existen varios: cuatro de los cuales interviene el pulgar[17]: prensión por oposición terminal, prensión por oposición subterminal, prensión por oposición subterminolateral, prensión palmar a manos llenas (véase figura 2.10). Es importante mencionar que el dedo pulgar representa el miembro más importante de la mano, sin éste la capacidad de la mano se reduce hasta en un 40 %.



Figura 2.10 Formas básicas de Prensión de la mano [18]

1.4.1 La prensión por oposición terminal

Es la más fina y de mayor precisión. Permite sujetar objetos de dimensión muy reducida o recoger objetos muy delgados: como una cerilla o un alfiler (véase figura 2.11). El pulgar y el índice se oponen a través de la punta de sus pulpejos y en caso de que se trate de objetos extremadamente delgados, incluso utilizando el borde de la uña, cuya intervención es primordial en esta modalidad de prensión en la que se precisa de un pulpejo elástico y adecuadamente apoyado por la uña.



Figura 2.11 Presión por oposición terminal [17]

1.4.2 La presión por oposición subterminal

Constituye la modalidad más corriente. Permite sujetar objetos relativamente más gruesos: un lápiz o una hoja de papel (véase figura 2.12): La prueba de la eficacia de la presión pulgar subterminal consiste en intentar arrebatarse una hoja de papel sujeta con fuerza entre el pulgar y el índice.



Figura 2.12 Presión por oposición subterminal [17]

1.4.3 La presión por oposición subterminolateral

Cuando se sostiene una moneda (véase figura 2.13) o una hoja de papel. Esta modalidad de presión puede suplir a la oposición terminal o subterminal cuando las dos últimas falanges del índice han sido amputadas, la prensa aunque menos fina siendo sólida.



Figura 2.13 Presión por oposición subterminolateral [17]

1.4.4 La prensión palmar a manos llenas

Es la prensión de fuerza para los objetos pesados y relativamente voluminosos: Objetos cilíndricos (véase figura 2.14), alrededor de los cuales la mano se enrolla.



Figura 2.14 Prensión palmar a manos llenas [17]

1.5 Estructura y función de la mano humana

La mano humana es capaz de maniobrar casi en cualquier posición que se desee, para ello se basa en la agilidad de los dedos y la habilidad de la muñeca para acomodarla en la posición deseada[19]. La mano consta de tres partes: la muñeca la cual es la encargada de articular la mano con el antebrazo capaz de producir dos grados de libertad a la mano, la región palmar y los dedos encargados de maniobrar y sujetar los objetos a nivel únicamente esquelético. Partiendo del antebrazo, se conforma una cadena de músculos y huesos articulados cuyos eslabones son el radio, el carpo, el metacarpo, y las falanges que son tres: proximal, media y distal para cada uno de los dedos excepto el pulgar que solo posee dos,[20]. En la figura 2.15 se muestran alguno de los músculos y huesos que participan en los movimientos del brazo. En la tabla 2.1 se muestran los posibles valores para realizar los movimientos.

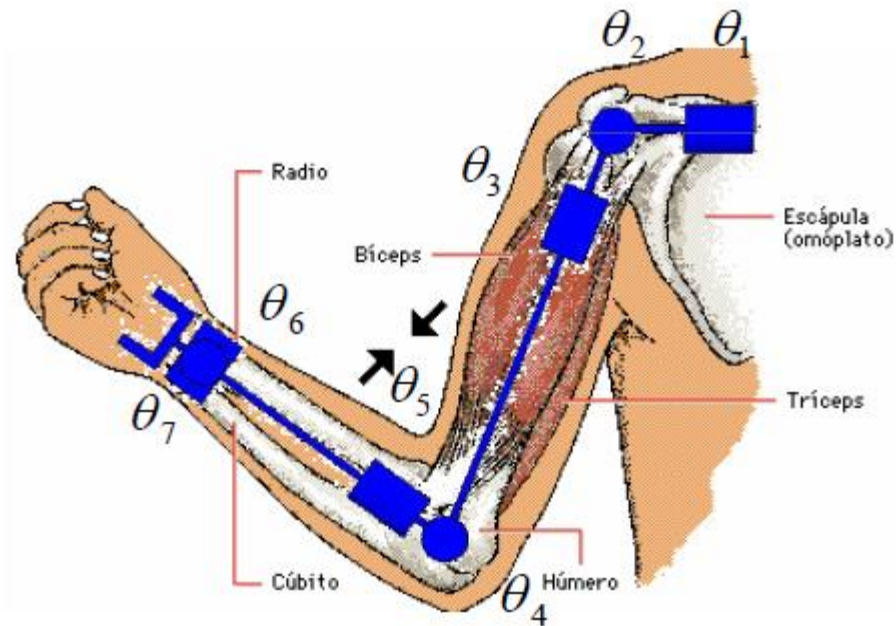


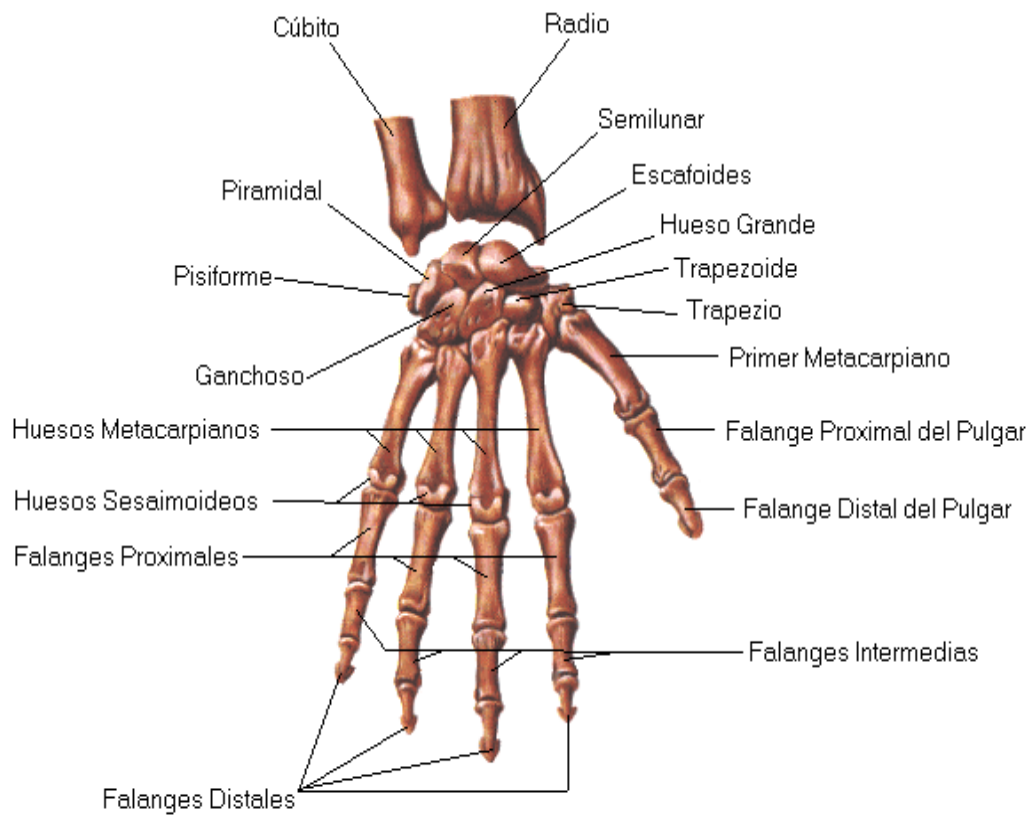
Figura 2.15 Huesos y músculos del brazo humano

Tabla 1 Rangos de movilidad del brazo humano [21]

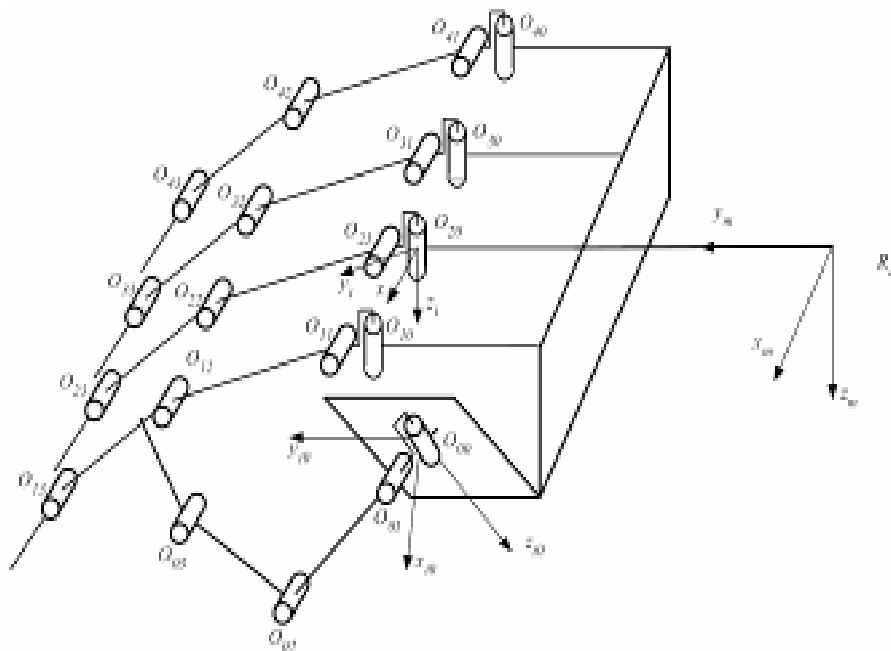
	HUMANO ESTANDAR(°)	θ
HOMBRO	-180 a 50	θ_1
	-90 a 90	θ_2
	-90 a 0	θ_3
CODO	-145 a 0	θ_4
	-90 a 90	θ_5
MUÑECA	-55 a 25	θ_6
	-70 a 90	θ_7

1.5.1 Anatomía de la mano

La mano posee 27 huesos, ocho en el metacarpo, 5 metacarpianos y un total de 14 falanges, como se ve en la figura 2.16. Aunque se le considera como una sola articulación, la muñeca es en realidad una articulación compuesta, con movimiento global, debido a las interacciones entre los huesos individuales del carpo, así como interacciones distales con las bases de los metacarpianos y en dirección proximal con la superficie articular distal de cubito y radio [22].



a) Esqueleto de la mano humana [22]



b) Modelo Mecánico Equivalente [15]

Figura 2.16 a) Huesos de la mano y b) modelo matemático equivalente

Sólo en los dedos(véase figura 2.17) terminan 36 músculos, de los cuales 18 son largos, pues tienen su vientre muscular a nivel del antebrazo y son sus tendones, como largas correas de transmisión, los que terminan en las distintas falanges, y 18 son cortos, pues sus pequeños vientres musculares se encuentran en las distintas regiones topográficas de la mano. A éstos hay que añadir otra serie de músculos largos, 6 en total, que llegando a la mano no alcanzan los dedos y aunque no tiene lógicamente acción sobre ellos, si la poseen y muy importante sobre la articulación de la muñeca. Además existen otros cinco músculos que aunque sus inserciones distales no llegan a la mano tienen acción indirecta sobre ella por transmisión de la movilidad que producen: son los que terminan a nivel del radio sobre el que imprimen movimientos de giro que se traducen en la mano, por arrastre de la misma, en movimientos de rotación o prono-supinación[23].



Figura 2.17 Mano humana y sus articulaciones

Tabla 2 Movilidad dedo humano [21]

GDL	ARTICULACION	HUMANO (°)	θ
1	METACARPIOFALANGEAL	90	θ_1
2	INTERFALANGEPROXIMAL	110	θ_2
3	INTERFALANGE DISTAL	60-70	θ_3

1.5.2 Movimientos de la mano humana

La articulación de la muñeca tiene dos grados de libertad de movimientos. Los dedos también tienen dos grados de libertad en su articulación con la palma. Los movimientos laterales que permiten abrir los dedos llamados de aducción y abducción son limitados, pero los movimientos de flexión y extensión son extremadamente amplios. El dedo pulgar tiene una movilidad excepcional (véase figura 2.18) se puede observar que posee las trayectorias más importantes en nuestra mano; abducción, rotación y flexión y los otros cuatro dedos se mueven de manera limitada en sentido lateral, aunque su capacidad de flexión buena. Actualmente la incapacidad funcional ocasionada por la pérdida del pulgar se evalúa en un 33 %, igual que la de un ojo, mientras que la pérdida de alguno de los otros dedos se evalúa en un 10 a 15% según de cuál de ellos se trate (índice y medio 15% y anular y meñique 10 %) y se ha llegado a valorar en el 50% de lo que supone la pérdida total de la mano,[23].

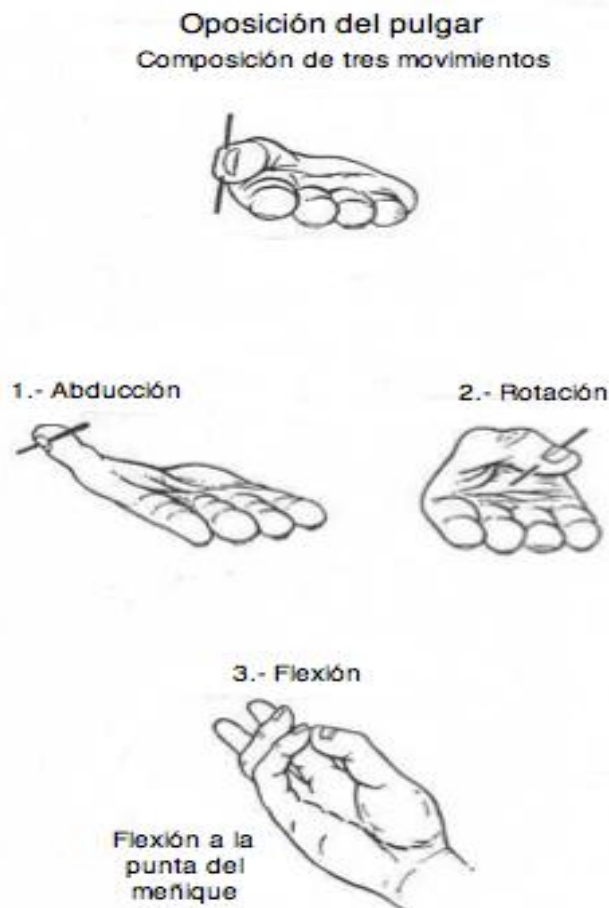


Figura 2.18 Movimientos dedo pulgar [22]

La gran cantidad de músculos y juntas que están presentes en la mano permiten variedad en las configuraciones de agarre. En 1919, Schlesinger desarrolló una clasificación de la taxonomía para el estudio de la destreza de las manos humanas. Este autor agrupó en seis categorías las estrategias de

agarre de la mano humana: agarre cilíndrico, de punta, de gancho, de palma (Palmar), esférico y de lado (Lateral), como es mostrado en la figura 2.19, [24].

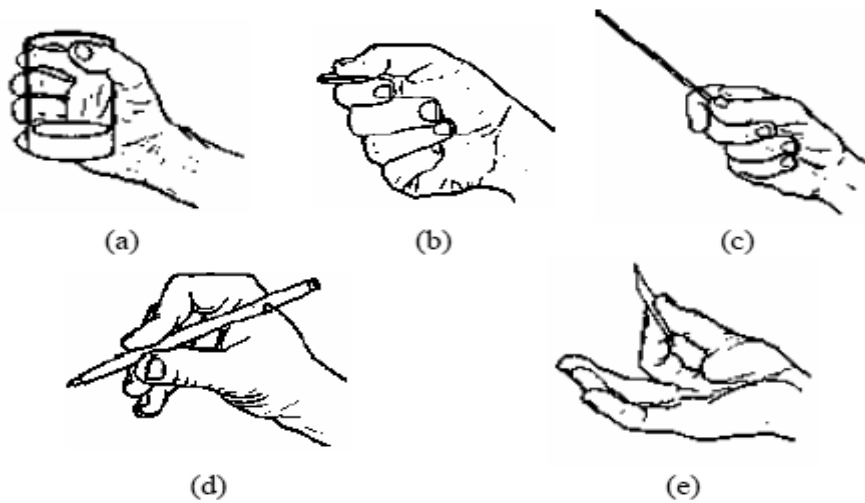


Figura 2.19 Modelos prensiles humanos, a) cilíndrica palmar, b) subterminal, c) centralizado, d) tridigital, e) posición subterminal [24]

En la figura 2.20 se muestra una clasificación taxonómica sobre las habilidades de la mano desarrollada por Schlesinger.

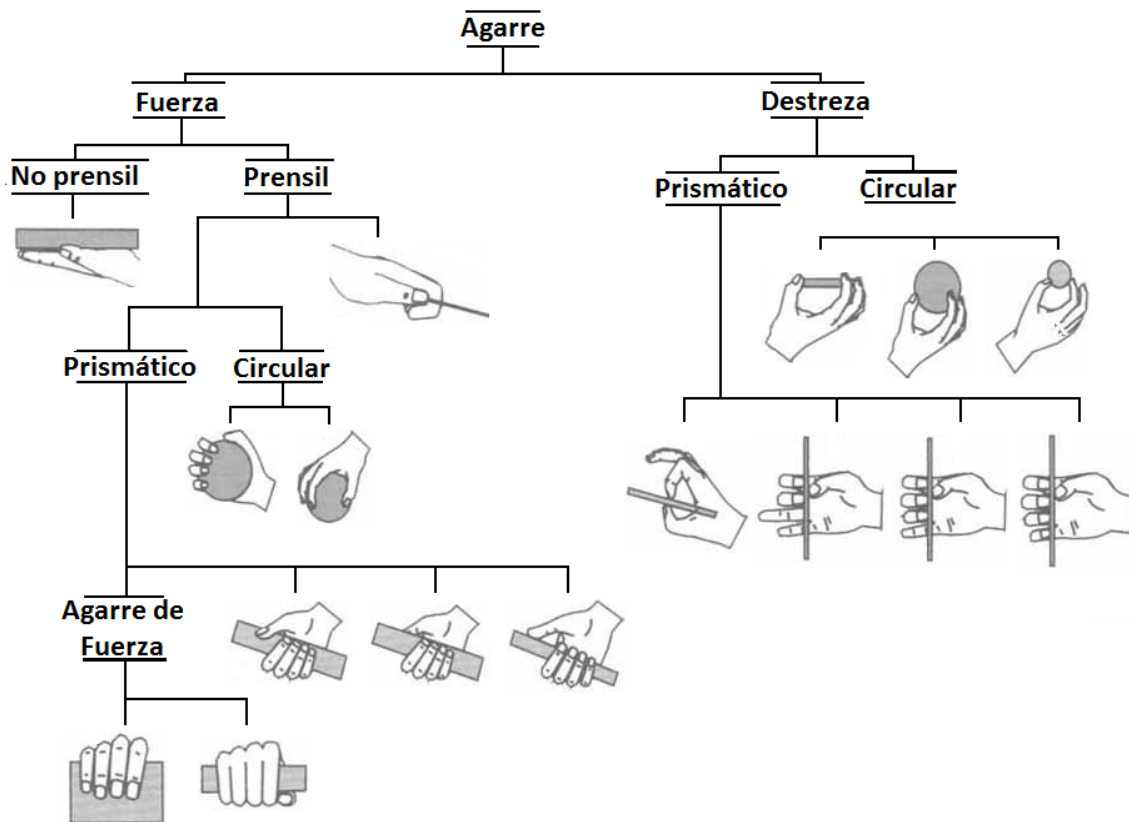


Figura 2.20 Clasificación de los Modelos Prensiles Humanos

La capacidad de la mano humana proviene de la habilidad de tres arcos (véase figura 2.21), dos transversales y uno longitudinal, estos arcos pueden ajustarse a diversas posturas, logrando así un mejor control sobre los objetos que la mano manipula, además de poder sujetar objetos de formas irregulares y volúmenes considerables[25].

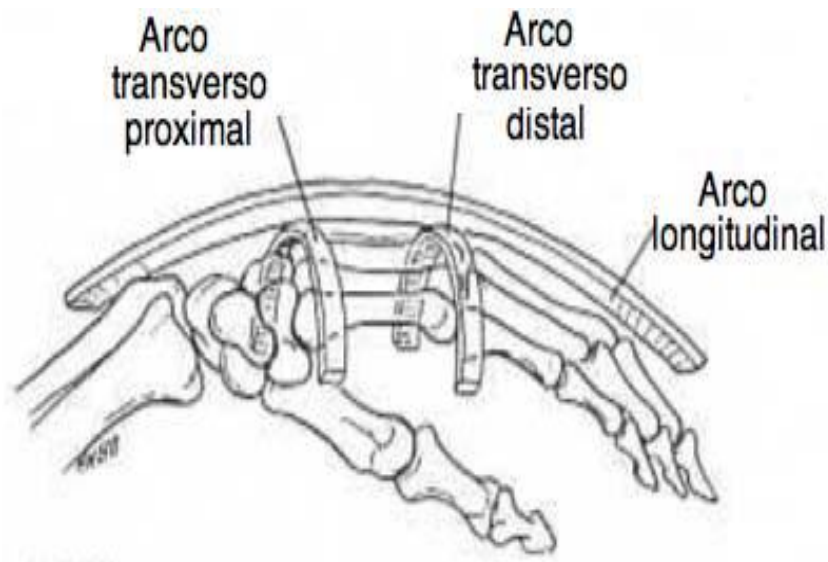


Figura 2.21 Arcos de la mano [25]

1.6 Mano robótica antropomórfica

Las Investigaciones realizadas acerca de manipuladores antropomórficos es a largo plazo el tema en la robótica. El reto técnico de modificar los movimientos similares a las manos humanas de un manipulador, es de manera sistemática incidencia en el diseño del software y el hardware del brazo robótico. La mano humana es la objetivo ideal compuesto de muchas funciones que deben aplicarse al humanoide. El diseño de los grados de libertad (GDL) en el mecanismo y el control de accionamiento para realizar el movimiento humano como uno de los temas importantes al momento de hablar de antropomorfismo [26]. El agarre humano como modelo ha llevado a la construcción de innovadores pero costosos prototipos de dedos, para ser utilizados como partes funcionales de robots antropomórficos[15], ejemplo se puede hacer referencia a los diseños utilizados en las siguientes manos: Stanford/JPL hand, Utah/MIT hand, TUAT/Karlsruhe Humanoid Hand, DLR Hand. Los cuales se pueden observar en la figura 2.22.



Stanford/JPL hand



Utah/MIT hand



TUAT/Karlsruhe Humanoid Hand



DLR Hand

Figura 2.22 Manos desarrolladas por centros de investigación [15]

Uno de los retos de esta línea de investigación es la emulación de anatomía humana, lo que a menudo puede resultar confuso y complicado de llevar a cabo, la fabricación y mando de un solo dedo robótico inspirado por la anatomía humana, debe ser un buen inicio para el diseño de un efector final apropiado para un robot humanoide, figura 2.23,[27].

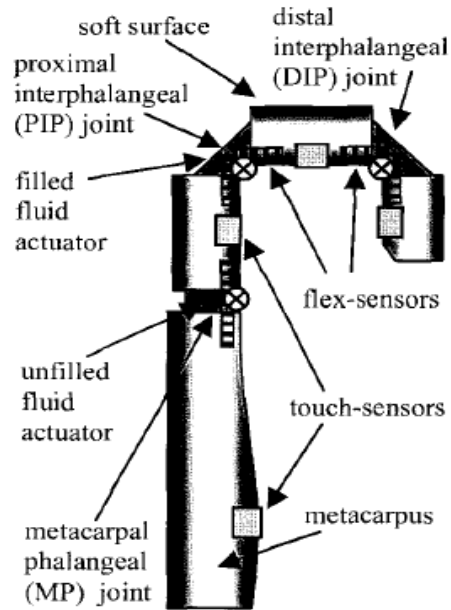


Figura 2.23 Construcción esquemática del dedo [27]

1.6. Manos robóticas

1.6.1 Mano Utah/MIT

La mano Utah [24], La geometría de la mano robótica es antropomorfa a pesar de que el dedo pulgar es permanente en su posición. Los 16 GDL se accionan mediante un enfoque de tendones que son accionados por un sistema de 32 tendones independientes poliméricos. En la figura 2.24 la mano Utah.



Figura 2.24 Mano Utah [24]

Tabla 3 Características mano Utah

GRADOS DE LIBERTAD	4
ACTUADORES	NEUMATICO
EFECTOR	MANO ANTROPOMORFICA

1.6.2 Mano Robonaut

La mano Robonaut [28], mano con 5 dedos, 2 GDL en la muñeca, y está equipada con 43 sensores. Esta mano se implementó para el robot antropomórfico Robonaut. En la figura 2.25 la mano Robonaut.



Figura 2.25 Mano Robonaut [28]

Tabla 4 Características Robonaut

GRADOS DE LIBERTAD	12
ACTUADORES	14 MOTORES CC
EFECTOR	MANO ANTROPOMORFICA

1.6.3 Mano DLR

La mano DLR [29], Tiene 4 dedos, los dedos disponen de sensores de posición, fuerza y torque. En la figura 2.26 la mano DLR.



Figura 2.26 Mano DLR [29]

Tabla 5 Características Mano DLR

GRADOS DE LIBERTAD	14
ACTUADORES	MOTORES DC
EFECTOR	MANO ANTROPOMORFICA

1.6.4 Mano Ultraleve

La mano Ultraleve [27], mano con 5 dedos, los actuadores están integrados en los dedos compacto y ligero que puede ser utilizado como una prótesis de mano o como una mano de un robot humanoide. En la figura 2.27 mano Ultraleve.



Figura 2.27 Mano Ultraleve [27]

Tabla 6 Características mano ultraleve

GRADOS DE LIBERTAD	13
ACTUADORES	FLUIDICOS FLEXIBLES MINIATURIZADOS
EFECTOR	MANO ANTROPOMORFICA

1.6.5 Mano Marcus

La mano Marcus [30], tiene 3 dedos: pulgar, índice y corazón. La mano tiene sensores de efecto Hall para determinar la posición y un sensor de fuerza en el dedo pulgar. En la figura 2.28 Mano Marcus.

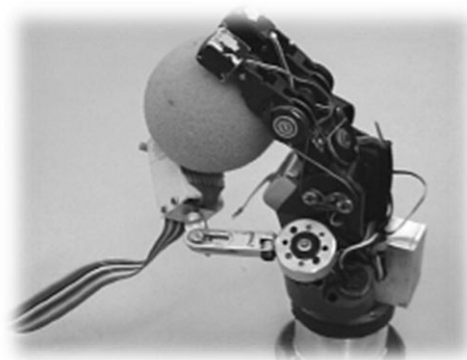


Figura 2.28 Mano Marcus [30]

Tabla 7 Características Mano Marcus

GRADOS DE LIBERTAD	2
ACTUADORES	MOTORES
EFECTOR	MANO ANTROPOMORFICA

2. Diseño acople para Gripper

2.1. Arquitectura general del sistema implementado

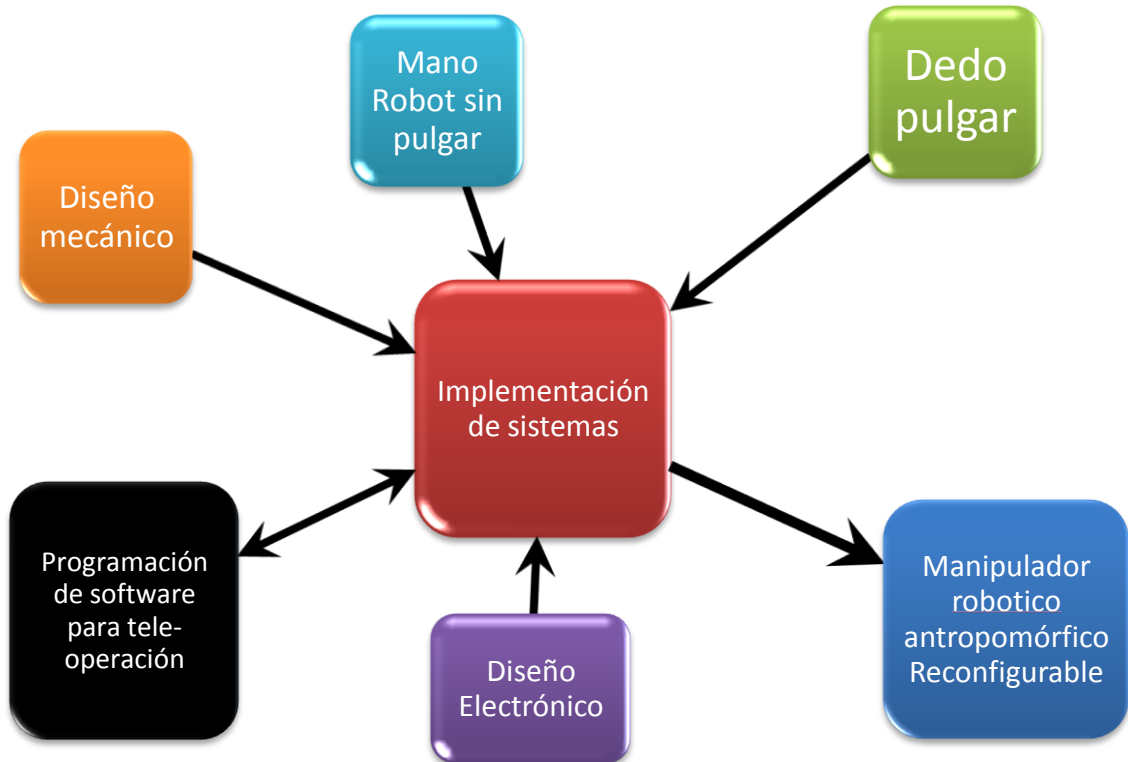


Figura 3.29 Arquitectura de la mano robótica

La implementación del dedo pulgar cuenta con sistemas que integrados permiten a la mano realizar movimientos de agarre de objetos y reconfiguración de la misma (véase figura 3.29). Para realizar la implementación de los sistemas que conforman la mano antropomórfica, es necesario realizar los diseños de los sistemas para verificar que cumplan con los requerimientos necesarios, para el óptimo funcionamiento de la mano robot antropomórfico.

Los diseños analizados en este capítulo son:

- Diseño mecánico
 - CAD.
 - Análisis de elementos finitos.

- Diseño electrónico:
 - Simulación
 - PCB
- Diseño de software de mando.

2.2. Diseño mecánico

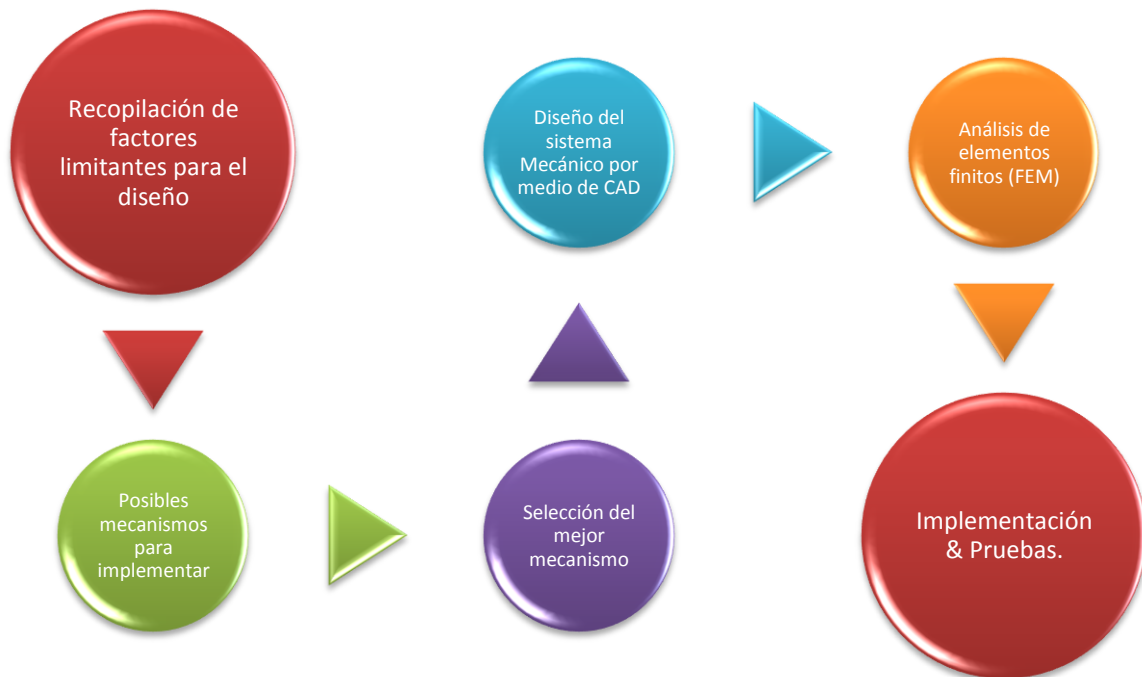


Figura 3.30 Metodología de desarrollo del proyecto

Al realizar el diseño mecánico de la mano existían diversos tipos de limitantes entre las cuales encontramos: el tamaño de los dedos actualmente construidos, el tipo de acople según la condición en la cual sin energizar el sistema se mantuviese en la misma posición y que no se moviera por inercia de los componentes o por fuerzas externas.

A partir de las limitantes anteriormente mencionadas, se procede a seleccionar un sistema mecánico que cumpla con estas características para ser implementada en la mano robot antropomórfico. De acuerdo al estado del arte de los sistemas mecánicos actuales utilizados para manos robóticas, se seleccionaron tres posibles sistemas mecánico: engranajes rectos, helicoidales o de tornillo sinfín.

El sistema tornillo sinfín se acopla las necesidades de diseño, por lo cual se realiza el diseño del mecanismo mediante el software de diseño asistido por computador (CAD) denominado SOLID WORK® de la casa matriz Dassault Systemes®, este software permite dibujar elemento a elemento e integrarlo en

conjunto para observar la disposición de cada uno y su funcionalidad en el mecanismo.

Integrado los elementos en el conjunto de la mano robot antropomórfica, se procede a realizar análisis de elementos finitos (FEM), para validar si las cargas a las que estaría expuesto mecanismo eran acordes al diseño implementado y a los materiales utilizados para la construcción del mismo.

Como etapa final en el diseño CAD del mecanismo se construyen los componentes y se realizan las pruebas de rigor respectivas para validar que los datos obtenidos mediante simulaciones sean acertados.

2.2.1. Diseño mecánico (CAD)



Figura 3.31 Elementos mecánicos constitutivos de la mano robótica

Para implementar el sistema mecánico más adecuado para integrar el dedo pulgar existente con la mano robot antropomórfica de 4 dedos sin pulgar, se selecciono el sistema sinfín – corona, el cual se acoplaba al requerimiento del sistema de no permitir el movimiento del mecanismo aun cuando el sistema estuviese con energía cero [31]. Debido a factores como del peso de sus componentes o efecto de cargas externas.

El sistema cuenta con un piñón corona de 35 dientes y un sinfín de entrada simple, los cuales permiten un movimiento acorde a las necesidades del mecanismo.

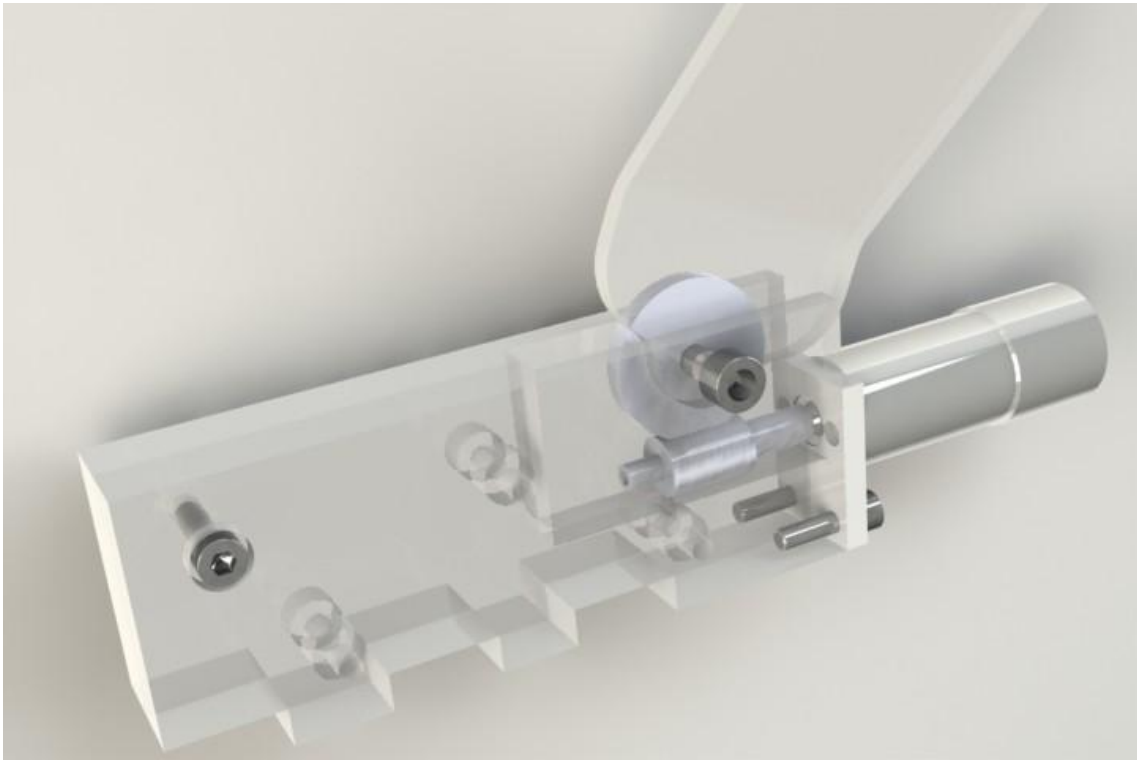


Figura 3.32 CAD acople sinfin-piñon

En la figura 3.32 se observa el sistema sinfín – piñón implementado en el diseño, junto con el motor y las placas de soporte base. La placa base del dedo pulgar constituyen el sistema a implementar en la mano robot antropomórfica actual.

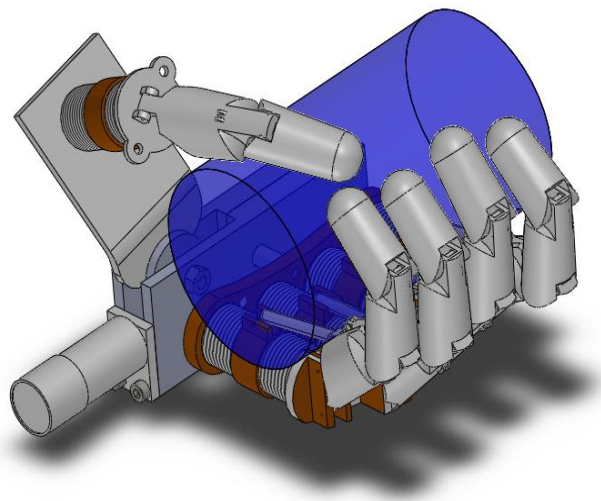


Figura 3.33 CAD agarre objeto cilíndrico

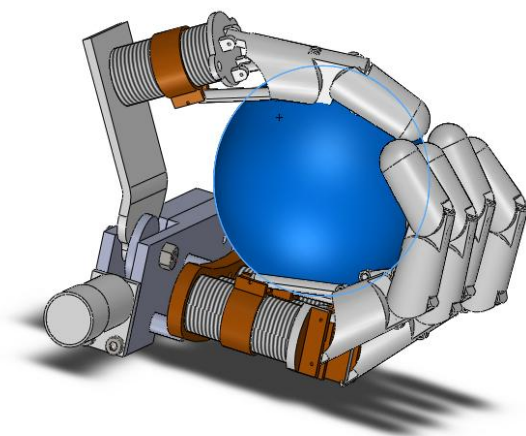


Figura 3.34 CAD agarre objeto esférico

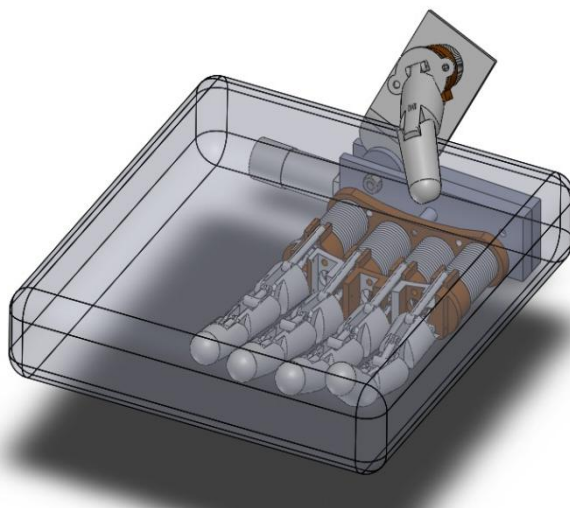


Figura 3.35 CAD agarre objeto planar

En las figuras 3.33, 3.34 y 3.35 se valida la ejecución de los agarres de objetos de tipo: cilíndrico, esférico y planar, propuestos como un objetivo principal del trabajo de grado. La simulación de los agarres permite evaluar si el sistema cuenta con la suficiente libertad de realizar cada uno de estos movimientos, evitando choques mecánicos y sobre-esfuerzo de los componentes. Esto se realizó mediante la reconfiguración de los elementos de forma manual, rotando cada uno de ellos, teniendo en cuenta la restricción de movimiento que cada uno posee.

Luego de validar que mecánicamente los componentes podían lograr los movimientos objetivo del diseño, se procedió a evaluar la resistencia de los elementos a las cargas internas y externas, mediante el módulo de análisis de elementos finitos de Solid Works®.

2.2.2. Análisis de elementos finitos a los mecanismos

Existen diferentes análisis que se pueden realizar en mecanismo para evaluar la funcionalidad o resistencia de los mismo, en este caso los análisis realizados busca evaluar la resistencia a la tensión de los componentes constitutivos del sistema de acople de dedo pulgar para la mano robot antropomórfica.

El análisis realizado es de tipo estático, este se realiza con una malla sólida con elementos de tipo tetraedro, el cual es utilizado para análisis de elementos finitos en tercera dimensión, y cuya ventaja sobre otro tipo de análisis de elementos finitos es que brindan una mayor precisión computacional [32].

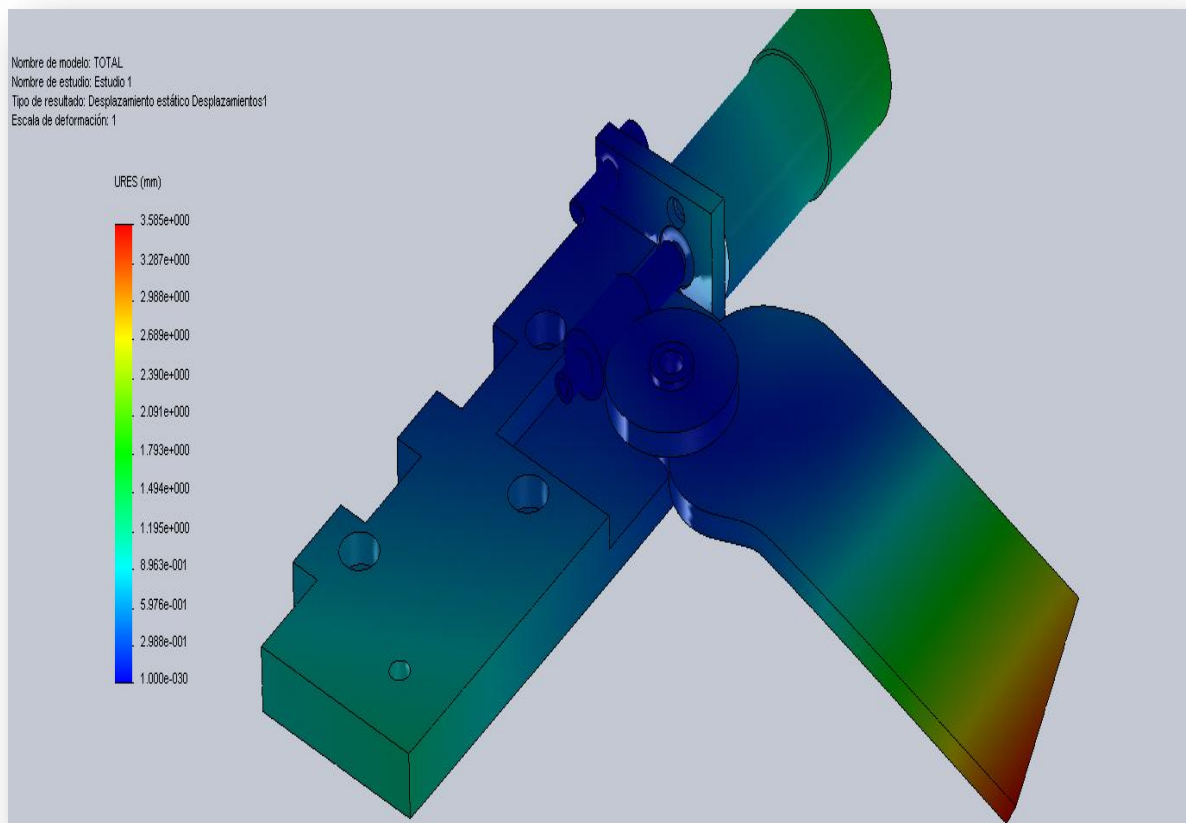


Figura 3.36 Análisis de deformación

En la figura 3.36 se observa que al aplicar una carga de 20 Newton sobre el soporte del dedo pulgar, el máximo desplazamiento que este muestra es de 3.5 mm, la carga sobre el soporte del dedo pulgar está basada en la máxima carga de diseño de la mano, la cual es de 1,6 Kg, esto debido a los materiales con los que se fabricaron tanto sus falanges, como la base en acrílico del sistema de reconfiguración del dedo pulgar.

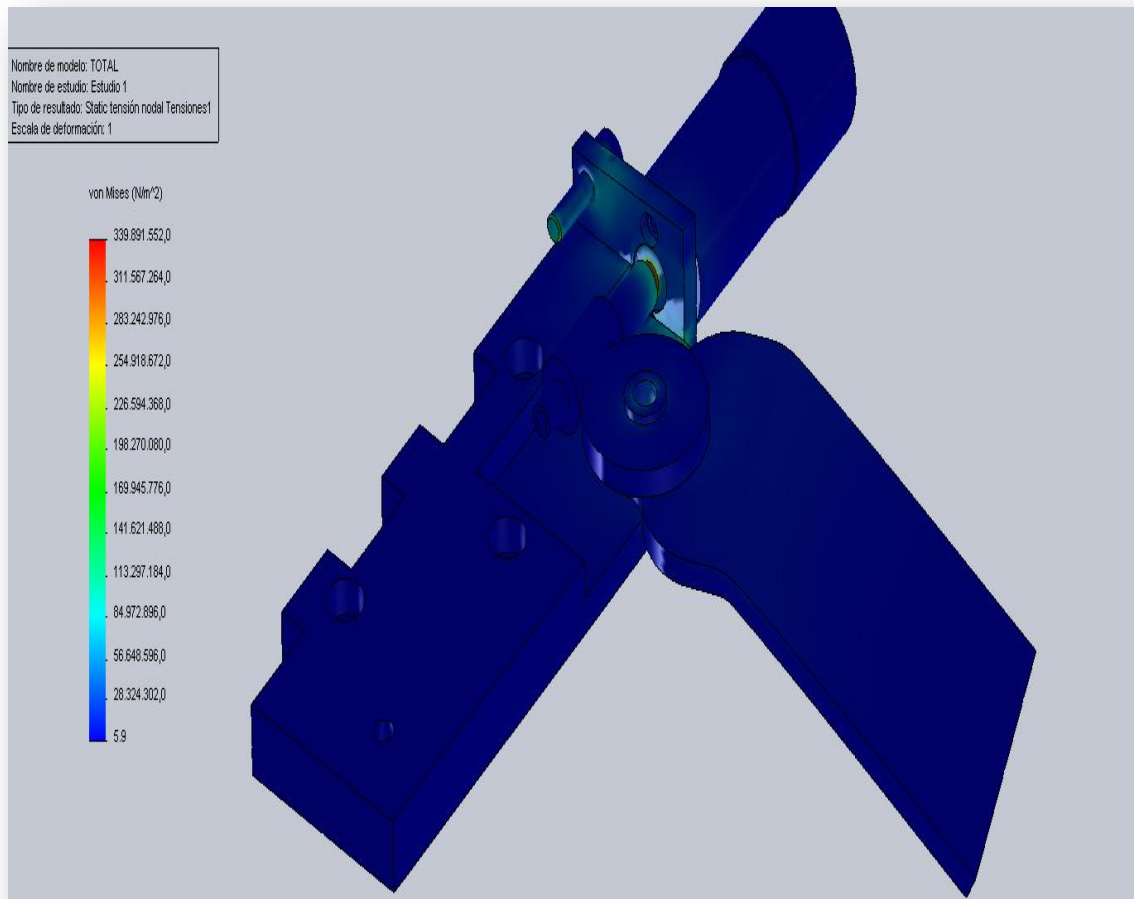
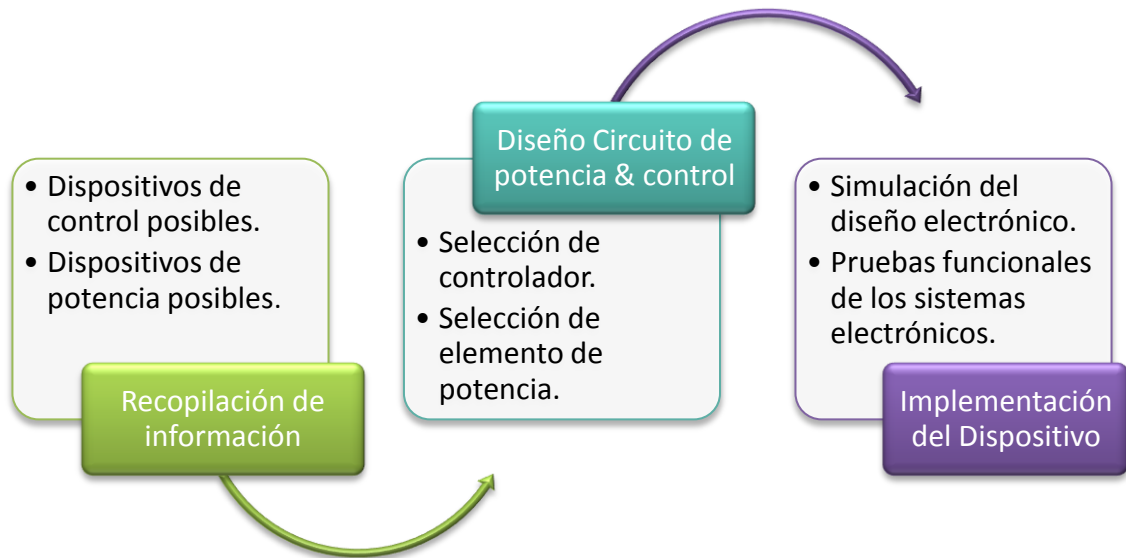


Figura 3.37 Tensión estática nodal

Para las tensiones experimentadas por los componentes, se observa en la figura 3.37 que debido a factores del diseño de los componentes, la base del moto-reductor, la cual genera el movimiento de reconfiguración del dedo pulgar es la más propensa a sufrir fallos. Para el diseño actual los valores de tensión experimentados por esta sección son permisibles, dado que el valor máximo es de $1.98270080e+008 \text{ N/m}^2$ y el límite elástico del acrílico de alto impacto utilizado en este diseño es de $2.0681e+008 \text{ N/m}^2$. La tensión máxima del conjunto la cual se observa en el eje del motor es $3.39892e+008 \text{ N/m}^2$ y es inferior al límite elástico del acero AISI 1010, material constitutivo del eje la cual es $3.51571 e+008 \text{ N/m}^2$.

Luego de realizar las validaciones respectivas del diseño por medio del análisis de elementos finitos y observar que estas se encontraban dentro de parámetros, se procede a realizar los diseños electrónicos respectivos para generar los movimientos objeto de la construcción de la mano robot antropomórfico.

2.3. Diseño electrónico



Los requerimientos de los componentes electrónicos a emplear parten de los actuadores utilizados para cada GDL de la mano robótica, cada GDL es operado por un motor DC con caja reductora (relación de 141:1) de la marca *Faulhaber®*, las especificaciones del motor se muestran en el **Anexo A** (véase figura 3.38). Para variar la velocidad del motor se utilizan señales moduladas por ancho de pulso (PWM) generada en la etapa de control, estas señales son enviadas a la etapa de potencia la cual está encargada de generarle la energía suficiente a los motores para girar y detenerse.

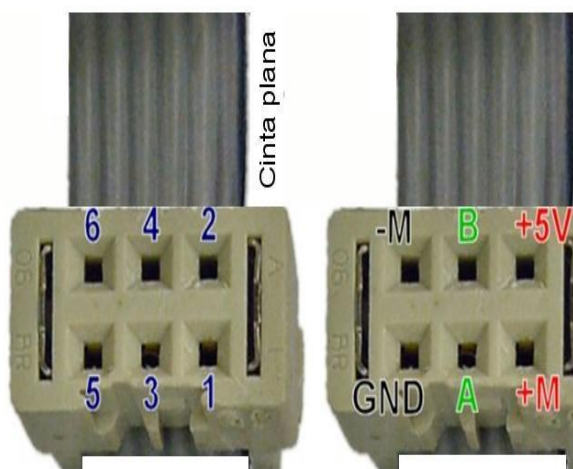


Figura 3.38 Conexión motor

Conector IDC hembra 2x3, cable plano

- PIN 1: Motor (+)
- PIN 2: Vcc encoder (+5v)
- PIN3: Canal A del encoder *
- PIN 4: Canal B del encoder *
- PIN 5: GND del encoder
- PIN 6: Motor (-)

* Las salidas del *encoder* son en colector abierto, por lo que hay que añadir dos resistencias de pull-up de 10K Ω

Es necesario que la etapa de control sea capaz de enviar las señales de PWM a la mano robótica para asegurar la convergencia de la mano a las presiones deseadas, para seleccionar el controlador adecuado para la mano se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros: costo, aplicación (véase figura 3.39) y consumo.

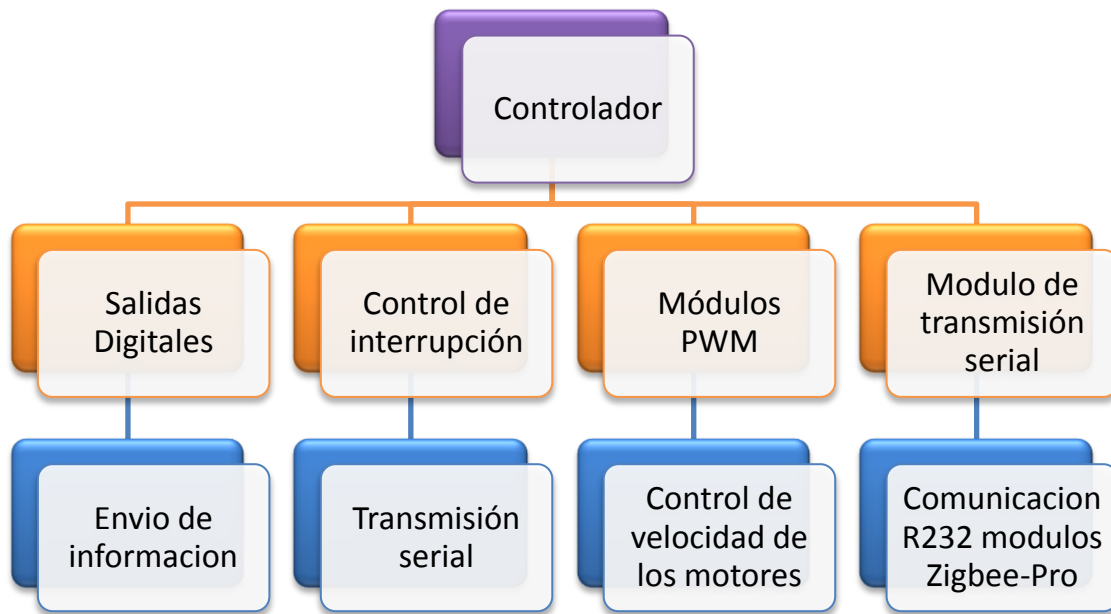


Figura 3.39 Requerimientos técnicos del controlador

La señal de PWM se emplea como técnica para controlar circuitos. El periodo y la frecuencia del tren de pulsos (véase figura 3.40) pueden determinar la potencia entregada al circuito. Si por ejemplo se tiene un voltaje de polarización de 5V y se modula con un ciclo útil (Duty Cycle) del 50% se obtiene 2.5V de señal analógica a la salida.

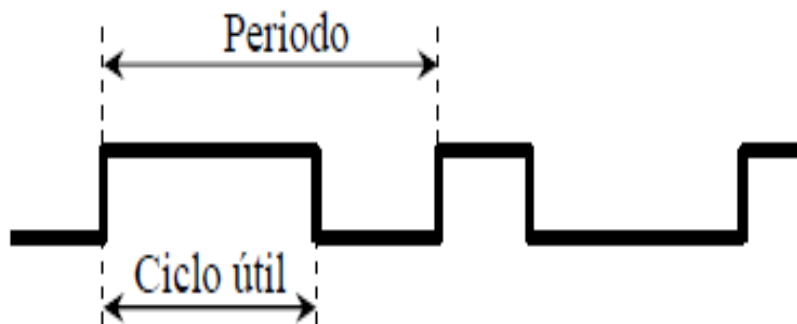


Figura 3.40 Salida PWM [33]

Las variables presentes en el sistema de la mano robótica son las siguientes:

- Alimentación de 12V DC para los motores.
- Alimentación de 5V DC para la tarjeta de control.
- Alimentación de 3.3V DC para los módulos de comunicación serial.
- 6 salidas de señales digitales para el control de giro de los motores en forma de PWM.
- 2 canales para transmisión y recepción de datos serial.

En las figuras 3.41, 3.42 y 3.43 se pueden comparar los diferentes microcontroladores de acuerdo a tres parámetros: la frecuencia de operación, el número de terminales E/S y memoria de programa que posee cada microcontrolador

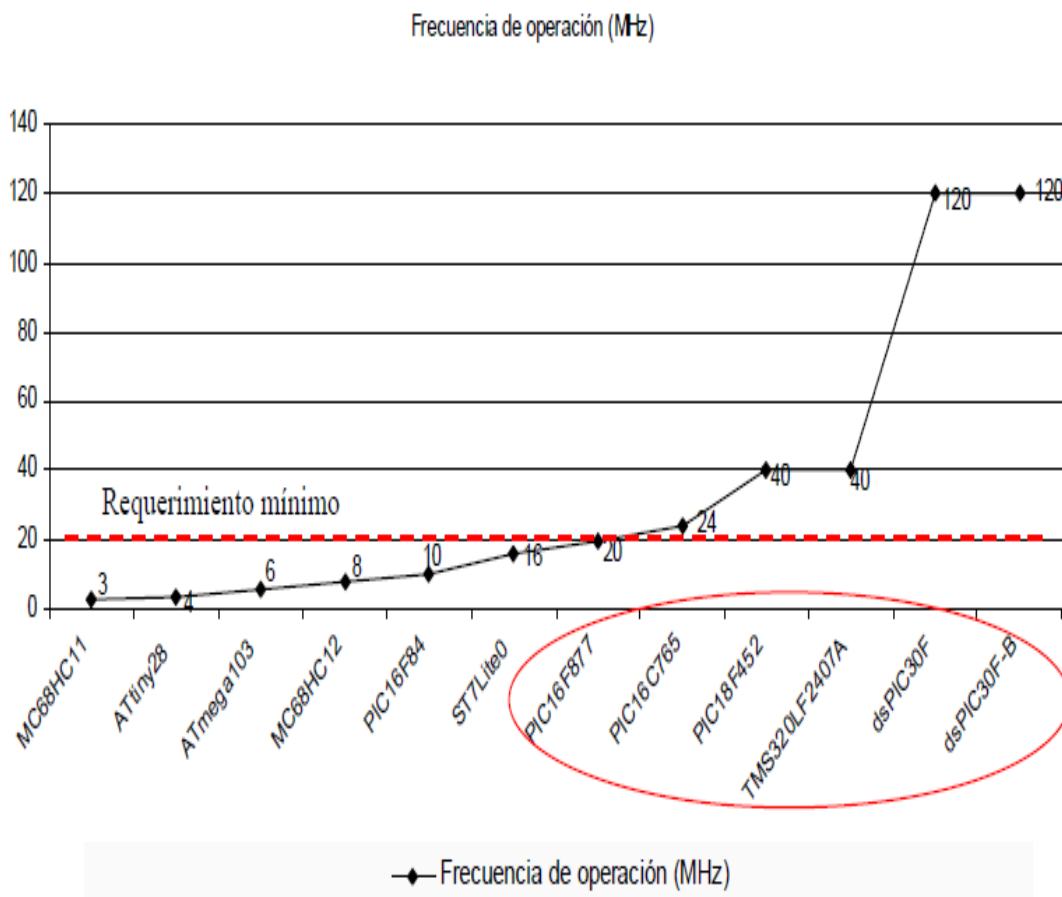


Figura 3.41 Frecuencia de operación (MHz) [33]

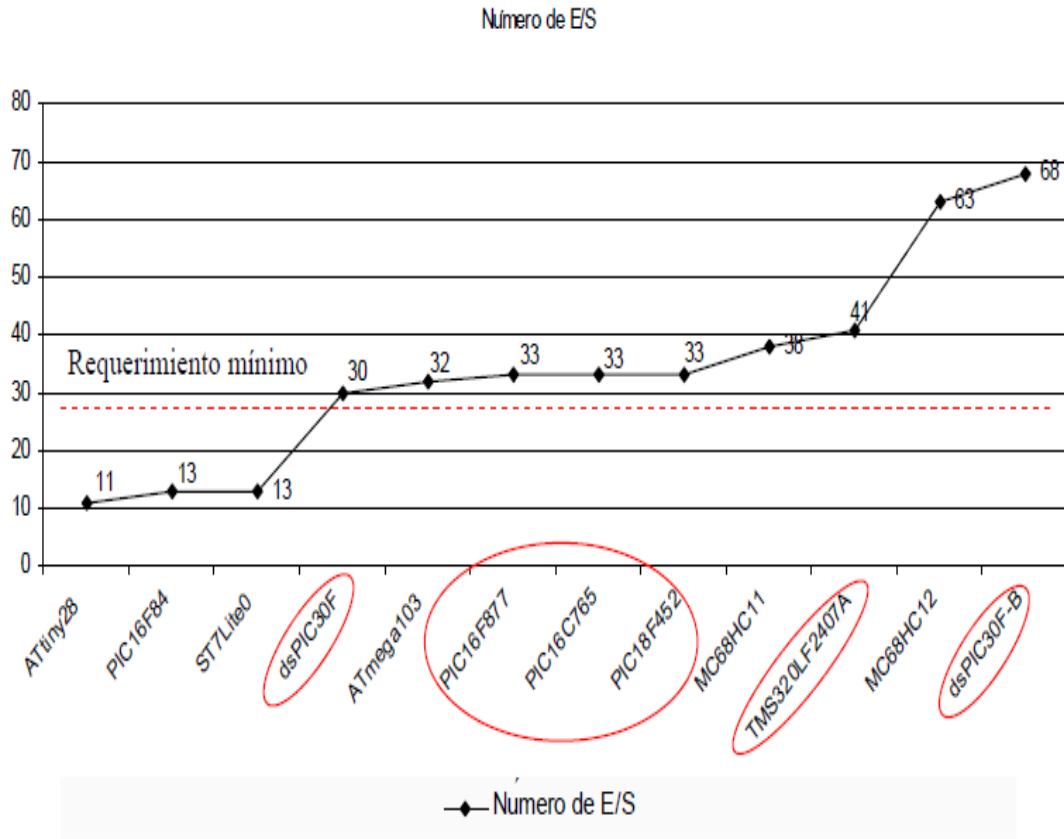


Figura 3.42 Numero de terminales de E/S [33]

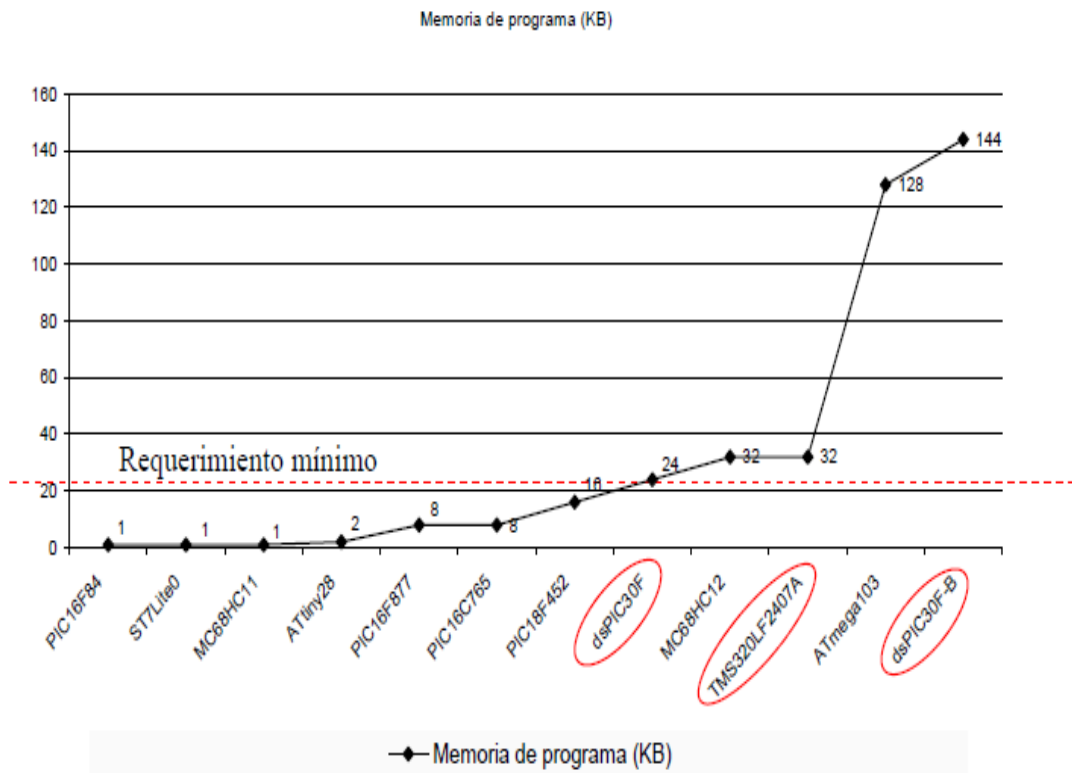


Figura 3.43 Memoria de programa (KB)[33]

Con base a los criterios anteriormente mencionados, el microcontrolador apto para el control de la mano es de la familia DSPic30f, ya que proporciona las mejores características a un costo razonable. El controlador específicamente implementado en la tarjeta de control de la mano para manipular las señales es el DSPIC 30f4011 el cual cuenta con los siguientes recursos[34]:

- Multiplicación MAC 16 x 16 en un ciclo.2
- acumuladores de 40 bits
- Registro de desplazamiento de 40 bits para el escalado.
- Acceso simultáneo de dos operandos.
- Bucles con estructura DO y REPEAT.
- Bloque de registros de trabajo.
- Juego flexible de interrupciones.
- Perro guardián.
- Emulación en tiempo real.
- Optimización para programación en lenguaje C.

La etapa de potencia diseñada se basa en los requerimientos de corriente para los motores, para ello se analizaron tres driver de potencia: el integrado L293D (Powerdip), L298N (Multiwatt15) y SN75441 (Powerdip). Las especificaciones de cada driver se muestran en la tabla 8, cada chip contienen 2 puentes en H para el manejo independiente de dos motores.

Tabla 8 Características driver de potencia

ESPECIFICACIONES	L298N	L293D	SN75441
Corriente máxima intermitente(100 μs)	3A	1.2 ^a	2A
Corriente en modo continuo	2.5A	600mA	1.1A
Operación DC	2A	500mA	700mA

El driver seleccionado según las especificaciones de corriente del motor (véase tabla 9), es el L293D el cual maneja una corriente máxima en modo intermitente a 100 μ s de 1.2A, en modo continuo de 600mA y en operación DC de 500mA.

Tabla 9 Consumo del motor

CORRIENTE	
I_{max} Total	800mA
I_{max} motor	20mA

Las etapas de control y de potencia se ocupan en conjunto de controlar y mover las articulaciones de la mano robot antropomórfico. Para lograr los movimientos y velocidades precisas de las articulaciones, se requiere programar un controlador que logre de responder ante perturbaciones externas y pueda mover la mano a las posiciones deseada en el menor tiempo y con el menor número de oscilaciones.

2.3.1. Simulación circuito electrónico

En la figura 3.44 se muestra la simulación de los circuitos de control y potencia realizada en Proteus de Labcenter Electronics.

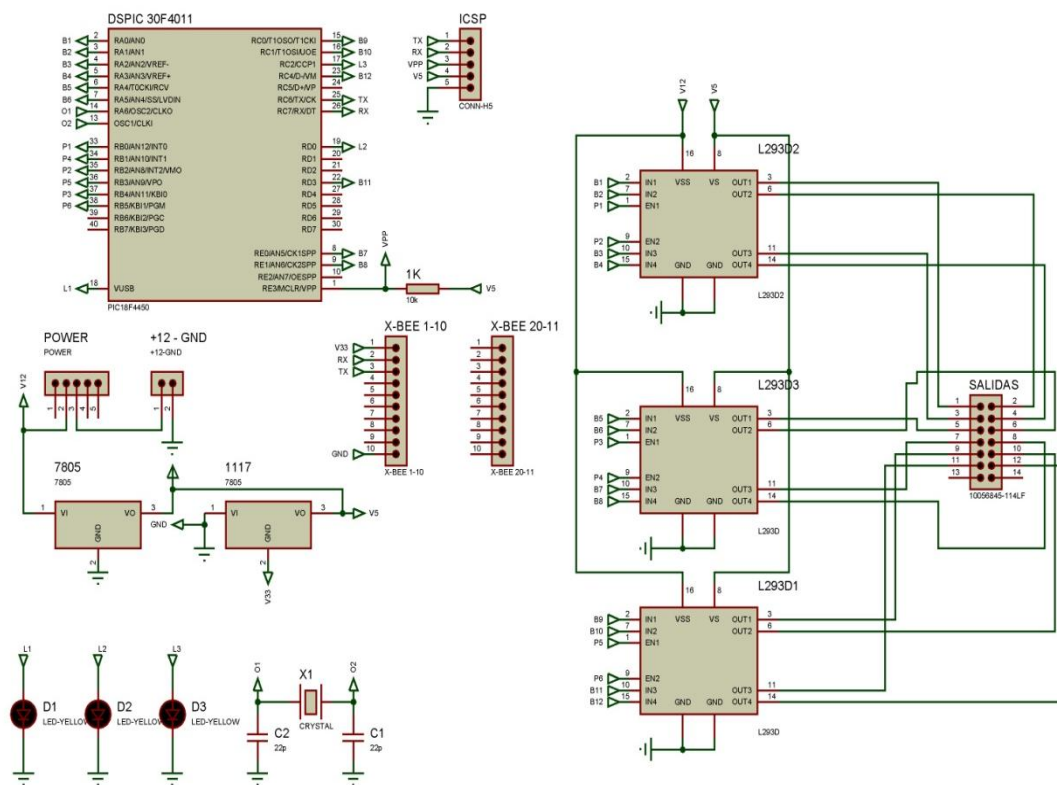


Figura 3.44 Simulación tarjeta mano robótica

La simulación nos brinda la posibilidad de realizar pruebas simuladas en tiempo real de los componentes que componen la tarjeta programable para realizar los movimientos de la mano, la cual consta de los siguientes módulos:

- ✚ **Modulo de alimentación (véase figura 3.45):** Los cuales proporcionan los niveles de voltajes específicos para la alimentación de los integrados. El componente principal es el regulador de tensión 7805, el cual regula a 5V para alimentar el DSPic y el regulador 1117 con tensión de salida de 3.3V para la alimentación de modulo XBEE (Comunicación por radio frecuencia).

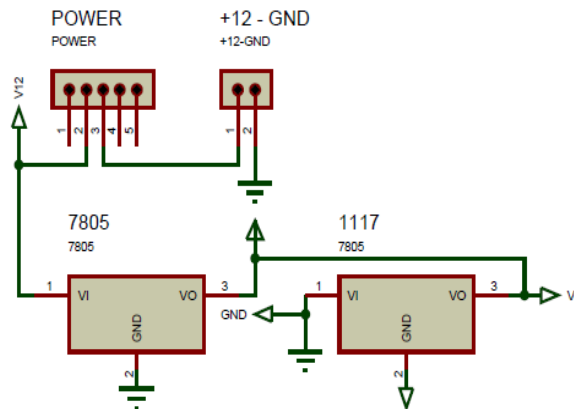


Figura 3.45 Modulo alimentación

- ✚ **Modulo de procesamiento (véase figura 3.46):** Compuesto por el microcontrolador DSPic30f4011, el cuál es la parte central de la tarjeta debido a su función de procesar y controlar las señales de los movimientos de la mano. El modulo de procesamiento está compuesto además por componentes que permiten al microcontrolador oscilar y reiniciar, necesario para su optimo funcionamiento.

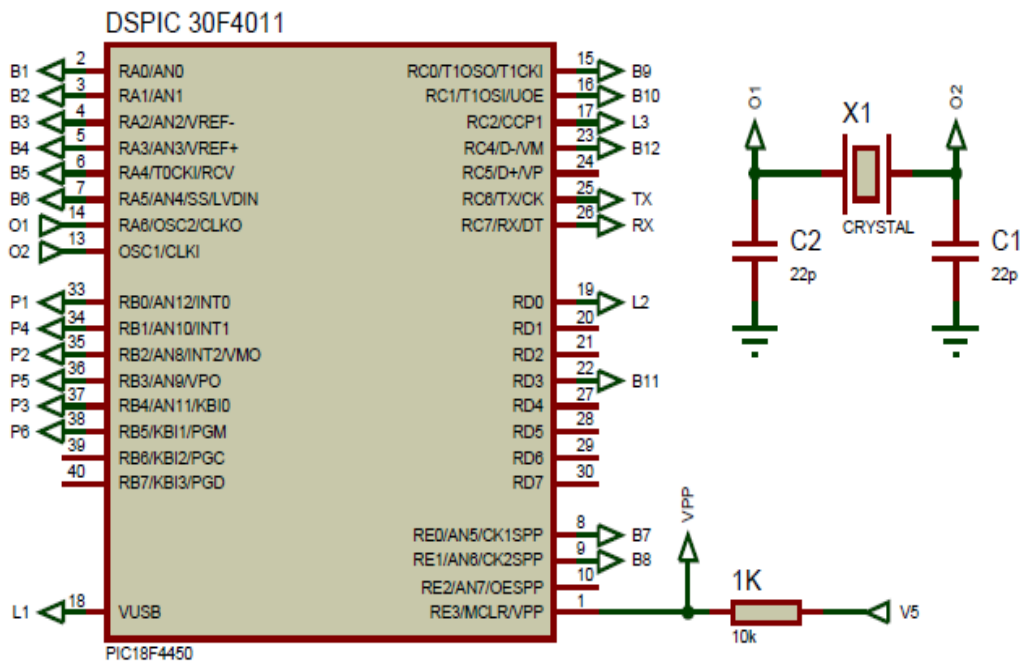


Figura 3.46 Modulo procesamiento

- ✚ **Modulo de driver de potencia (véase figura 3.47):** Es el integrado L293D compuesto por dos puentes en H, capaz de controlar dos motores en un circuito integrado, alimentados a una tensión de 12V y controlado por medio dos señales: la señal de habilitación Los circuitos

de manejo de potencia 1 y 2 se habilitan con la señal 1,2 EN y los circuitos 3 y 4 con la señal 3,4 EN y la señal de la regulación de velocidad de los motores por medio de PWM.

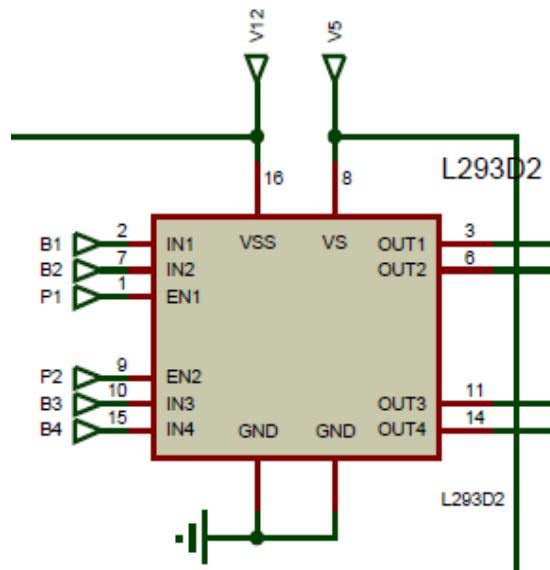


Figura 3.47 Modulo driver potencia

✚ **Modulo de testigos (véase figura 3.48):** Permiten mediante Leds visualizar el estado en el cual se encuentra la tarjeta.

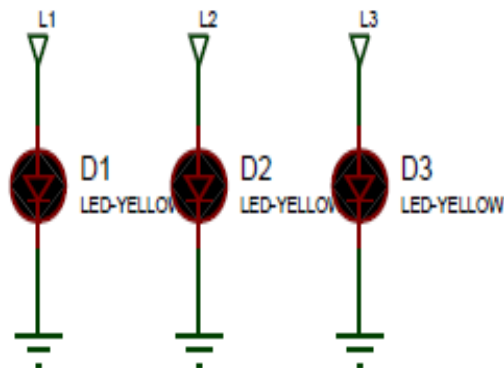


Figura 3.48 Modulo testigos

✚ **Modulo ON/OFF:** Interrumpe el curso de la corriente eléctrica.
 ✚ **Modulo XBEE (véase figura 3.49):** Modulo de comunicación por radio frecuencia para comunicar la mano robótica con el software de mando.

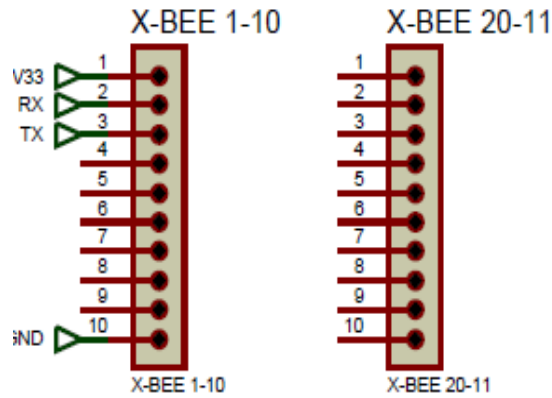


Figura 3.49 Módulos XBEE

- ✚ **Conector bus de datos (véase figura 3.50):** Lleva las señales de activación de cada motor.

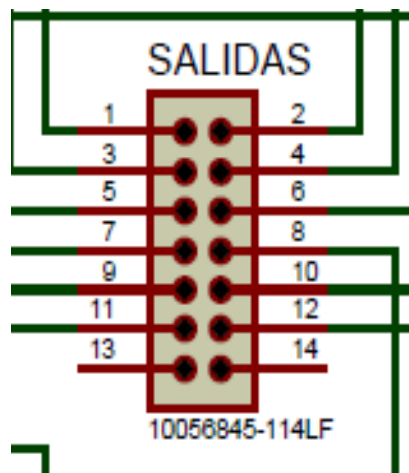


Figura 3.50 Conector

2.3.2. Diseño PCB

Después de verificar el correcto funcionamiento de la tarjeta mediante la simulación de los circuitos en Proteus, se realizaron los diseños de la placa de la tarjeta Ares es una herramienta del entorno de simulación de Proteus la cual permite elaborar placas de circuito impreso con posicionado automático de elementos y generación automática de pistas, que permite el uso de hasta 16 capas. Debido a la optimización de espacio de la tarjeta y de los componentes, se realizó el diseño de la PCB de la tarjeta a doble cara.

Para elaborar el PCB de la tarjeta se realiza mediante la conversión del esquemático de la simulación realizada en Proteus a la herramienta de Ares en Isis. En esta herramienta se realiza la disposición de los componentes electrónicos sobre la placa. Los componentes fueron organizados como se muestra en la figura 3.52 y 3.51 de la tarjeta en 3D.

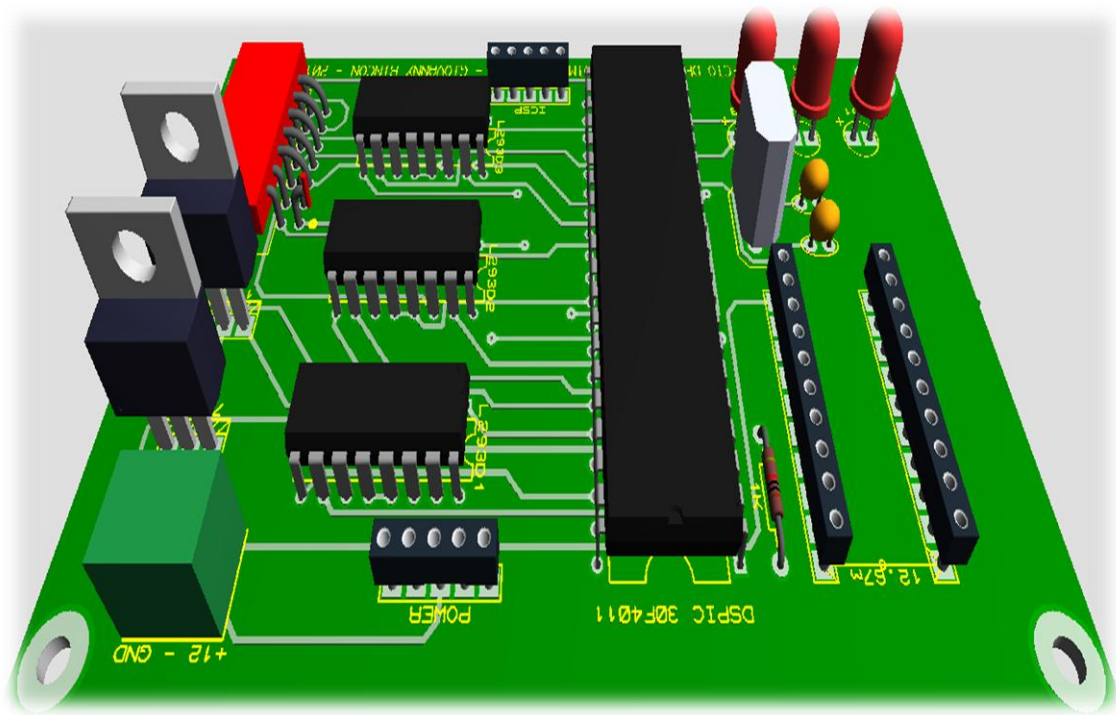


Figura 3.51 PCB vista superior

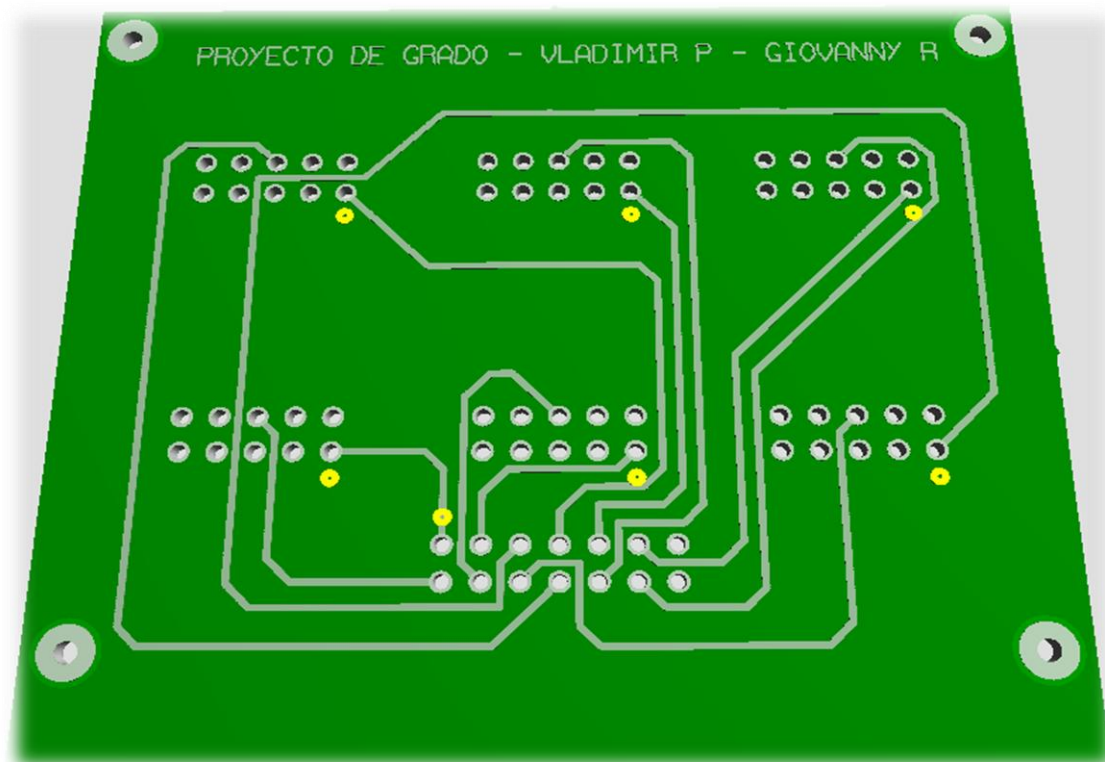


Figura 3.52 PCB vista inferior

El ancho de las pistas de la tarjeta fueron determinadas mediante la calculadora de trazado de tamaño [35], la cual se rige mediante la normatividad IPC-D-275 para placas de circuitos impresos. Los datos empleados son:

$$I_{max} = 0.8A$$

$$\Delta t_{max} = 10^{\circ}C$$

$$\text{Grosor del conductor} = 35\mu m$$

Donde I_{max} es la corriente máxima que circula sobre las pistas y se considera la corriente que pasa a través del motor (véase tabla 9), el Δt_{max} es el aumento de temperatura de las pistas del circuito respecto a la temperatura ambiente cuando circula la corriente máxima y el grosor del conductor es el espesor del cobre de la placa.

Los datos arrojados por la calculadora son: el ancho de la pista requerida es de 0.574mm. Esto significa que a una corriente de 800mA circulando a través de la pista de ancho de 0.574mm el aumento de la temperatura es de 10°C, si la pista es de mayor ancho producirá menor elevación de temperatura.

2.4. Diseño de software de mando



Figura 3.53 Módulo interfaz grafica

Los comandos de control de la mano robótica se realizaron por medio de una interfaz gráfica implementada en C# (Figura 3.53) que le permite al usuario controlar los movimientos de la mano robot antropomórfica desde un computador. La comunicación entre la tarjeta de la mano y el computador, se realiza por medio de los módulos XBEE que son módulos de radio frecuencia que trabajan en la banda de 2,4 GHz con protocolo de comunicación IEEE 802.15.4. Su alcance en interiores es de 30 m y en exteriores de 100 m aproximadamente y sus grandes ventajas son el bajo costo y la muy baja

potencia. La topología de este tipo de comunicación en serial, el protocolo de este tipo de comunicación es bit a bit.

La tarjeta “XBEE Explorer” (Figura 3.54) es una mini placa que basa su funcionamiento en la conversión USB a Serial. Esta tarjeta permite conectar el XBEE al puerto USB, alimentándose por medio de este. Para que el computador pueda transmitir información al microcontrolador del robot, es necesario conectar un XBEE a la tarjeta “XBEE Explorer” y a su vez, conectar la tarjeta con el computador por medio de un conector mini USB.

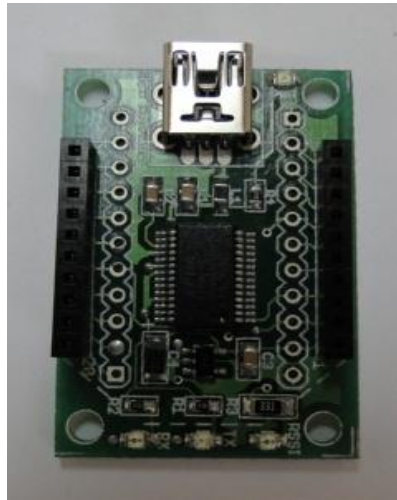


Figura 3.54 Tarjeta XBEE Explorer

La interfaz gráfica de usuario, conocida también como GUI (graphical user interface) es un programa informático que actúa de interfaz de usuario, utilizando un conjunto de imágenes y objetos gráficos para representar la información y acciones disponibles en la interfaz. Su principal uso, consiste en proporcionar un entorno visual sencillo para permitir la comunicación con el sistema operativo de una máquina o computador. Para la implementación de la interfaz grafica de la mano robot antropomórfico se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- Control de mando manual para realizar los movimientos de abducción y aducción de cada dedo.
- Movimiento sincronizado de apertura y cierre de la mano.
- Movimiento de agarre cilíndrico, esférico y planar.
- Movimiento de rotación del dedo pulgar.

3. Implementación de acople para mano antropomórfica

Para la fabricación de los sistemas mencionados en el capítulo 3, se recurrió a técnicas como la serigrafía para la fabricación de circuitos electrónicos, corte de pieza a laser mediante la tecnología Cam y abocardados en el centro de

mecanizado de la Universidad Militar Nueva Granada en la fresa. Los procedimientos de fabricación de cada sistema que compone la mano robot antropomórfica se explica en el presente capítulo.

3.1. Implementación de acople Mecánico

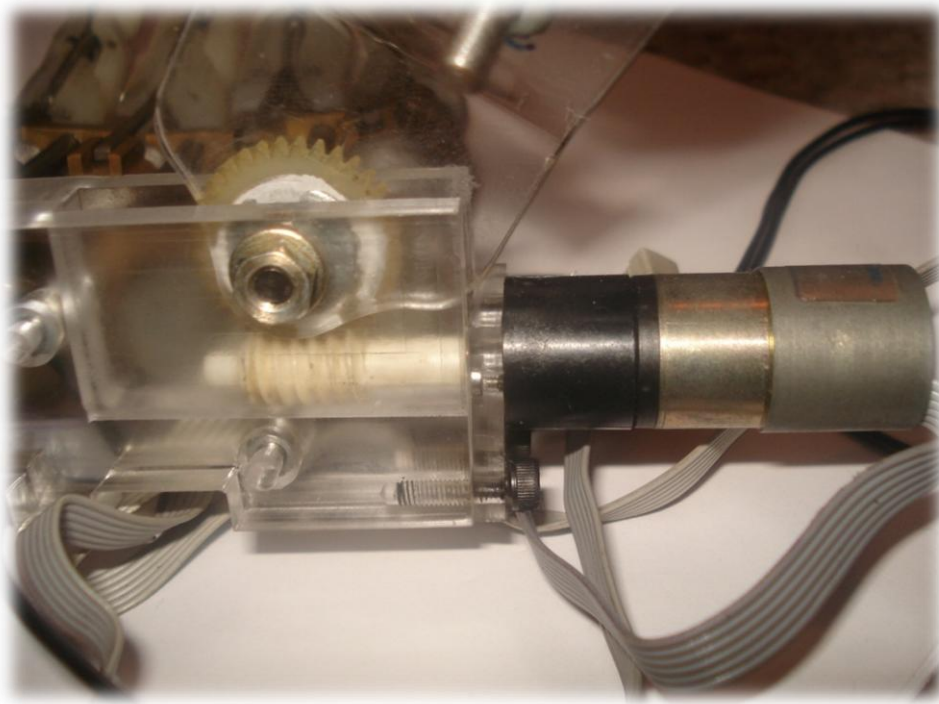


Figura 4.55 Acople mecánico

En la figura 4.55 se observa el mecanismo de acople para la reconfiguración del dedo pulgar de la mano robot antropomórfica, el cual fue previamente diseñado y validado mediante herramientas CAD, este mecanismo se compone por partes acrílicas diseñadas y fabricadas para soportar alto impacto, sujetadas por tornillos Allen y con un sistema sinfín de 1 entrada y una corona constituida por un piñón recto de 35 dientes y modulo 1.

Para la construcción de estas piezas fue necesario utilizar sistema CAM de corte laser asistido por computador, el cual se realizó en base a los planos generados con el diseño inicial, esta herramienta permitió un acercamiento a las medidas finales requeridas, para el ajuste de las medidas finales fue necesario utilizar la fresadora con un escariador de 10mm para generar los abocardados de los tornillos Allen y darle la medida final y el acabado a la cavidad contenedora del sistema sinfín – corona. Los agujeros roscados en las bases acrílicas fueron igualmente generados en el banco de trabajo de la Universidad Militar Nueva Granada con machos para roscado de 5mm.

Al construir y ensamblar los componentes mecánicos al diseño de la mano robot antropomórfica se procede a realizar las implementaciones electrónicas y de mando.

3.2. Implementación Circuitos eléctricos

Los impresos de la tarjeta fueron elaborados por medio de la técnica de la serigrafía, la cual es permite imprimir imágenes sobre cualquier tipo de material. El material seleccionado para la elaboración de la tarjeta es la fibra de vidrio, por su calidad y economía. La tarjeta principal contiene conexiones que se realizan entre caras de la tarjeta o también conocido como through holes.

Las tarjetas de circuito impreso elaborado son:

- Tarjeta Principal de la mano robótica(véase figuras 4.56, 4.57)
- Tarjeta de conexión de los motores(véase figuras 4.58, 4.59)

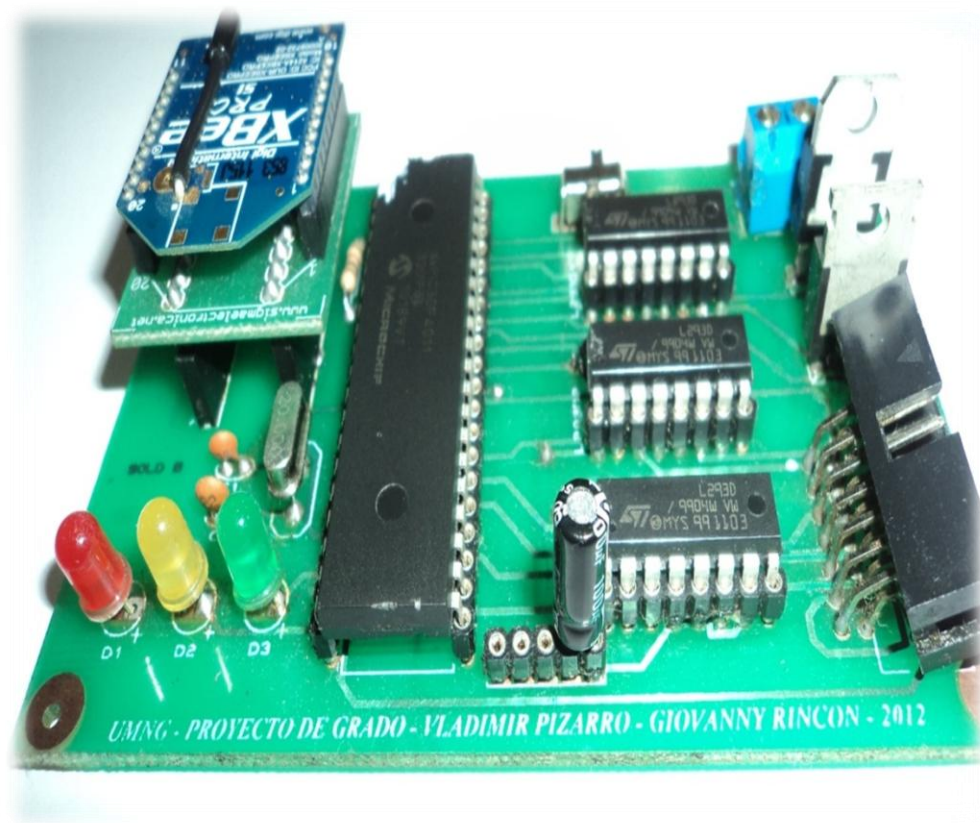


Figura 4.56 Tarjeta de control vista superior

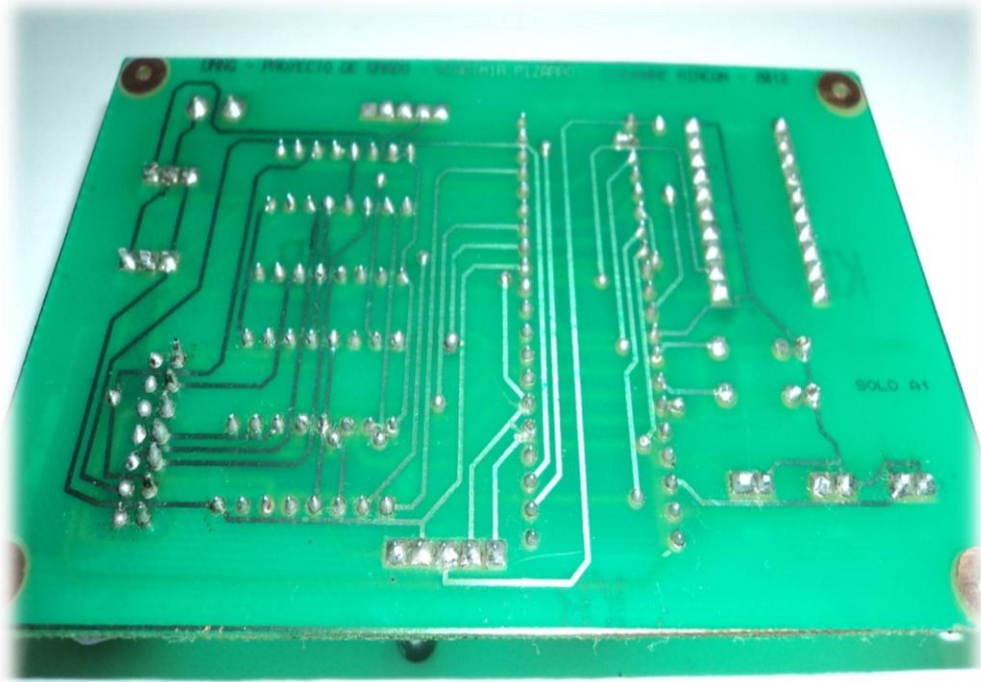


Figura 4.57 Tarjeta de control vista inferior

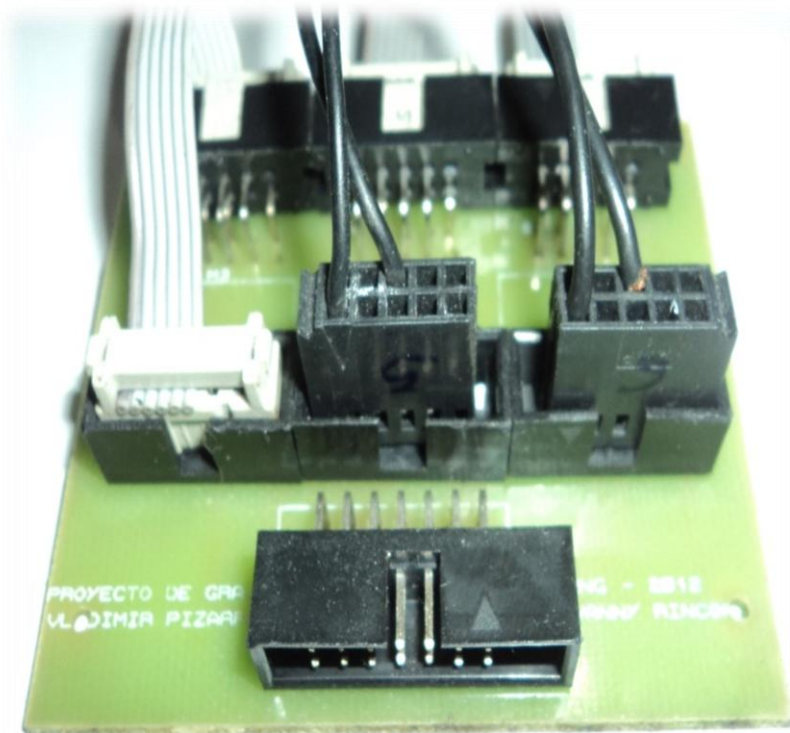


Figura 4.58 Tarjeta de extensión vista superior

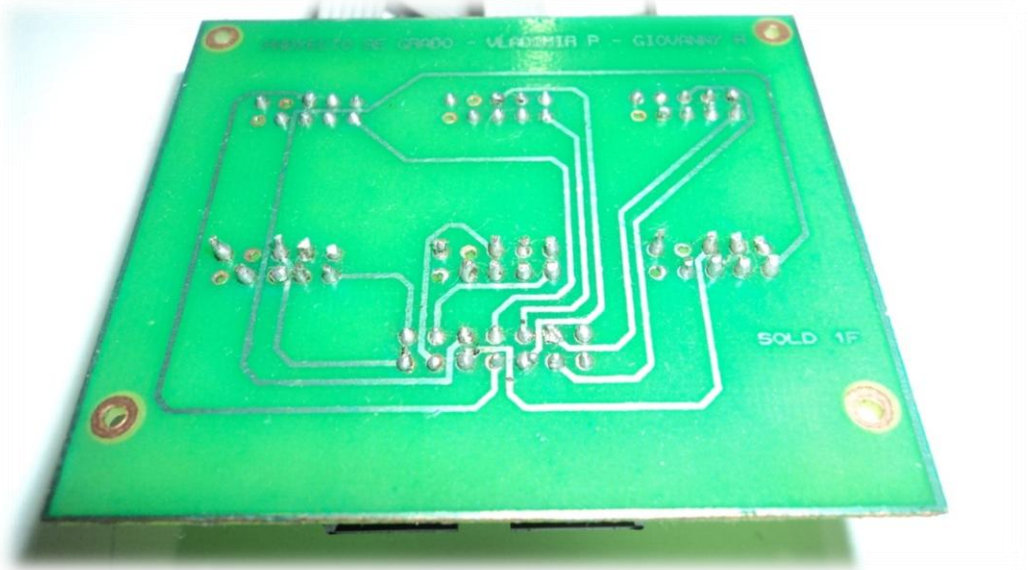


Figura 4.59 Tarjeta de extensión vista inferior

3.3. Implementación software de mando

El DSPic 30f4011 de la familia Microchip se programo utilizando el compilador CCS. Este compilador permite la programación en lenguaje C utilizando los recursos de los DSPic a través de un conjunto de funciones implementadas. El DSPic se configuro de la siguiente manera:

- Frecuencia de oscilación de 4 MHz
- Comunicación serial a una frecuencia de 19200 Baudios.
- Configuración de los módulos de PWM.
- Configuración de la puerta B como salidas digitales.

Para realizar los movimientos independientes de los dedos de la mano robótica y los movimientos sincronizados de agarre, se implemento un programa que permite el movimiento independiente de cada motor para mover las articulaciones, generar señales de PWM para poder variar la velocidad de los motores, y efectuar la comunicación serial con el computador. El código del programa se encuentra en el **anexo C**.

La recepción de los datos se realizó a través de una interfaz grafica implementada en C Sharp que permite seleccionar el puerto, la frecuencia en baudios y visualizar los datos recibidos para el movimiento de la mano En la figura 4.60 se muestra la interfaz de mando de la mano robótica.



Figura 4.60 Interfaz usuario

4. Pruebas y análisis de resultados

El diseño de la mano robot antropomórfica con seis grados de libertad y con su configuración dispuesta muy similar a la mano humana permitió validar las siguientes posturas de agarre para objetos de geometría regular:

- ✚ **Agarre cilíndrico (Figura 5.61):** Se consiguió rotando el pulgar totalmente en la posición de aducción o acercamiento palmar. Se utiliza para sujetar con un agarre totalmente envolvente del objeto.

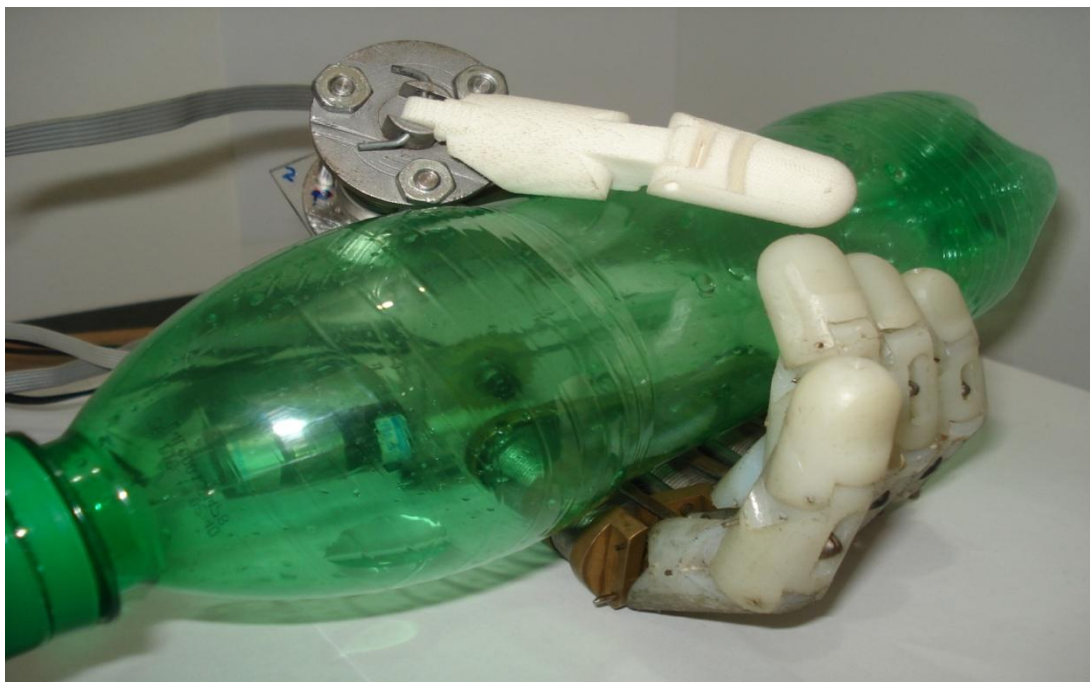


Figura 5.61 Agarre cilíndrico

- ✚ **Agarre esférico (figura 5.62):** Se consigue rotando el pulgar en oposición directa al dedo índice en el caso de objetos esféricos más pequeños y en diferentes grados de abducción palmar para objetos esféricos más grandes. Se utiliza para sujetar una pelota, una manzana u otros objetos redondos.

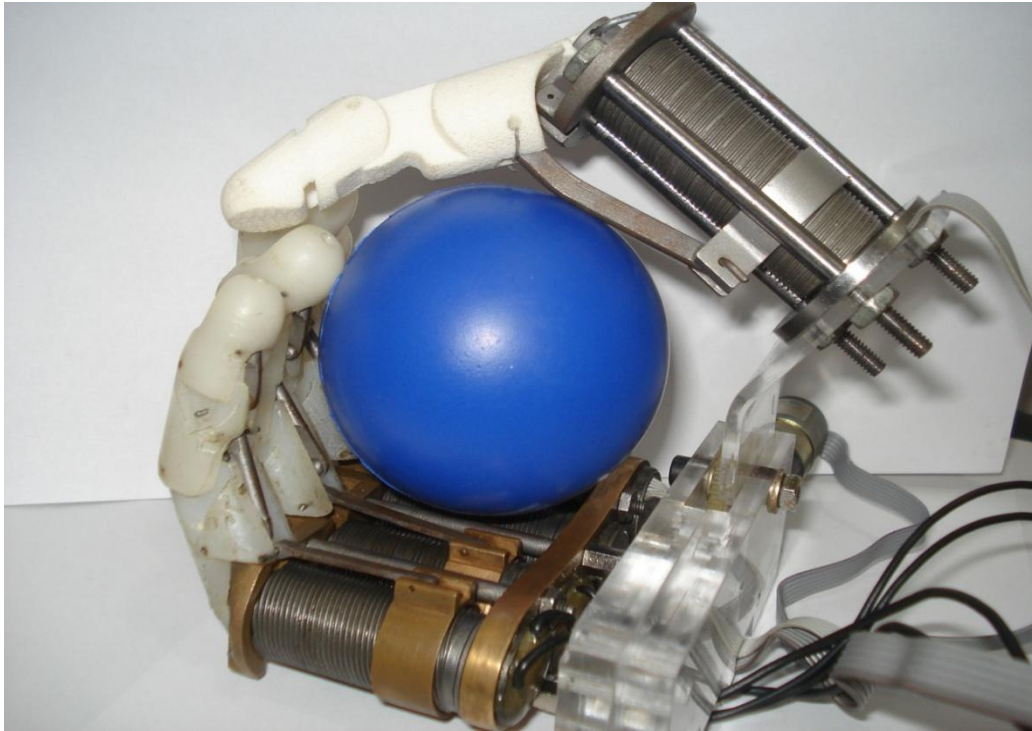


Figura 5.62 Agarre objetos esféricos

Agarre planar (figura 5.63): en el cual el pulgar cierra sobre el índice. Esta postura es utilizada para mantener objetos como una tarjeta.

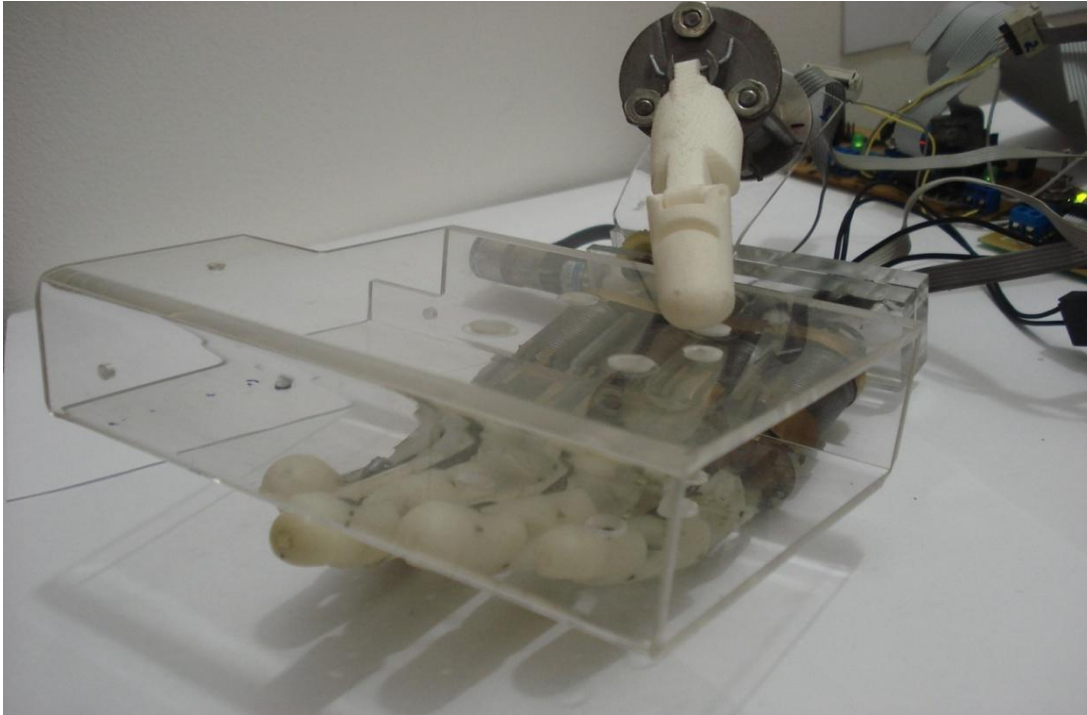


Figura 5.63 Agarre objetos planar

Las pruebas de acople de la mano robótica se realizaron en base a los agarres estipulados en el proyecto, se realizó la validación de los movimientos de la mano robótica utilizando la interfaz hardware/software la cual se describe en el capítulo 3. El proyecto tiene prioridad realizar el diseño mecánico funcional de la base de la mano para realizar el movimiento del sexto grado de libertad. Podemos observar que el prototipo de mano realiza bien los agarres que pueden ser comparados con los que realizados en el diseño del CAD (Capítulo 3.2.1).

5. Conclusiones y trabajo futuro

5.1 Conclusiones

El desarrollo de manos Robóticas Antropomórficas, es parte de investigaciones que se están realizando con la finalidad de desarrollar robots capaces de imitar los movimientos y habilidades del ser humano.

Actualmente se están realizando varios estudios con diferentes tipos de agarre, caracterizando los movimientos del dedo y capturando cada una de las posiciones angulares. En el anterior trabajo de grado se enfocó a realizar tres tipos de agarre: esférico, cilíndrico y planar implementando una tarjeta de control la cual proporcionaba los movimientos a la mano. Se logró que la mano antropomórfica robótica tuviera grado de libertad en su base para lograr mayor destreza en la manipulación de objetos de geometrías complejas, y a la vez

generar reconfigurar la mano. Se implementó un software de comandos sencillo para funcionar como maestro-esclavo para el agarre de los tres tipos de objetos. En el desarrollo del trabajo de grado se presentaron dificultades, como por ejemplo el corte de la pieza de la base de la mano en acrílico, debido a sus dimensiones fue necesario realizarlas con maquina de laser la cual no fue fácil conseguir el alquiler para realizar el corte.

La implementación de una mano completa puede ser utilizada en aplicaciones de Inteligencia artificial con robots humanoides, obviamente incorporando algunas mejoras para dotar de sensores para la adquisición de diferentes sensaciones como por ejemplo la fuerza, para control dinámico del sistema en lazo cerrado.

5.2 Trabajo futuro

En trabajos futuros se espera que se puedan desarrollar los aspectos:

- Realizar un control cinemático de la mano para verificar velocidades y trayectorias a seguir por la mano robótica.
- Incorporar sensores de tacto para obtener la información necesaria de fuerza, para que la mano robot pueda sostener y manipular diferentes objetos sin romperlos o deformarlos.
- Incorporar finales de carrera para limitar el movimiento de abducción y aducción para evitar el movimiento mecánico.
- Control en el agarre de objetos con realimentación visual con un sistema de visión artificial que sea capaz de distinguir las dimensiones de un objeto en 3D.
- Implementar una interfaz grafica para el control en tiempo real con la mano robótica.

Bibliografía

- [1] A. N. Reddy, N. Maheshwari, D. K. Sahu, y G. K. Ananthasuresh, «Miniature Compliant Grippers With Vision-Based Force Sensing», *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 26, n.º. 5, pp. 867–877, oct. 2010.
- [2] K. Salleh, H. Seki, Y. Kamiya, y M. Hikizu, «Inchworm robot grippers in clothes manipulation #x2014; optimizing the tracing algorithm», in *Intelligent and Advanced Systems, 2007. ICIAS 2007. International Conference on, 2007*, pp. 1051 –1055.
- [3] K. Salleh, H. Seki, Y. Kamiya, y M. Hikizu, «Tracing Manipulation of Deformable Objects using Robot Grippers with Roller Fingertips», in *SICE-ICASE, 2006. International Joint Conference, 2006*, pp. 5882 –5887.
- [4] Paola A Ruiz Rojas, «macatronica revolucion para siglo XXI». [Online]. Available: http://www.metalactual.com/revista/8/tecnologia_mecatronica.pdf. [Accessed: 17-abr-2012].
- [5] O. A. V. Albán, *Diseño y control de robots industriales: teoría y práctica*. elaleph.com, 2010.
- [6] N. Kyura, «The development of a controller for mechatronics equipment», *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 43, n.º. 1, pp. 30 –37, feb. 1996.
- [7] J. C. Rojas, *MODELAMIENTO Y DISEÑO DE ROBOTS INDUSTRIALES*, 1st. ed. Unknown, 2006.
- [8] R. J. SCHWARZ, «The Anatomy and Mechanics of the Human Hand», *Artificial Limbs*, p. 22, 1955.
- [9] J. J. Craig, *Robótica*. Pearson Educación, 2006.
- [10] «Control y Robótica». [Online]. Available: http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_robot_3/robot_indice.html. [Accessed: 30-jul-2012].
- [11] «Libro: ARTIFICIAL INTELLIGENCE: A MODERN APPROACH (3RD ED.). 9780136042594 - INTELIGENCIA ARTIFICIAL/ROBOTICA». [Online]. Available: <http://www.librosaulamagna.com/libro/ARTIFICIAL-INTELLIGENCE--A-MODERN-APPROACH--3RD-ED.--/762314/8854>. [Accessed: 19-abr-2012].
- [12] S. K. Saha, *Introducción a la robótica*. Mc Graw-Hill, 2010.
- [13] A. O. Baturone, *Robótica: Manipuladores y robots móviles*. Marcombo, 2006.
- [14] A. Chávez-Arreola, G. Urriolagoitia-Sosa, G. Urriolagoitia-Calderón, L.-H. Hernández-Gómez, B. Romero-Ángeles, y J.-A. Beltrán-Fernández, «Diseño y desarrollo

de un manipulador robótico para el entrenamiento de personal en cirugía incisiva», *Científica*, n.º. 3, pp. 145–155, 2009.

[15] «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DEDO PARA GRIPPERS ROBOTICOS.Oscar F.Pedro L.Simanca.Paola N». .

[16] «protesis somatica». [Online]. Available: <http://www.scribd.com/doc/50602768/protesis-somatica>. [Accessed: 03-jul-2012].

[17] «Prensiones». [Online]. Available: <http://www.scribd.com/doc/43029691/Prensiones>. [Accessed: 19-jul-2012].

[18] [Online]. Available: <http://www.revista.unam.mx/vol.6/num1/art01/art01-1c.htm>. [Accessed: 30-jul-2012].

[19] «Carlos Hernandez Santos - Carlos Francisco Montoya Mejia.Diseño mecanico de la mano robotica antropomorfica». .

[20] D. M. Guerrero Pérez y A. Durán Gutiérrez, «Gripper multifuncional para extracción de granadas», 2010. [Online]. Available: <http://bibliodigital.umng.edu.co:8080/UMNG/handle/10654/466>. [Accessed: 25-jul-2012].

[21] K. Kaneko, F. Kanehiro, S. Kajita, K. Yokoyama, K. Akachi, T. Kawasaki, S. Ota, y T. Isozumi, «Design of prototype humanoid robotics platform for HRP», in *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2002*, 2002, vol. 3, pp. 2431 – 2436 vol.3.

[22] R. F. Santoyo y S. de L. Galindo, *Corpus anatomía humana general*. Trillas, 1997.

[23] «Alfonso Puchades Orts.La mano,Admirable don del Hombre.2003». .

[24] S. Jacobsen, I. McCammon, K. Biggers, y R. Phillips, «Tactile sensing system design issues in machine manipulation», in *1987 IEEE International Conference on Robotics and Automation. Proceedings*, 1987, vol. 4, pp. 2087 – 2096.

[25] M. Nordin y V. H. Frankel, *Basic Biomechanics of the Musculoskeletal System*. Lippincott Williams & Wilkins, 2001.

[26] K. Ohnishi, T. Tajima, y Y. Saito, «Anthropomorphic hand control for robotic hand-arm system», in *2000 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 2000, vol. 2, pp. 1255 –1259 vol.2.

- [27] S. Schulz, C. Pylatiuk, y G. Bretthauer, «A new ultralight anthropomorphic hand», in *IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2001. Proceedings 2001 ICRA*, 2001, vol. 3, pp. 2437 – 2441 vol.3.
- [28] C. S. Lovchik y M. A. Diftler, «The Robonaut hand: a dexterous robot hand for space», in *1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1999. Proceedings*, 1999, vol. 2, pp. 907 –912 vol.2.
- [29] J. Butterfass, M. Grebenstein, H. Liu, y G. Hirzinger, «DLR-Hand II: next generation of a dextrous robot hand», in *IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2001. Proceedings 2001 ICRA*, 2001, vol. 1, pp. 109 – 114 vol.1.
- [30] P. J. Kyberd, O. E. Holland, P. H. Chappell, S. Smith, R. Tregidgo, P. J. Bagwell, y M. Snaith, «MARCUS: a two degree of freedom hand prosthesis with hierarchical grip control», *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, vol. 3, n^o. 1, pp. 70 –76, mar. 1995.
- [31] «Gear manual pag.27 Worns & Worm gears». .
- [32] Ing.Alfonso Cubillos, «INTRODUCCION AL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS.pag 8», *Scribd*. [Online]. Available: <http://www.scribd.com/doc/50826269/resumen>. [Accessed: 16-sep-2012].
- [33] «21-22 Felix Vicente Jimenez Rios - Joaquin Rivero Juarez.pdf (objeto application/pdf)». .
- [34] «Datashet DSPic30F4011». .
- [35] Brad Suppanz, «PCB Trace Width Calculator». [Online]. Available: <http://www.geocities.com/suppanz/TraceWidth.htm>. [Accessed: 06-sep-2012].

Anexo

Anexo A

Características de los Actuadores y Reductores del Brazo Robótico Antropomórfico



Brushless DC-Servomotors

19 mNm

4 Pole Technology

For combination with
Gearheads:
225, 227, 26A
Encoders:
2232...BX4 + Encoder
Drive Electronics:
Speed Controller

Series 2232 ... BX4

	2232 S	012 BX4	024 BX4	
1 Nominal voltage	U_N	12	24	Volt
2 Terminal resistance, phase-phase	R	3,5	12,4	Ω
3 Output power ¹⁾	$P_2 \text{ max.}$	7,6	7,7	W
4 Efficiency	$\eta \text{ max.}$	66,9	67,6	%
5 No-load speed	n_0	6 600	7 000	rpm
6 No-load current (with shaft ø 3,0 mm)	I_0	0,112	0,061	A
7 Stall torque	M_H	55,7	59,9	mNm
8 Friction torque, static	C_0	0,85	0,85	mNm
9 Friction torque, dynamic	C_v	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	mNm/rpm
10 Speed constant	k_n	579	304	rpm/V
11 Back-EMF constant	k_E	1,728	3,288	mV/rpm
12 Torque constant	k_M	16,50	31,40	mNm/A
13 Current constant	k_i	0,061	0,032	A/mNm
14 Slope of n-M curve	$\Delta n / \Delta M$	123	120	rpm/mNm
15 Terminal inductance, phase-phase	L	120	440	μH
16 Mechanical time constant	τ_m	6,7	6,5	ms
17 Rotor inertia	J	5,2	5,2	gcm^2
18 Angular acceleration	$\alpha \text{ max.}$	107	115	$\cdot 10^3 \text{rad/s}^2$
19 Thermal resistance	$R_{th 1} / R_{th 2}$	2 / 17		K/W
20 Thermal time constant	τ_{w1} / τ_{w2}	4,1 / 370		s
21 Operating temperature range		-40 ... +100		°C
22 Shaft bearings		ball bearings, preloaded		
23 Shaft load max.:				
- radial at 3 000 rpm (4 mm from mounting flange)		20		N
- axial at 3 000 rpm		2		N
- axial at standstill		20		N
24 Shaft play:				
- radial	\leq	0,015		mm
- axial	$=$	0		mm
25 Housing material		stainless steel		
26 Weight		70		g
27 Direction of rotation		electronically reversible		
28 Number of pole pairs		2		
Recommended values - mathematically independent of each other				
29 Speed up to	$n \text{ max.}$	22 000	22 000	rpm
30 Torque up to ^{1) 2)}	$M \text{ max.}$	12 / 19	12 / 19	mNm
31 Current up to ^{1) 2)}	$I \text{ max.}$	0,90 / 1,40	0,48 / 0,74	A

¹⁾ at 5 000 rpm

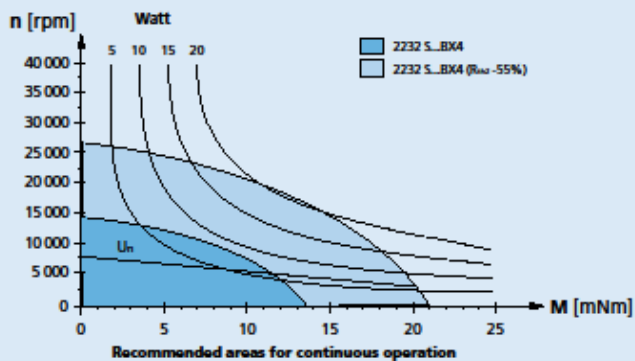
²⁾ thermal resistance $R_{th 2}$ not reduced / thermal resistance $R_{th 2}$ by 55% reduced

Note:

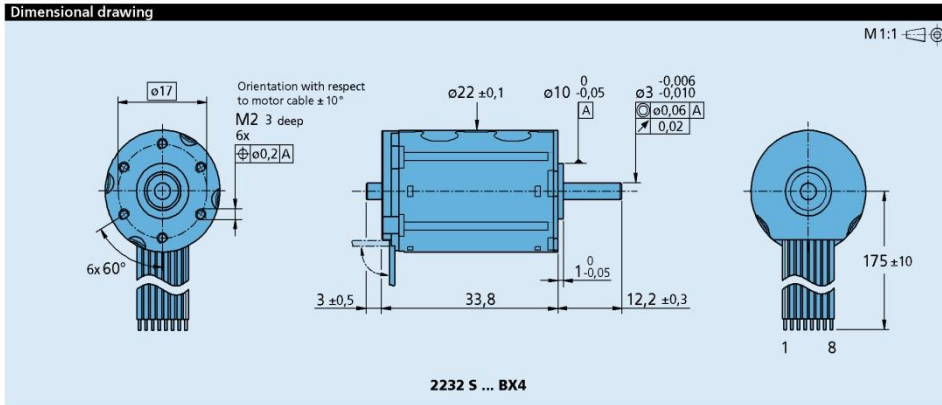
The diagram indicates the recommended speed in relation to the available torque at the output shaft for a given ambient temperature of 22°C.

The diagram shows the motor in a completely insulated as well as thermally coupled condition ($R_{th 2}$ 55% reduced).

The nominal voltage (U_N) curve shows the operating point at nominal voltage in the insulated and thermally coupled condition. Any points of operation above the curve at nominal voltage will require a higher operating voltage. Any points below the nominal voltage curve will require less voltage.



For notes on technical data and lifetime performance refer to "Technical Information".
Edition 2011 - 2012



Options

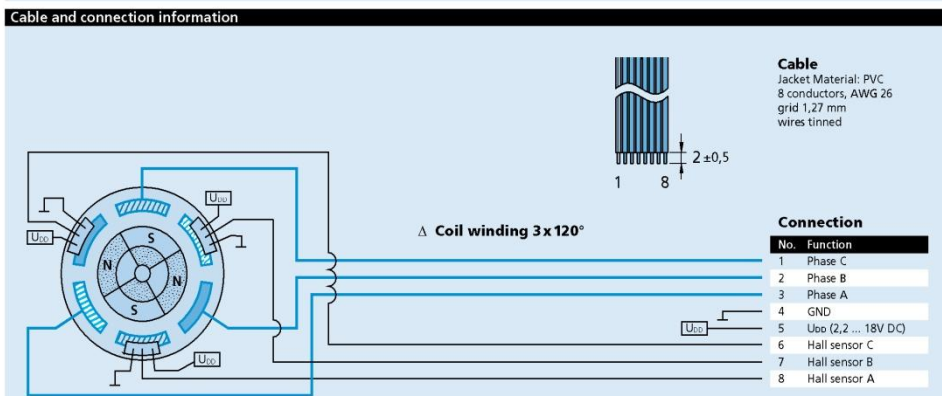
- Connector variant (Option no. 3830)

Motor:
 AWG 26 / PVC ribbon cable
 with connector Micro-Fit



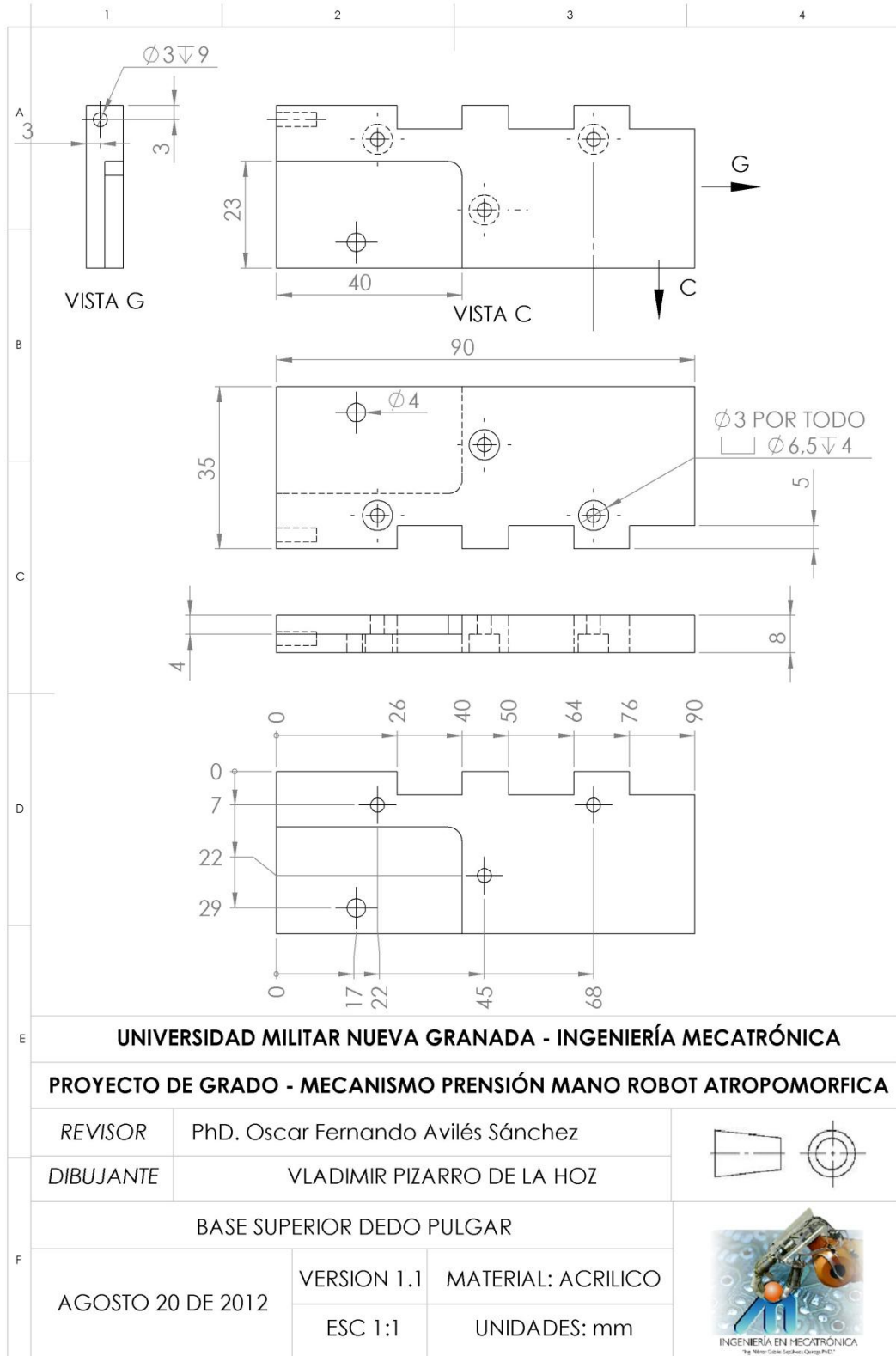
Full product description

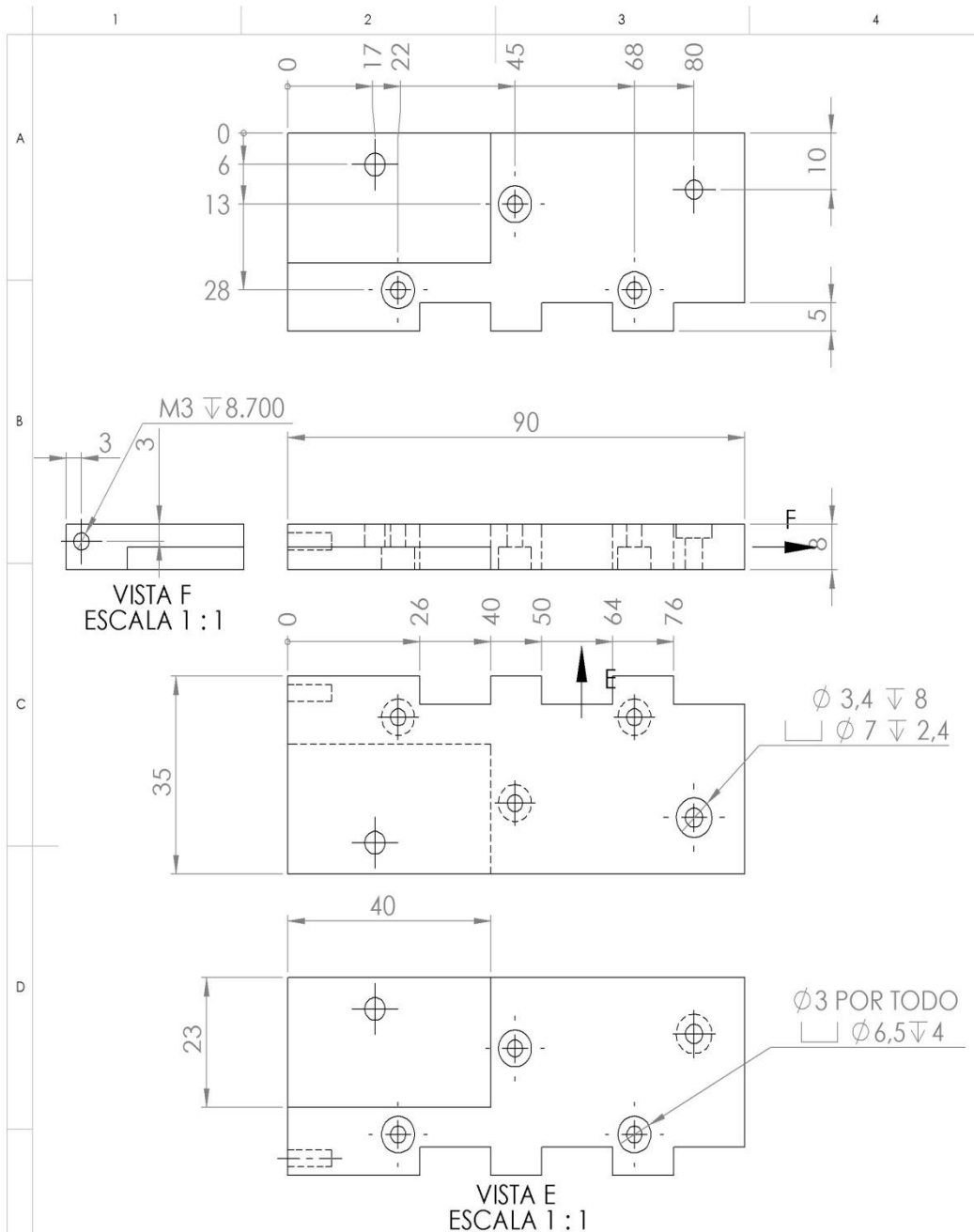
- Examples:
 2232S024BX4



Anexo B

Planos pieza soporte mano robótica



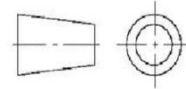


UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA - INGENIERÍA MECATRÓNICA

PROYECTO DE GRADO - MECANISMO PRENSIÓN MANO ROBOT ATROPOMORFICA

REVISOR PhD. Oscar Fernando Avilés Sánchez

DIBUJANTE VLADIMIR PIZARRO DE LA HOZ



BASE INFERIOR DEDO PULGAR

AGOSTO 20 DE 2012

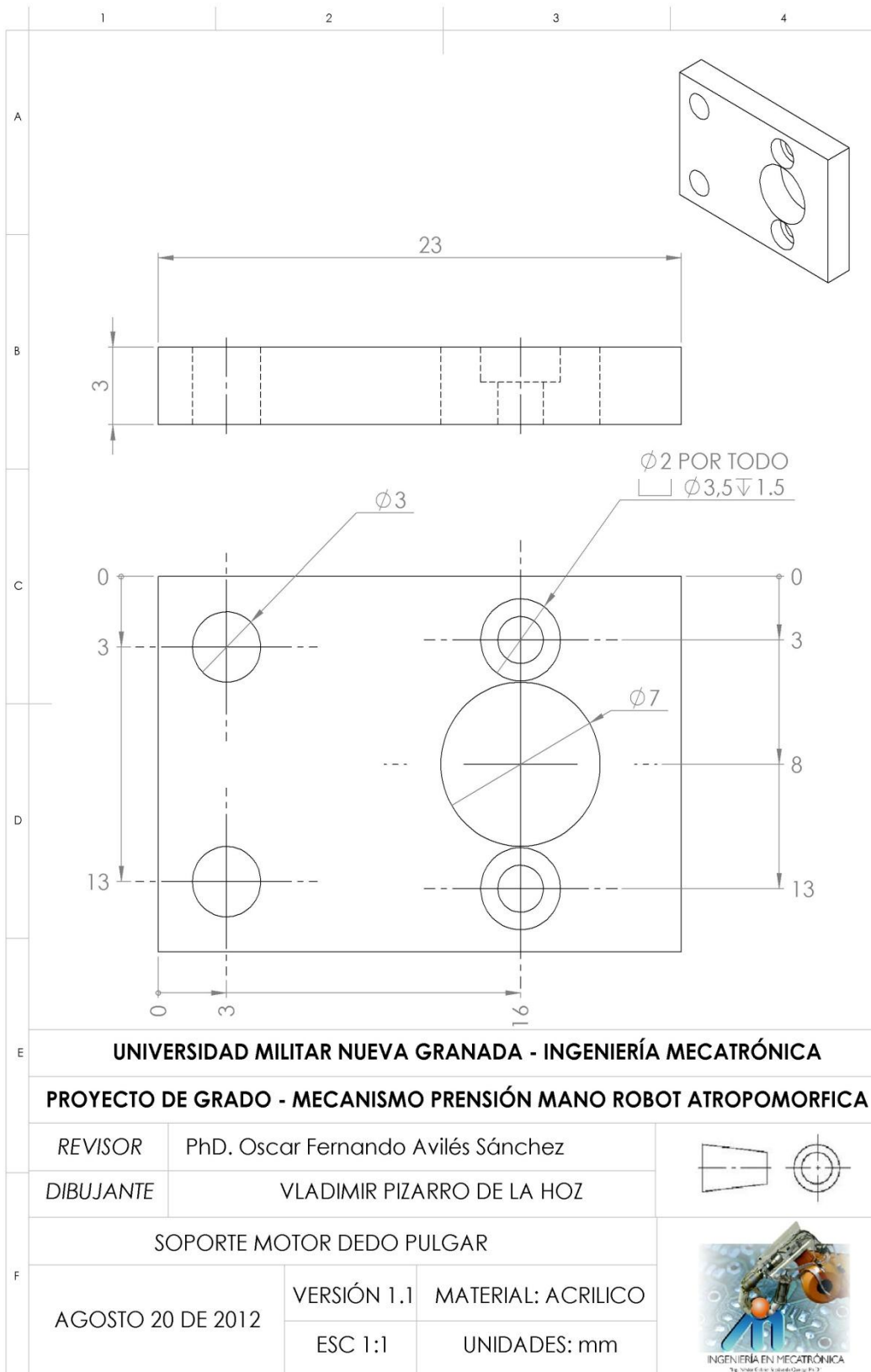
VERSION 1.1

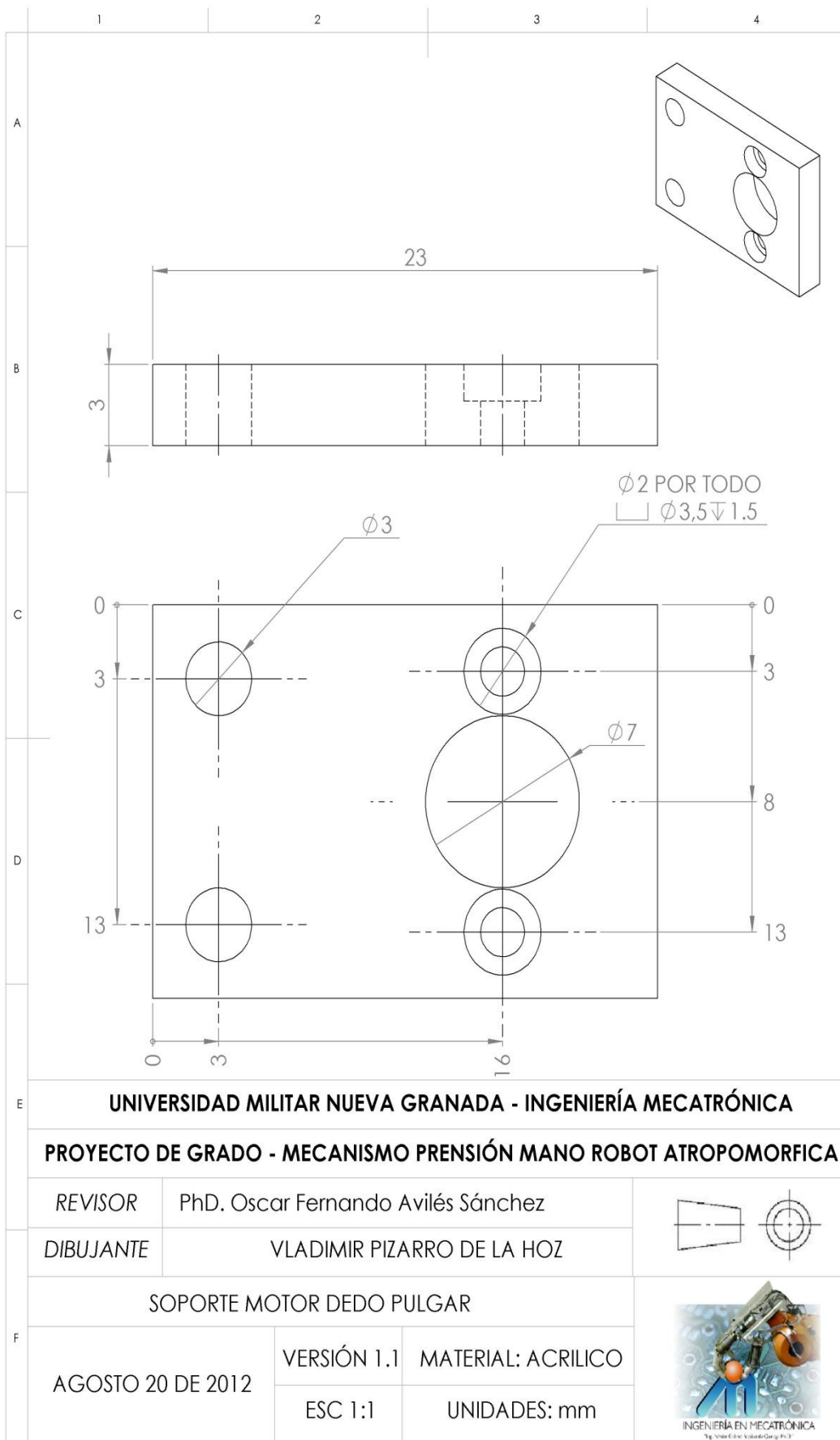
MATERIAL: ACRILICO

ESC 1:1

UNIDADES: mm







Anexo C

Código en C de la programación del microcontrolador DSPIC 30F4011

```
#include "p30f4011.h"

#define FCY 20000000UL

#include<timer.h>

#include <libpic30.h>

_FWDT(WDT_OFF);
_FOSC(CSW_FSCM_OFF & HS);
_FGS(CODE_PROT_OFF);

int i=0;

void __attribute__((__interrupt__,no_auto_psv)) _U1RXInterrupt(void);

void test(void){
    PORTE=256;
    __delay_ms(500);
    PORTE=0;
    PORTD=8;
    __delay_ms(500);
    PORTD=2;
    __delay_ms(500);
    PORTD=0;
}

void offall(void){
    PDC1=0;
    PDC2=0;
    PDC3=0;
```

```

PORTB=0;
PORTD=0;
PORTE=0;
PORTC=0;
}
int rcv=0;

int main(){
TRISD =0x0000;
TRISB =0x0000;
TRISE =0x0000;
TRISC =0x0000;
test();
//test();
PORTB=0;
__delay_ms(200);
cfg();
IFS0bits.U1RXIF=0;
while(1){
}
return 0;
}

void __attribute__((__interrupt__,__no_auto_psv)) _U1RXInterrupt(void){
rcv=U1RXREG;    //Recibe el dato del PC

PORTB=0;

//////////Control Manual apertura y cierre

if(rcv==1){

```



```

PDC3=200;    //Velocidad de Rotación
PORTB=1;     //Giro a la Derecha motor 1 (Dedo Meñique)
PORTE=256;   //Enciende LED Rojo Motor 1
__delay_ms(500);
PDC3=0; PORTB=0; PORTE=0;
}
if(rcv==10){
PDC3=200;    //Velocidad de Rotación
PORTB=2;     //Giro a la Izquierda motor 1 (Dedo Meñique)
PORTE=256;   //Enciende LED Rojo Motor 1
__delay_ms(500);
PORTE=0; PDC3=0; PORTB=0;
}
if(rcv==2){
PDC2=800;    //Velocidad de Rotación
PORTB=4;     //Giro a la Derecha motor 2 (Dedo Anular)
PORTD=8;     //Enciende LED Amarillo Motor 2
__delay_ms(500);
__delay_ms(500);
PDC2=0; PORTB=0; PORTD=0;
}
if(rcv==20){
PDC2=1000;   //Velocidad de Rotación
PORTB=8;     //Giro a la Derecha motor 2 (Dedo Mayor)
PORTD=8;     //Enciende LED Amarillo Motor 2
__delay_ms(500);
__delay_ms(500);

```

```

PDC2=0; PORTD=0; PORTB=0;

}

if(rcv==3){
PDC1=600;    //Velocidad de Rotación
PORTB=16;    //Giro a la Derecha motor 3 (Dedo Anular)
PORTD=2;    //Enciende LED Verde Motor 2
__delay_ms(500);
PDC1=0; PORTB=0; PORTD=0;
}

if(rcv==30){
PDC1=600;    //Velocidad de Rotación
PORTB=32;    //Giro a la Derecha motor 3 (Dedo Mayor)
PORTD=2;    //Enciende LED Verde Motor 2
__delay_ms(500);
PDC1=0; PORTB=0; PORTD=0;
}

//

if(rcv==101){
PDC3=300;    //Velocidad de Rotación
PORTB=64;    //Giro a la Derecha motor 1 (Dedo Meñique)
PORTE=256;    //Enciende LED Rojo Motor 1
__delay_ms(500);
__delay_ms(500);
PDC3=0;
PORTB=0;
PORTE=0;
}

```

```

if(rcv==110){
PDC3=300;    //Velocidad de Rotación
PORTB=128;   //Giro a la Izquierda motor 1 (Dedo Meñique)
PORTE=256;   //Enciende LED Rojo Motor 1
__delay_ms(500);
__delay_ms(500);
PORTE=0;
PDC3=0;
PORTB=0;
}
if(rcv==102){
PDC2=150;    //Velocidad de Rotación
PORTC=8192;   //Giro a la Derecha motor 2 (Dedo Anular)
PORTD=8;     //Enciende LED Amarillo Motor 2
__delay_ms(500);
__delay_ms(500);
PDC2=0;
PORTC=0;
PORTD=0;
}
if(rcv==120){
PDC2=150;    //Velocidad de Rotación
PORTC=16384; //Giro a la Derecha motor 2 (Dedo Mayor)
PORTD=8;     //Enciende LED Amarillo Motor 2
__delay_ms(500);
__delay_ms(500);
PDC2=0;

```

```

PORTD=0;
PORTC=0;
}
if(rcv==103){
PDC1=200;    //Velocidad de Rotación
//Giro a la Derecha motor 3 (Dedo Anular)
PORTD=6;    //Enciende LED Verde Motor 3
__delay_ms(350);
PDC1=0;
PORTD=0;
}
if(rcv==130){
PDC1=300;    //Velocidad de Rotación
//Giro a la Derecha motor 3 (Dedo Mayor)
PORTD=3;    //Enciende LED Verde Motor 3
__delay_ms(500);
__delay_ms(500);
PDC1=0;
PORTD=0;
}
////////////////////////////////////
if(rcv==201){
PDC3=150;    //Velocidad de Rotación
PDC2=300;    //Velocidad de Rotación
PDC1=100;    //Velocidad de Rotación
PORTB=85;    //Giro a la Izquierda motor 1,2&3 (Dedo Meñique)
PORTE=256;    //Enciende LED Rojo Motor 1

```

```

PORTD=8;    //Enciende LED Amarillo Motor 2
PORTC=8192;
__delay_ms(500);
__delay_ms(500);
offall();
}
if(rcv==210){
PDC3=150;    //Velocidad de Rotación
PDC2=300;    //Velocidad de Rotación
PDC1=100;    //Velocidad de Rotación
PORTB=170;    //Giro a la Izquierda motor 1,2,3,4,5&6 Todos
PORTE=256;    //Enciende LED Rojo Motor 1
PORTD=10;    //Enciende LED Amarillo Motor 2
PORTC=16384;
__delay_ms(500);
__delay_ms(500);
offall();
}
    if(rcv==215){//Agarra Objetos Cilindrico
PDC1=300;    //Velocidad de Rotación//Giro a la Derecha motor 3 (Dedo
Mayor)
PORTD=3;    //Enciende LED Verde Motor 3
for(i=0;i<4;i++){__delay_ms(500);}
PDC1=0;
PORTD=0;
PDC3=250;    //Velocidad de Rotación
PDC2=300;    //Velocidad de Rotación

```

```

PDC1=100;    //Velocidad de Rotación
PORTB=170;   //Giro a la Izquierda motor 1,2,3,4,5&6 Todos
PORTE=256;   //Enciende LED Rojo Motor 1
PORTD=10;    //Enciende LED Amarillo Motor 2
PORTC=16384;
for(i=0;i<6;i++){__delay_ms(500);}
PDC3=0;
PDC1=0;
PORTB=8;
PORTD=0;
for(i=0;i<5;i++){__delay_ms(500);}
offall();
goto FIN;
}
if(rcv==216){//Libera Objetos Cilindricos
PDC3=250;    //Velocidad de Rotación
PDC2=300;    //Velocidad de Rotación
PDC1=100;    //Velocidad de Rotación
PORTB=85;    //Giro a la Izquierda motor 1,2&3 (Dedo Meñique)
PORTE=256;   //Enciende LED Rojo Motor 1
PORTD=8;     //Enciende LED Amarillo Motor 2
PORTC=8192;
for(i=0;i<6;i++){__delay_ms(500);}
PDC3=0;
PDC1=0;
PORTB=6;
for(i=0;i<4;i++){__delay_ms(500);}

```

```

PDC1=200;      //Velocidad de Rotación//Giro a la Derecha motor 3 (Dedo
Anular)

PORTD=6;      //Enciende LED Verde Motor 3

for(i=0;i<2;i++){__delay_ms(350);} //__delay_ms(350);

offall();

goto FIN;

}

//Agarre Tipo Esférico

if(rcv==217){//Agarra Objetos Cilindrico

PDC1=300;      //Velocidad de Rotación//Giro a la Derecha motor 3 (Dedo
Mayor)

PORTD=3;      //Enciende LED Verde Motor 3

for(i=0;i<7;i++){__delay_ms(500);}

PDC1=0;

PORTD=0;

PDC3=250;      //Velocidad de Rotación

PDC2=300;      //Velocidad de Rotación

PDC1=100;      //Velocidad de Rotación

PORTB=170;      //Giro a la Izquierda motor 1,2,3,4,5&6 Todos

PORTE=256;      //Enciende LED Rojo Motor 1

PORTD=10;      //Enciende LED Amarillo Motor 2

PORTC=16384;

for(i=0;i<6;i++){__delay_ms(500);}

PDC3=0;

PDC1=0;

PORTB=8;

PORTD=0;

for(i=0;i<9;i++){__delay_ms(500);}

```

```

offall();

goto FIN;

}

if(rcv==218){//Libera Objetos Cilindricos

PDC3=250;    //Velocidad de Rotación
PDC2=300;    //Velocidad de Rotación
PDC1=100;    //Velocidad de Rotación

PORTB=85;    //Giro a la Izquierda motor 1,2&3 (Dedo Meñique)

PORTE=256;    //Enciende LED Rojo Motor 1
PORTD=8;    //Enciende LED Amarillo Motor 2

PORTC=8192;

for(i=0;i<6;i++){__delay_ms(500);}

PDC3=0;

PDC1=0;

PORTB=6;

for(i=0;i<8;i++){__delay_ms(500);}

PDC1=200;    //Velocidad de Rotación//Giro a la Derecha motor 3 (Dedo
Anular)

PORTD=6;    //Enciende LED Verde Motor 3

for(i=0;i<4;i++){__delay_ms(354);} //__delay_ms(350);

offall();

goto FIN;

}

//Agarre Planar

//Agarre Tipo esférico

if(rcv==219){//Agarra Objetos Palanares

PDC1=300;    //Velocidad de Rotación //Giro a la Derecha motor 3 (Dedo
Mayor)

```



```

PORTD=3;      //Enciende LED Verde Motor 3
PDC2=300; PORTC=16384;
for(i=0;i<10;i++){__delay_ms(500);}
PDC1=0;
for(i=0;i<6;i++){__delay_ms(500);}
offall();
goto FIN;
}

if(rcv==220){//Libera Objetos Planares
PDC1=200;      //Velocidad de Rotación //Giro a la Derecha motor 3 (Dedo
Anular)
PORTD=6;      //Enciende LED Verde Motor 3
PDC2=300; PORTC=8192;
for(i=0;i<5;i++){__delay_ms(350);} //__delay_ms(350);
PDC1=0;
for(i=0;i<6;i++){__delay_ms(500);}
offall();
goto FIN;
}

////////////////////////////////////

goto FIN;

FIN:
rcv=0;
offall();
IFS0bits.U1RXIF=0;
}

```

