



Facultad de
Ingeniería

Laboratorio de
comunicaciones



ALIMENTADOR PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN EL MIEMBRO SUPERIOR

Proyecto final

Cibo-R

Alumno: Milano Matías Héctor

Director: Ms. Ing. Esteban Lucio Gonzáles

Codirector: Ing. Juan Alberto Etcheverry

Fecha: Noviembre 2022



RINFI se desarrolla en forma conjunta entre el INTEMA y la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



Facultad de
Ingeniería

Laboratorio de
comunicaciones



ALIMENTADOR PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN EL MIEMBRO SUPERIOR

Proyecto final

Cibo-R

Alumno: Milano Matías Héctor

Director: Ms. Ing. Esteban Lucio Gonzáles

Codirector: Ing. Juan Alberto Etcheverry

Fecha: Noviembre 2022

Resumen

En este trabajo se describe el diseño y construcción de un dispositivo de ayuda para personas, que por algún tipo de discapacidad, se encuentren imposibilitadas de usar sus brazos y/o manos para alimentarse (miembros superiores). Dentro de las discapacidades que afectan estos miembros se pueden encontrar aquellas de origen congénitas o adquiridas (estas últimas productos de accidentes o traumas). Este tipo de discapacidades reducen notablemente la independencia del individuo al no poder alimentarse por si mismo. Dado que la alimentación es uno de los aspectos más importantes de la vida cotidiana, este proyecto se centró en el desarrollo de un dispositivo de asistencia que permita alimentarse de forma autónoma a una persona que no hubiese podido realizar esta función sin ayuda. Para ello, se realizó un trabajo interdisciplinario con terapeutas ocupacionales de INAREPS (Instituto Nacional de Rehabilitación Psico-física del Sur). Se relevaron tanto las necesidades de los usuarios y de los profesionales del instituto, hasta su implementación y prueba.

El equipo está compuesto de un brazo robótico poli-articulado portable, que lleva la comida desde el plato a la boca del usuario usando una cuchara. El plato desde donde el brazo recoge el alimento puede girar, para permitir al brazo y a la cuchara con que este cuenta, recoger el alimento. También posee un sistema adaptado para controlar el movimiento del brazo. La inteligencia del dispositivo es del tipo play-back, esta realiza una secuencia pregrabada que genera los movimientos necesarios para la tarea de alimentar a la persona.

El diseño de la parte mecánica fue realizado teniendo en cuenta: fuerzas, movimientos y velocidades, adaptándose a diferentes tipos de alimentos. Para el control de los actuadores y el procesamiento de los datos se utilizó un microprocesador PIC. Se eligió la tecnología Microchip debido a la gran información disponible, a su fácil acceso y a las librerías existentes. Más específicamente el PIC que se usó fue el PIC18F2550. Los actuadores utilizados son una combinación de servomotores y motores paso a paso, se aprovecharon las ventajas de cada uno de ellos. También se diseñaron los puentes H necesarios para el control de potencia de los motores paso a paso. Las piezas del alimentador se diseñaron por computadora, para luego imprimirlas con impresora 3d.

El sistema diseñado ofrece la posibilidad de mejorar la calidad de vida de las personas con este tipo de imposibilidades físicas, tanto en niños como en adultos. Si bien existen variedad de brazos comerciales, el costo de los mismos es elevado y el armado de este sistema buscó afianzar conceptos adquiridos en la carrera ya que fue desarrollado como proyecto final.

Índice

Tabla de contenido

Resumen.....	1
Índice	3
Introducción	5
Capítulo 1	6
1 Fundamentos	6
1.1. Evolución de la asistencia a las personas con discapacidad	6
1.2. La importancia de la alimentación en las personas	7
1.3. Estudio de la problemática.....	8
1.4. Tipos de ayudas técnicas.....	9
1.5. Evolución de la robótica	9
1.6. Clasificación de los robots.....	10
1.6.1 Robots móviles	11
1.6.2 Androides o humanoides	11
1.6.3 Zoomórficos.....	12
1.6.4 Robots articulados.....	12
1.7 Morfología de un robot.....	13
1.8 Robótica médica.....	16
1.9. Robótica asistencial.....	16
1.10 Estado del arte	17
1.10.1 Equipos comerciales.....	18
1.10.2 Desarrollo propuesto	20
Capítulo 2	21
2 Análisis del brazo propuesto	21
2.1 Dimensiones del brazo	21
2.2 Calculo del par mecánico	22
2.3 Actuadores	23
2.3.1 Motores paso a paso.....	23
2.3.2 Servomotores	31
2.4 Control de potencia de motores paso a paso	37
2.4.1 Alimentación por tensión constante.....	38

2.4.2	Control paso a paso por control de corriente constante	39
2.4.3	Puentes H	41
2.4.4	Elección del puente H.....	43
2.5	Adquisición y procesamiento de la señal	46
2.5.1.	Señal de control de los actuadores	48
2.5.2.	Entradas de control	53
Capítulo 3	55
3	Desarrollo y construcción del equipo.....	55
3.1	Adquisición y procesamiento de la señal	55
3.2	Sistema completo.....	57
3.3	Construcción del prototipo	58
3.3.1	Consideraciones de diseño de circuitos impresos	58
3.3.2	Diseño de los circuitos impresos	59
3.3.3	Implementación del circuito impreso.	60
3.3.4	Diseño del modelo con impresión 3d.....	62
3.3.5	Consideraciones de diseño en impresión 3d.....	68
3.3.6	Implementación del modelo con impresión 3d	69
3.3.7	Ensamblado del equipo.....	70
3.3.8.	Pruebas realizadas.....	74
Capítulo 4	77
4	Conclusiones.....	77
Referencias	78

Introducción

La mayoría de las personas aprenden a manejar sus hábitos dependiendo de sus tiempos, economías y gustos. Sin embargo esto no sucede de la misma manera si presentan algún tipo de discapacidad.

Según el documento Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF), publicado en 2001 por la Organización Mundial de la Salud, se considera que la discapacidad es toda limitación en la actividad y restricción en la participación, originada en la interacción entre la persona con una condición de salud y los factores contextuales (entorno físico, humano, actitudinal y sociopolítico), para desenvolverse en su vida cotidiana, dentro de su entorno físico y social, según su sexo y edad.

La discapacidad física es aquella situación o estado en que se da una circunstancia que impide o dificulta en gran medida que la persona que la padece pueda moverse con libertad y de un modo en el que tenga plena funcionalidad.

Según el Estudio Nacional sobre el Perfil de las Personas con Discapacidad., implementado en las localidades urbanas de 5.000 y más habitantes de todo el territorio nacional, durante los meses de abril y mayo de 2018 en la Argentina. El 10,2% de la población de 6 años y más tiene algún tipo de dificultad. En términos absolutos, se corresponde con una estimación de 3.571.983 personas. Del total de la población con dificultad de 6 años y más, el 48,8% indica tener dificultad motora. Esta población está conformada en un 61,1% por quienes manifiestan tener dificultad solo motora inferior (para caminar o subir escaleras); en segundo lugar se encuentran quienes tienen dificultad motora superior e inferior (16,5%) y, en último término, un 12,4% expresa tener dificultad solo superior (para agarrar objetos con sus manos o brazos). En términos absolutos, se corresponde con una estimación de 503.763 personas que tienen dificultad para agarrar objetos con sus manos o brazos.

La vida de las personas con discapacidad resulta complicada en un entorno pensado para personas que gozan de buena salud. Para ello, se hace necesario soluciones ingenieriles que adecuen dicho entorno a las necesidades de personas con limitaciones especiales, de manera que se les facilite la realización de tareas fundamentales y cotidianas, como alimentarse.

En la actualidad está aceptado que la ciencia y la tecnología, forman uno de los pilares para el sustento de los sistemas de atención social a estas personas, tanto a nivel individual como colectivo. Efectivamente, el desarrollo de disciplinas en electrónica, informática, sensores, actuadores y robótica, están permitiendo concebir y elaborar soluciones tecnológicas para disminuir estas deficiencias y conseguir un mayor grado de autonomía personal.

Es importante, por lo tanto, crear un dispositivo para poder asistir a personas con discapacidad motora en el miembro superior, en nuestro país, y así intentar disminuir las dificultades en su independencia al momento de alimentarse. (INDEC, 2018)

Capítulo 1

1 Fundamentos

1.1. Evolución de la asistencia a las personas con discapacidad

Desde la antropología se han propuesto teorías en torno a la situación de las personas con discapacidad en estas sociedades. Una de ellas, la «tesis de la población excedente» (que fue desarrollada por el darwinismo social del siglo XIX), considera que en las sociedades donde la supervivencia económica es precaria, cualquier persona considerada débil o deficiente será eliminada.

Esta teoría se ha cuestionado por la observación en sociedades donde la supervivencia económica es extremadamente inestable, y a pesar de ello las personas con discapacidad, los/as ancianos/as y quienes portan alguna enfermedad son miembros valorados. En estas sociedades se prohíbe la muerte de estas personas.

En el Antiguo Egipto existía el abandono e infanticidio de niños y niñas con discapacidad, pero también hay evidencia de que se intentaban diversos tipos de tratamientos.

El Judaísmo prohibía el infanticidio e institucionalizada la caridad, como lo harían más tarde las religiones que de ella derivan: el Cristianismo y el Islam.

Entre los pueblos de Asia y África las prácticas fueron diversas. En la India los niños y niñas con discapacidad eran abandonados en el bosque o arrojados al río sagrado Ganges. Entre los Semang de Malasia se las consideraba personas sabias. Los Masái de Tanzania practicaban el infanticidio. Los Chagga de Africa Oriental utilizaban a personas con discapacidad para espantar a los demonios, y los Jukus de Sudan los abandonaban para que murieran por considerarlos obra de los malos espíritus.

Se puede señalar que a lo largo de la historia la situación de las personas con discapacidad ha ido variando al punto que se puede distinguir diferentes momentos. Un primer momento lo constituyen las sociedades antigua y feudal en donde las personas con discapacidad se encontraban en una situación de opresión tal que no eran reconocidas con el status de «ciudadanos» o «sujetos con derechos». Su vida carecía de valor, por lo que en muchas sociedades eran muertos, abandonados, encerrados o exhibidos como atracción. Un segundo momento es con la llegada del capitalismo, en donde surge el concepto de «Discapacidad» como sinónimo de “incapacidad”. Se producen algunos avances como la creación de institutos de formación y la sistematización de modos de comunicación para las personas con discapacidad visual o auditiva, también se desarticulaban los mecanismos de solidaridad de las sociedades campesinas. Un tercer momento es con el «Paradigma de la Rehabilitación» que, amparado en el «Modelo Médico Biológico», consideraba a la discapacidad como una enfermedad o insuficiencia que debía ser curada, y a las personas con discapacidad como “enfermos” a quienes había que mantener en una situación de minoridad privadas de sus derechos hasta que fueran “curadas” e integradas a la sociedad “normal”. Un cuarto momento es en la segunda mitad del siglo XX cuando las personas con discapacidad se organizan en movimientos sociales que toman en sus manos la lucha por sus derechos y sus obligaciones a fin de constituirse como sujetos en igualdad de

condiciones que el resto de la sociedad. Las personas con discapacidad comienzan a ser tenidas en cuenta en la elaboración de políticas que los incluyan, para dejar de ser sujetos pasivos.

El origen de la discapacidad puede ser congénito, producto de una enfermedad o a causa de un accidente, pero lo que genera la Discapacidad es la falta de adecuación del entorno para compensar o neutralizar los efectos de la limitación de la persona.

Los primeros dispositivos de asistencia que existieron para disminuir estas limitaciones, fueron las extremidades protésicas, que se remontan a 500 D.C. Las sillas de ruedas tempranas, en contraste, encontraron un uso generalizado hace menos de 300 años. Los miembros protésicos simples y sillas de ruedas se han convertido desde entonces en dispositivos mecánicos y electromecánicos más complejos. Un robot de asistencia (también llamado robot de rehabilitación), puede verse como distinto de una prótesis en el sentido de que no está adherido al usuario, pero puede residir en una mesa, en el lado de una silla de ruedas, o en una silla independiente base móvil. (Valencia, 2014)

1.2. La importancia de la alimentación en las personas

Si se piensa al ser humano y su relación con la alimentación más allá de la conexión fisiológica, son muchas las interrelaciones que se pueden extraer: escasez, exceso, inadecuación, injusticia, inaccesibilidad, insostenibilidad. El problema de la alimentación humana no puede reducirse sólo a un problema de necesidades nutritivas y de productos alimenticios. En teoría sería suficiente conocer las necesidades nutritivas de cada individuo, según sus características fisiológicas y la de los alimentos a su alcance, para poder establecer la dieta más conveniente. Otro factor a tener en cuenta son los hábitos alimenticios del individuo, cuando las personas se ven frente a la necesidad de alterar sus hábitos alimenticios, sobre todo por motivos de salud o en tiempo de privación, reaccionan de distinta manera.

La conducta alimentaria es una relación de intercambio con la que el sujeto consigue los elementos que necesita para sostener la estructura biológica y mantener las necesidades energéticas. La alimentación no sólo es la satisfacción fisiológica del hambre, sino que está muy superpuesta con la cultura propia y la identidad de cada pueblo y depende de muchos factores: las técnicas de producción, la estructura social, la religión y las costumbres. La comida lleva incluso aparejada un componente ritual (reglas en la mesa, vinculaciones sociales, pactos, alianzas, compromisos), y es de la continuidad o permanencia de una conducta cultural de donde surge el hábito alimentario, regido por normas alimentarias conscientes e inconscientes. Por tanto, el alimento además de ser un objeto nutritivo que causa placer posee una significación simbólica que le da el tono emotivo, y es mediante este poder de simbolización, por el que el ser humano crea formas permanentes de relacionar una cultura con el alimento, llegando entonces, a la realidad de la alimentación como una actividad situada en la intersección de procesos biológicos, sociales, psicológicos y culturales.

Por lo dicho la alimentación es una ocupación compleja, multifacética y muy crítica, vital para la salud y el bienestar. Además un componente importante ya en el desarrollo temprano afectivo del niño y desde entonces, puede tener consecuencias en su capacidad para participar con éxito en sus ocupaciones elegidas o requeridas.

La alimentación es un tipo de actividad de la vida diaria (AVD) básica, una de las áreas de desempeño ocupacional que puede verse afectada en determinadas patologías, momentos vitales o circunstanciales.

En virtud de lo dicho previamente queda claro que la imposibilidad de alimentarse puede ser un problema mucho mayor de lo que se puede ver desde una óptica meramente fisiológica. (Lydia María Martín Martín, 2011)

1.3. Estudio de la problemática

El trabajo se realizó en conjunto con el equipo de terapeutas ocupacionales del INAREPS. En una de las visitas al instituto se realizó una práctica para poder entender la situación de las personas que utilizarían el brazo alimentador. Para esto se utilizó una máquina que anula los movimientos del brazo, desde el hombro hasta las manos. De esta manera se pudo aproximar a comprender la experiencia que tienen las personas que pudieron tener movimientos en sus brazos y por determinado evento los pierden. Dejando a los mismos en una completa dependencia de otra persona que los asista.

Explicaron la situación de las personas que atraviesan estas circunstancias y como ellas perciben los estados de ánimo de estas. La impaciencia por la espera de que llegue la comida y la frustración por la dependencia.



Figura 1-1. Práctica en INAREPS con terapeutas ocupacionales.



Figura 1-2. Práctica en INAREPS.

1.4. Tipos de ayudas técnicas

Una definición precisa de Ayudas Técnicas (AT) puede ser rescatada de la normativa. Así para la ISO 9999; las ATs no son sino: “Aquellos productos, instrumentos, equipos o sistemas técnicos fabricados expresamente para ser utilizados por personas con discapacidad y/o mayores; disponibles en el mercado para prevenir, compensar, mitigar o neutralizar una diversidad”.

En Resumen consiste en la aplicación de las más variadas tecnologías al entorno de la discapacidad; pero desde una perspectiva global e integradora, es decir como: servicio, programa, herramienta, artefacto, lógica de operación, organización, sistema de comunicación, normativa, de forma que se reemplacen o disminuyan las desventajas (funcionales, sensoriales, cognitivas, sociales) de las personas con discapacidad; permitiendo su equiparación, en lo substancial, con el resto de miembros de la sociedad.

Entre las clasificaciones se encuentra, la clasificación de productos y equipos asistivos. Incluyen todos los recursos tecnológicos, indistintamente que sean diseñados, fabricados en modo estándar, o adaptados a partir de otros ya fabricados, y que sean susceptibles de ayudar, al discapacitado, a vencer o mitigar sus disfuncionalidades; facilitando el acceso a una mayor autonomía y mejor calidad de vida.

La naturaleza de estos recursos es tan variada que se han propuesto, para ello, distintas filosofías de clasificación, una de ellas es la clasificación por su nivel tecnológico que atendiendo a este criterio se clasifican en:

- De No tecnología: Son aquellas que incorporan usos especiales de métodos y objetos de uso común (comunicarse señalando sobre un conjunto de objetos reales, estrategias especiales de estudio, tipos de letra magnificados) .
- De Baja Tecnología: Las que utilizan adaptaciones de herramientas simples ya existentes (Tableros de conceptos elementales, ayudas para la alimentación y el vestido) .
- De Media Tecnología: Se incluyen, aquí, productos y equipos de cierta complejidad tecnológica y de desarrollo dedicado o especial (sillas de ruedas).
- De Alta Tecnología: Incorporan productos y equipos de gran complejidad tecnológica, principalmente basados en las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Robótica, Ingeniería Biomédica (Comunicadores personales, acceso al PC, Brain-Computer Interface, sillas de ruedas autoguiadas). (Joaquín Roca Dorda)

Robots aplicados a la discapacidad

1.5. Evolución de la robótica

La palabra robot fue usada por primera vez en el año 1921, cuando el escritor checo Karen Capek (1890-1938) estrena en el teatro nacional de Praga su obra Rossum's Universal Robot . Su origen proviene de la palabra eslava robota, que se refiere al trabajo de forma forzada.

En la obra, los robots eran máquinas androides fabricadas por un científico, que servían a sus jefes humanos desarrollando trabajos físicos.

Mucho antes de que la palabra robot fuera utilizada por primera vez, el hombre creaba máquinas y dispositivos capaces de imitar las funciones y los movimientos de los seres vivos. Los griegos ya utilizaban la palabra automato, de la que deriva la actual autómeta. Herón de Alejandría desarrolló uno de los primeros autómetas con carácter lúdico en su famoso teatro de autómetas, el cual se movía por medio de dispositivos hidráulicos, poleas y palancas.

Los progenitores más directos de los robots, son los telemanipuladores. En 1948, R. C. Goertz desarrolló en el Argonne National Laboratory el primer manipulador, con el objetivo de manipular elementos radiactivos sin riesgo para el operador. Éste consistía en un dispositivo mecánico maestro-esclavo, donde el manipulador maestro, colocado en zona segura, era movido por el operador; mientras que el esclavo, reproducía los movimientos del primero.

Hay 5 momentos relevantes en el desarrollo de la robótica industrial:

1. 1948, desarrollo del primer manipulador.
2. 1958, con la fundación de Unimation, se realizan los primeros proyectos de robots.
3. 1970, los laboratorios de la universidad de Stanford y del MIT se proponen controlar un robot mediante un computador.
4. 1975, la aplicación del microprocesador transforma la imagen y las características del robot, hasta entonces grande y tosco.
5. 1980, el fuerte impulso de la investigación potencia la configuración del robot inteligente. Aunque siguen siendo los robots industriales los más utilizados en la industria para el montaje soldadura, existen otro tipo de aplicaciones que han hecho evolucionar en gran medida tanto la concepción de los robots como su morfología. (Baturone, 2001)

1.6. Clasificación de los robots

Existe una gran variedad de clasificaciones de los tipos de robots existentes debido a la multitud de parámetros sobre los que se puede realizar basándose en su arquitectura, su nivel de inteligencia, su nivel de control, y su nivel de lenguaje de programación.

Si se los clasifica según su nivel de inteligencia, su nivel de control y su nivel de lenguaje de programación los robots se pueden dividir en los siguientes tipos:

- 1. Play-back**, reproducen una secuencia de instrucciones grabadas, como un robot utilizado en recubrimiento por spray o soldadura por arco.
- 2. Controlados por sensores**, estos tienen un control en lazo cerrado de movimientos manipulados, y hacen decisiones basados en datos obtenidos por sensores.
- 3. Controlados por visión**, los robots pueden manipular un objeto al utilizar información desde un sistema de visión.
- 4. Controlados adaptablemente**, los robots pueden automáticamente reprogramar sus acciones sobre la base de los datos obtenidos por los sensores.
- 5. Con inteligencia artificial**, los robots utilizan las técnicas de inteligencia artificial para hacer sus propias decisiones y resolver problemas.

Basándose en su arquitectura los robots se suelen dividir en los siguientes tipos:

1.6.1 Robots móviles

Los robots móviles están provistos de algún tipo de mecanismo que les permite desplazarse de lugar de manera autónoma, como pueden ser patas, ruedas u orugas y reciben la información del entorno con sus propios sistemas sensores.

Son empleados en plantas industriales para el transporte de mercancías y para la exploración de lugares de difícil acceso o muy distantes, como es el caso de la exploración espacial y de las investigaciones o rescates submarinos.



Figura 1-3- Jumping Sumo (Castromil, 2014)

1.6.2 Androides o humanoides

Intentan reproducir total o parcialmente la forma y el comportamiento del ser humano. Actualmente, los androides están bastante evolucionados, sobre todo en Japón, pero aún no tienen una utilidad práctica por sus propias limitaciones y por su precio de fabricación. Básicamente están destinados a la investigación y a tareas de marketing de las propias empresas desarrolladoras.



Figura 1-4. Robot 'Atlas' de Boston Dynamics (Contreras, 2017)

1.6.3 Zoomórficos

Los robots zoomórficos reproducen con mayor o menor grado de realismo, los sistemas de locomoción de diversos seres vivos. A pesar de la disparidad morfológica de sus posibles sistemas de locomoción, se pueden diferenciar dos grandes grupos: caminadores y no caminadores. En el primero de los grupos, los robots son muy numerosos y variados y su futuro incluye el desarrollo de auténticos vehículos de transporte capaces de desplazarse por superficies muy accidentadas. En relación a los no caminadores, la investigación no está tan avanzada e incluye morfologías de tipo serpiente.



Figura 1-5. Crabster robot de investigación submarina (Lor-Van, 2013)

1.6.4 Robots articulados

Son artefactos mecánicos y electrónicos destinados a realizar de forma automática determinados procesos de fabricación o manipulación. Se utilizan principalmente en la fabricación industrial. Los robots industriales son, con diferencia, el tipo de robot más utilizado, siendo Estados Unidos y Japón los líderes tanto en su fabricación como en su consumo.



Figura 1-6 (tayfunca technology, 2021)

1.7 Morfología de un robot.

Debido a la similitud de estos robots con los miembros superiores humanos, que son los que desempeñan la tarea de alimentar, se detalla más en profundidad las características de los robots manipuladores, para generar un modelo adecuado.

En general, un robot está formado por los siguientes elementos: estructura mecánica, transmisiones, actuadores, sensores, elementos terminales y controlador.

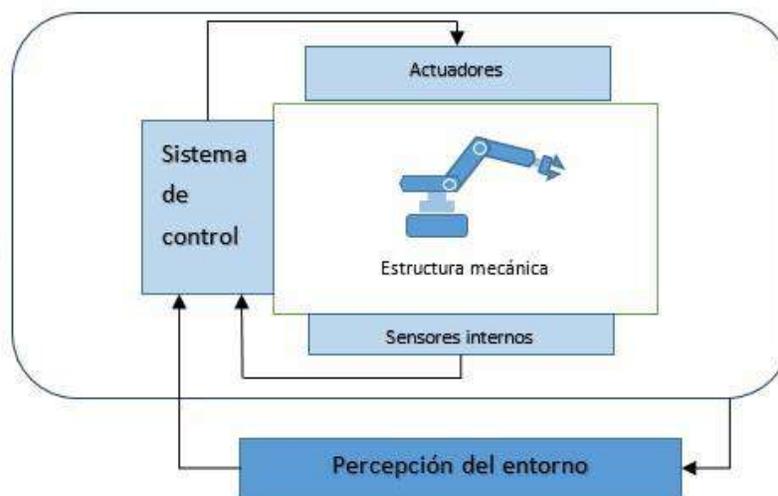


Figura 1-7. Elementos de un robot manipulador.

Estructura mecánica: El sistema mecánico está compuesto por diversas articulaciones. Normalmente se distingue entre el brazo y el órgano terminal o efector final que puede ser intercambiable, empleando pinzas o dispositivos específicos para distintas tareas.

La constitución física de la mayor parte de los robots industriales guarda cierta similitud con la anatomía de las extremidades superiores del cuerpo humano, por lo que, en ocasiones, para hacer referencia a los distintos elementos que componen el robot, se usan términos como cintura, hombro, brazo, codo, muñeca. Las dimensiones de los elementos del manipulador, junto a los grados de libertad, definen la zona de trabajo del robot, característica fundamental en las fases de selección e implantación del modelo adecuado.

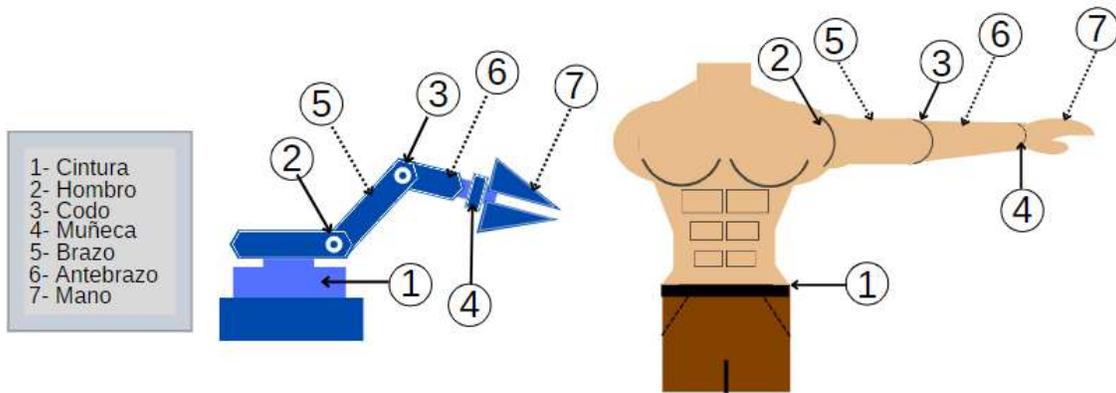


Figura 1-8. Analogía entre miembro superior y brazo manipulador

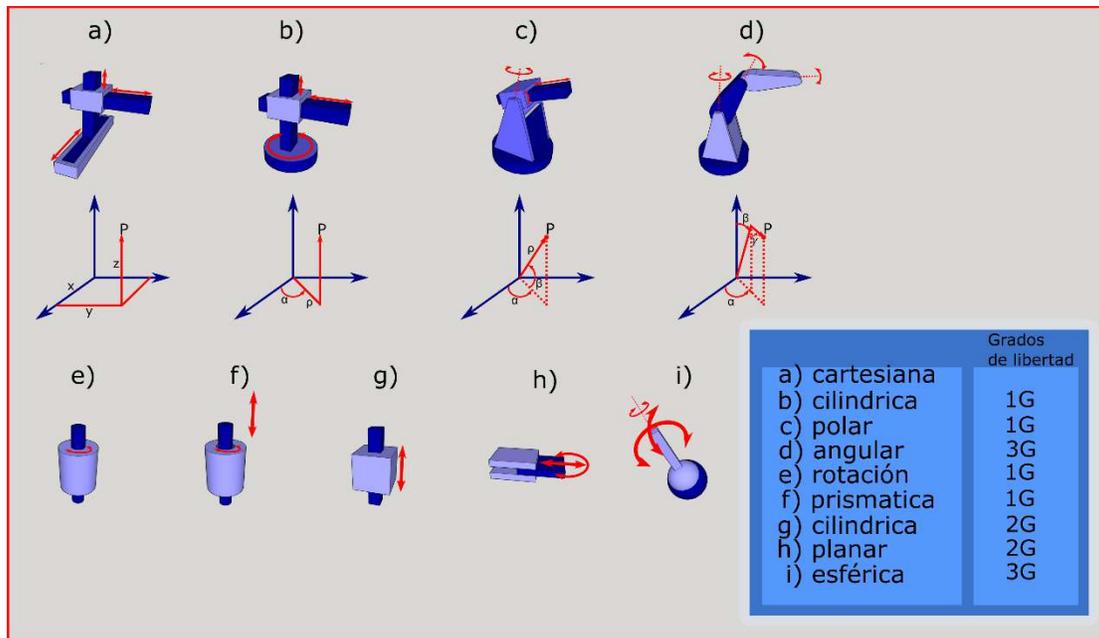


Figura 1-9. Articulaciones en robots manipuladores

Los grados de libertad son el número de parámetros independientes que establecen la posición del terminal. El número de grados de libertad suele coincidir con el número de eslabones de la

cadena cinemática.

El espacio de trabajo es el conjunto de puntos en los que puede situarse el efector final del manipulador. Corresponde al volumen encerrado por las superficies que determinan los puntos a los que accede el manipulador con su estructura totalmente extendida y totalmente plegada. Por otra parte, todos los puntos del espacio de trabajo no tienen la misma accesibilidad. Los puntos de accesibilidad mínima son los de las superficies que definen el espacio de trabajo ya que a ellos solo puede llegarse con una única orientación.

La configuración cartesiana tiene tres articulaciones prismáticas, la posición se efectúa mediante coordenadas cartesianas (x, y, z) . Los valores que toman las variables articulares corresponden a las coordenadas que toma el extremo del brazo. Esta configuración sin embargo está limitada para acceder a puntos situados en espacios relativamente cerrados y posee un volumen menor en comparación con otras configuraciones (Figura 1-10 (a)).

La configuración cilíndrica tiene dos articulaciones prismáticas y una de una rotación, la posición se realiza por medio de coordenadas cilíndricas. Su volumen de trabajo, suponiendo un radio de giro de 60° y un rango de desplazamiento y , el volumen resultante se demuestra que es $3\pi y^3$ (Figura 1-10.b).

La configuración polar o esférica, posee dos articulaciones de rotación y una prismática, la posición se efectúa mediante coordenadas polares. El volumen resultante de esta configuración es irregular. (Figura 1-10.c)

La configuración rotacional, sus articulaciones son de rotación, debido a sus similitudes entre su estructura y los brazos humanos, se los denomina antropomórficos. La posición y volumen son similares a la configuración polar.

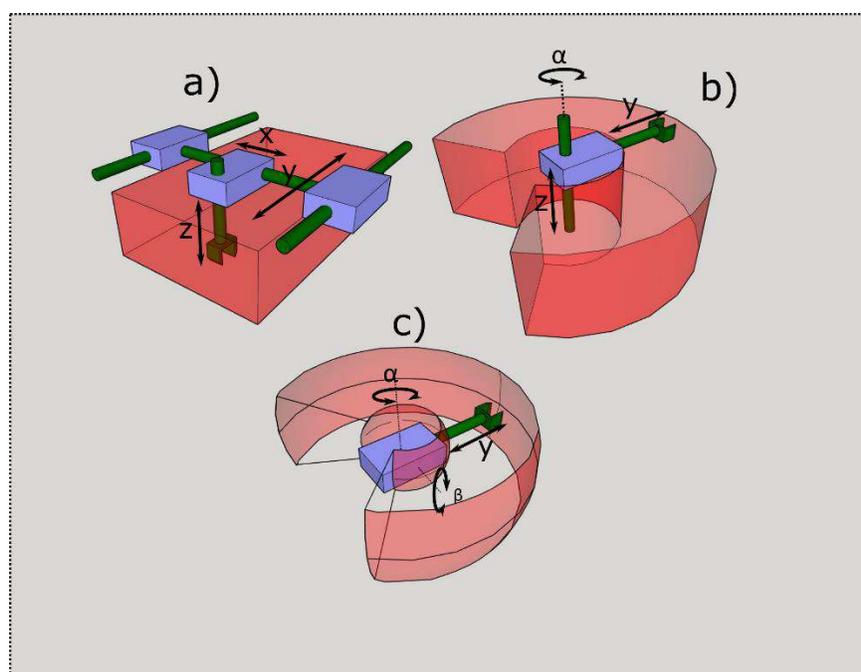


Figura 1-10. Representación del espacio de trabajo dependiendo de su configuración

Actuadores: generan las fuerzas o pares necesarios para animar la estructura mecánica. Se utilizan tecnologías neumáticas, hidráulicas, eléctricas.

Sistema de control: Compuesto por los procesadores del brazo, interfaces y firmware de control

de los movimientos del manipulador, las acciones, cálculos y procesamiento de la información. Dependiendo de su grado de control y que parámetros de control regulan pueden ser de posición, cinemáticos, dinámicos u adaptativos.

Sensores internos y percepción de entorno: pueden ser sensores de posición, velocidad, presencia. Los más comunes son joystick. (Baturone, 2001)

1.8 Robótica médica

Actualmente se puede ver que en fábricas de automóviles aparezcan imágenes de robots realizando diferentes tareas. Los robots realizan múltiples procesos de fabricación existentes, se los puede encontrar soldando, pintando, manipulando objetos. En todos estos casos, el robot es una entidad aislada que normalmente se encuentra encerrada en su celda de trabajo, y protegido para que las personas no lo toquen cuando está en funcionamiento. Los robots industriales forman parte de la visión del mundo que nos rodea.

Sin embargo, es novedoso ver que un robot coopere con una persona humana para la realización de una tarea. La imagen que llega de la ciencia ficción de robots humanoides o robots de servicio que trabajen mano a mano con una persona humana provoca cierta sorpresa e inseguridad al realizar la tarea conjunta.

El área de trabajo de los robots médicos es muy amplia, y se extiende desde el micro robot capsula que navega por el interior del cuerpo humano hasta el robot asistente que permite a personas con discapacidades realizar tareas de la vida diaria que no podría realizar sin la ayuda de ese robot, pasando por robots para el quirófano, robots enfermeros, robots para rehabilitación, o robots prótesis u órtesis biomecánicas.

En un sentido amplio, los robots médicos son aquellos robots que desarrollan su trabajo en un ambiente quirúrgico, un escenario de rehabilitación o un ambiente doméstico donde se realizan tareas de asistencia. La característica común que se encuentran en estos robots es que, aparte de colaborar para realizar una determinada tarea, estos robots médicos tienen una relación física directa con la persona humana, es decir hay contacto físico entre el robot y la persona.

Obviamente esta característica condiciona la interfaz hombre-máquina de estos robots, y los hace diferentes de los robots industriales anteriores. (OPENSURG, 2013)

1.9. Robótica asistencial

Un robot asistente es un dispositivo tecnológico adaptable que interactúa de manera directa con el usuario para mantener y/o aumentar las capacidades funcionales de las personas, a través de sensores, actuadores y procesamiento. Los dispositivos de ayuda surgen de la necesidad de cubrir tareas habituales, las cuales son imposibilitadas por deficiencias neuropsicológicas y/o motoras. La robótica asistencial puede permitir ser el medio más adecuado para que personas con alguna discapacidad logren maximizar su autonomía funcional, particularmente en áreas asociadas con actividades rutinarias.

En general, los dispositivos robóticos de asistencia pueden ser divididos en dos categorías, robots autónomos y robots cuyas funcionalidades son compartidas con el usuario.

Los robots autónomos reemplazan prácticamente la totalidad de las funciones rutinarias psicomotrices dependientes. Los procesos de diseño relacionados a las funciones de procesamiento/control e implementación de los efectores no difieren sustancialmente de las otras aplicaciones robóticas. (OPENSURG, 2013)

1.10 Estado del arte

Se pueden distinguir dos tipos de sistemas de robot asistentes fijos dedicados, sistemas de escritorio que conforman un puesto de actividad/trabajo para el paciente, y sistemas que aun siendo fácilmente transportables son ubicados frente al usuario por una tercera persona, llamadas estaciones robóticas. Los sistemas de tipo escritorio asisten al usuario en un espacio de trabajo muy estructurado, permitiendo así la realización de tareas muy específicas. Por el contrario las estaciones robóticas tienen la necesidad de la figura del asistente en la preparación de la puesta en funcionamiento del robot (por ejemplo, el abastecimiento de comida y/o bebida en los contenedores/bandejas del robot). La finalidad de estos sistemas, no es evitar la necesidad de disponer de una persona que asista a la persona con discapacidad, sino que una vez servida la comida y bebida, el usuario pueda comer y beber a su ritmo, autónomamente. Esta solución permite, por una parte satisfacer al usuario al poder comer por sí solo, y por otra evitar la fatiga física y/o mental que supone la asistencia continuada entre el asistente y la persona afectada. Para el desarrollo de este proyecto se decidió utilizar sistemas de estación robótica.

1.10.1 Equipos comerciales

Entre los sistemas de estación robótica para la asistencia de personas con movilidad reducida se destacan los equipos comerciales que se describen a continuación:

Meet obi



Figura 1-11-Meet Obi

Interfaz de usuario

- Comedor: Cuchara e interruptores de accesibilidad.
- Cuidador: Botones de encendido y aprendizaje sensibles al tacto. Modo de enseñanza guiado a mano.

Componentes

- Robot Obi.
- Juego de interruptores pal pad, plato, mantel individual, cuchara grande, cuchara pequeña, cable de carga.
- Hoja de bienvenida, Guía de inicio rápido, Manual del usuario.
- Función automática.
- Captura de alimentos multidireccional.
- Reposicionamiento de alimentos.
- Control de porciones.
- Gestos.
- Peso: 3,36 kg.
- Costo aprox: 6000 €. (Dekar, s.f.)

The Bestic



Figura 1-12. The bestic

- El brazo robótico se puede controlar con un interruptor de un botón o un dispositivo de 5 botones para un mayor control.
- Se puede usar un joystick externo.
- Posibilidad de establecer la altura y la profundidad de la cuchara dependiendo de la posición del asiento del usuario.
- Tiempo de funcionamiento de la batería: 5 horas.
- Tipo de entradas: USB y conector telefónico de 3,5 mm.
- Tamaño en estuche de viaje: 34 cm (alto), 22 cm (ancho), 20 cm (profundidad).
- Peso: 1,9 kg.
- Costo aprox: 35000 €. (Bestic, s.f.)

Windsford feeder



Figura 1-13. Windsford feeder

- El brazo robótico se puede controlar con un interruptor de barbilla.
- Posibilidad de establecer la altura con una perilla.
- Empujador motorizado para llenar la cuchara.
- Gira platos.
- Tamaño: 46 cm (ancho), 31 cm (profundidad).
- Peso: 1,9 kg.
- Costo aprox: 4600 €. (Estado da Arte - Feeding Assisted, s.f.)

1.10.2 Desarrollo propuesto

A partir de lo descrito anteriormente se propone desarrollar y construir un dispositivo que permita alimentar de manera autónoma a una persona con algún tipo de discapacidad en los miembros superiores. Será un robot manipulador de tres grados de libertad poli-articulado, que permita ubicar el efector (cuchara en este caso) en cualquier lugar del espacio dentro del área de captura y entrega del alimento; con un menor grado de libertad que sus análogos comerciales, cumpliendo con su finalidad; utilizando una menor cantidad de actuadores en el brazo en comparación con los equipos comerciales como el Meet Obi o the Bestic; del tipo playback con una secuencia pre-programada; con la posibilidad de graduar la altura final del efector de manera simple a través de una perilla, sin una complicada programación como los equipos comerciales. Además que pueda compartir características similares a los equipos comerciales como su portabilidad, plato giratorio, variando su velocidad de movimiento y con la posibilidad de utilizar diferentes tipos de pulsadores adaptados.

Capítulo 2

2 Análisis del brazo propuesto

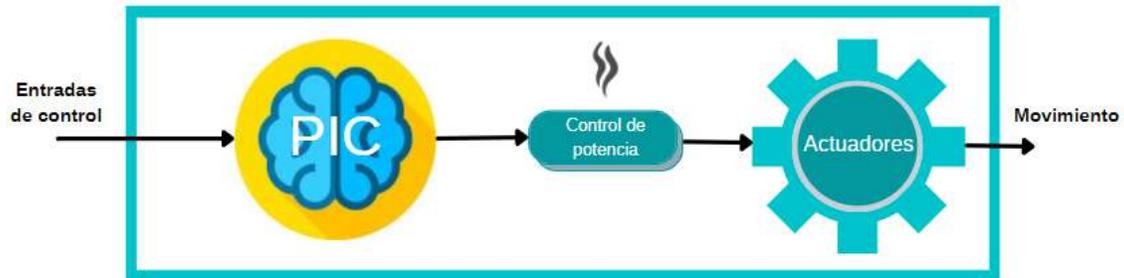


Figura 2-1. Diagrama en bloques del modelo propuesto

2.1 Dimensiones del brazo

Con un modelo de brazo de cartón, una mesa y una silla de dimensiones similares a las de una silla de ruedas se obtuvo las dimensiones del brazo. Se tuvo en cuenta el recorrido que tiene los brazos para realizar la actividad de alimentar. A partir de estos se determinaron las características de los actuadores necesarios.



Figura 2-2. Modelo de cartón

Las medidas obtenidas fueron 23.5 cm de brazo y 21 cm de antebrazo.

2.2 Cálculo del par mecánico

Para calcular la potencia mínima que deben tener los actuadores. Se analiza el brazo asumiendo una posición en la que el robot se encuentra sometido a su mayor esfuerzo mecánico. Donde las articulaciones de codo y hombro están a 90°. Y se aproximaron los pesos de las articulaciones y los actuadores.

Para calcular los momentos utilizamos

$$\sum M_H: M_H - W_{l_1} \left(\frac{l_1}{2} \right) - W_{l_2} \left(\frac{l_2}{2} + l_1 \right) - W_{a_1}(l_1) - (W_{a_2} + W_s)(l_1 + l_2) = 0$$

M_H : Momento del actuador hombro

W_{l_1} : Peso del eslabon brazo

W_{l_2} : Peso del eslabon ante brazo

W_{a_1} : Peso actuador servomotor codo

W_{a_2} : Peso actuador servomotor muñeca

W_s : Peso cuchara

l_1 : Largo del eslabon brazo

l_2 : Largo del eslabon ante brazo

M_C : Momento del actuador codo

M_{CI} : Momento del actuador cintura

$$M_H = 0.054 \text{ Kg} \left(\frac{23.5 \text{ cm}}{2} \right) + 0,057 \text{ Kg} \left(\frac{21 \text{ cm}}{2} + 23.5 \text{ cm} \right) + 0,059 \text{ Kg} (23.5 \text{ cm}) \\ + (0.059 \text{ Kg} + 0.062 \text{ Kg}) (23.5 \text{ cm} + 21 \text{ cm})$$

$$M_H = 0.6345 \text{ Kg. cm} + 1.938 \text{ Kg. cm} + 1.3865 \text{ Kg. cm} + 5.3845 \text{ Kg. cm} = 9.3435 \text{ Kg. cm}$$

$$\sum M_C: M_C - W_{l_2} \left(\frac{l_2}{2} \right) - (W_{a_2} + W_s)(l_2) = 0$$

$$M_C = 0,057 \text{ Kg} (23.5 \text{ cm}) + (0.059 \text{ Kg} + 0.062 \text{ Kg}) (23.5 \text{ cm})$$

$$M_C = 1.3395 \text{ Kg. cm} + 2.8435 \text{ Kg. cm} = 4.183 \text{ Kg. cm}$$

$$\sum M_{CI}: M_{CI} - W_{l_1} \left(\frac{l_1}{2} \right) - W_{l_2} \left(\frac{l_2}{2} \right) - W_{a_1}(l_1) - (W_{a_2} + W_s)(l_1 - l_2) = 0$$

$$M_{CI} = 0.054 \text{ Kg} \left(\frac{23.5 \text{ cm}}{2} \right) + 0,057 \text{ Kg} \left(\frac{21 \text{ cm}}{2} \right) + 0,059 \text{ Kg} (23.5 \text{ cm})$$

$$+ (0.059 \text{ Kg} + 0.062 \text{ Kg}) (23.5 \text{ cm} - 21 \text{ cm})$$

$$M_{CI} = 0.6345 \text{ Kg. cm} + 0.5985 \text{ Kg. cm} + 1.3865 \text{ Kg. cm} + 0.3025 \text{ Kg. cm} = 2.922 \text{ Kg. cm}$$

Esta información será utilizada en secciones posteriores ([Elección de los servomotores](#) y [Elección del motor paso a paso](#))

2.3 Actuadores

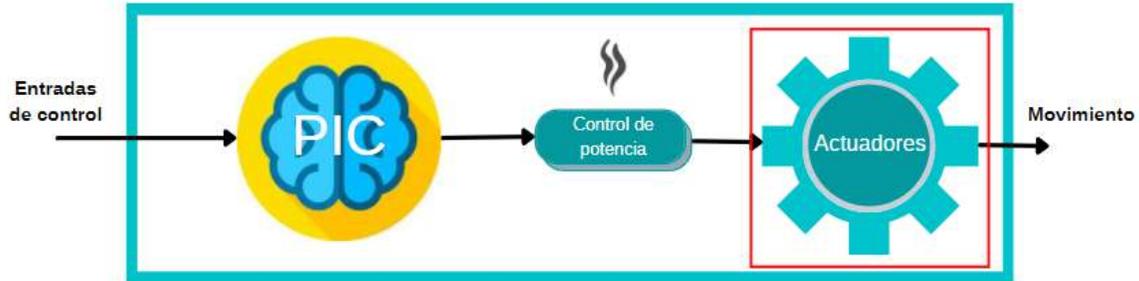


Figura 2-3. Diagrama en bloques del modelo propuesto. Actuadores

En esta sección se describe distintos tipos de actuadores y se determinan cuales fueron utilizados en el proyecto.

2.3.1 Motores paso a paso

El **motor paso a paso** (*step motor*) está pensado para el posicionamiento con precisión y de forma discreta, con incrementos angulares de su eje, denominados pasos. Éstos se producen controlando la corriente por los devanados, que a su vez es manejada por unos semiconductores de estado sólido de potencia. A éstos llega una señal discreta proveniente del circuito digital de control, el cual determina la acción del motor.



Figura 2-4. Motor paso a paso. (silly-bytes, s.f.)

Los motores paso a paso no se caracterizan por ser unos motores rápidos, de hecho los más rápidos de esta familia raramente superan la velocidad máxima de 3000 vueltas /min. El ángulo de rotación mínimo entre dos modificaciones de impulsos eléctricos se llama paso. Estos motores se caracterizan por el número de pasos por vuelta (es decir por 360°). Los valores más comunes son 48, 100 o 200 pasos por vuelta.

Existe una gran variedad de motores paso a paso, diferenciados entre sí por su constitución y forma de construcción. Entre éstos destacan tres tipos:

- Motores de imán permanente.
- Motores de reluctancia variable.

- Motores híbridos. (Kenjo, 1984)

2.3.1.1 Motor de imán permanente

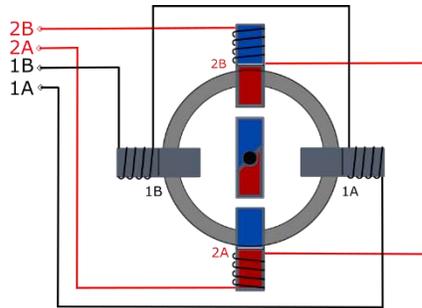


Figura 2-5. Diagrama de motor de imán permanente

Este tipo de motores se caracteriza por la utilización de un imán permanente cerámico cilíndrico en el rotor. El imán está magnetizado radialmente en una serie de polos. El estator está constituido por láminas de material ferro magnético, bobinado con el mismo número de polos que el rotor.

El ángulo de paso de este tipo de motores depende del número de polos del estator y el rotor. Debido a las características del material magnético utilizado en la construcción del rotor, el número de polos de éste es limitado, por lo que los ángulos que se consiguen con este tipo de motor son grandes. (Kenjo, 1984)

2.3.1.2 Motor de reluctancia variable

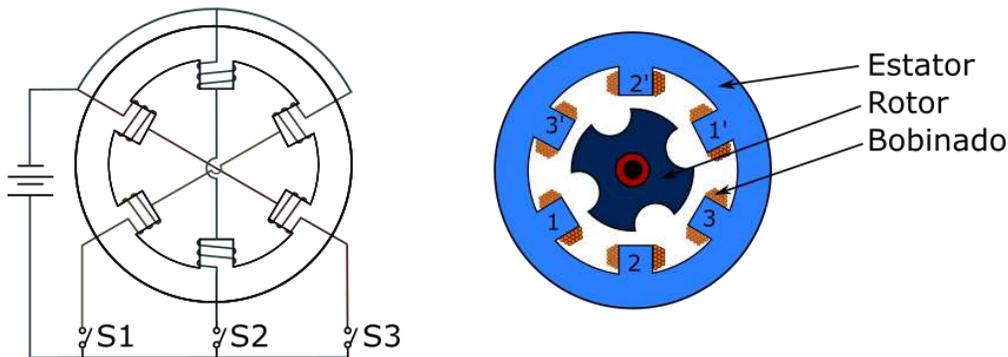


Figura 2-6. Esquema de motor de reluctancia variable

El motor de reluctancia variable está constituido por un rotor de láminas ferromagnéticas no imantadas, formando un cilindro alrededor del eje, éstas se encuentran ranuradas de forma longitudinal, formando dientes (polos del rotor). La ranuración del rotor conlleva una variación de la reluctancia en función de su posición angular.

Igualmente que el rotor, el estator está formado por láminas de material ferro magnético no imantado, con una serie de ranuras en forma longitudinal, que albergan los bobinados de las fases,

y forman los polos del estator.

Normalmente la constitución del rotor y el estator es a base de láminas ferromagnéticas, pero también se pueden encontrar unidades con constitución sólida de hierro dulce.

El número de dientes del rotor es menor que el número de dientes del estator, de modo que sólo un par de polos del estator y su correspondiente par de polos del rotor pueden estar alineados por fase. La figura representa un motor VR de tres fases con seis polos en el estator y cuatro en el rotor. Cada fase dispone de dos bobinados, situados en polos opuestos. La figura también nos muestra una conexión de los bobinados en serie, pudiéndose conectar igualmente en paralelo. (Kenjo, 1984)

2.3.1.3 Motores Híbridos

Los motores híbridos paso a paso operan combinando los principios de los motores de imán permanente y los de reluctancia variable, intentando obtener las características que destacan en cada uno de ellos. Combinados se obtienen unos ángulos de pasos pequeños y alto par con un tamaño pequeño.

Las características y forma del estator son prácticamente igual a la de los otros modelos de motores paso a paso de imán permanente y reluctancia variable. Las diferencias de importancia se encuentran en la estructura del rotor, formado por un disco cilíndrico imantado en posición longitudinal al eje. Éste está altamente magnetizado produciendo un flujo unipolar.

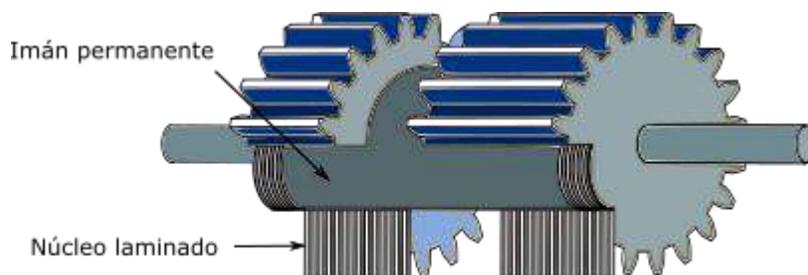


Figura 2-7. Figura de un estator de un motor híbrido.

2.3.1.4 Comparación de los diferentes tipos de motores paso a paso

-Motores de imán permanente:

- Tienen un par elevado debido a la incorporación de un imán en el rotor.
- Los ángulos de paso que se pueden obtener son grandes.
- El tamaño está condicionado al rotor de imán permanente y al ángulo de paso, no se puede obtener tamaños reducidos.
- Debido a la imantación del rotor, este tipo de motores presentan un par residual o par de frenado.

- El efecto de amortiguación generado por la imantación limita el rango de velocidades.

-Motores de reluctancia variable (VR):

- Al no incorporar imán permanente, el rotor se puede fabricar con un diámetro pequeño, y por consiguiente el tamaño del motor también es reducido.
- Con un diámetro del rotor pequeño, el momento de inercia de este también lo es, lo que proporciona un rango dinámico elevado (altas velocidades), y un buen par de arranque.
- El ángulo del paso está limitado, el diámetro del estator limita el número de polos bobinados que puede albergar.
- No tiene par de retención residual cuando se desactiva, lo cual a menudo es una desventaja.
- Son los que tienen menos par, pero la fabricación es más fácil.

-Motores híbridos:

- Permiten obtener ángulos de paso pequeños sin necesidad de utilizar gran número de fases.
- Tienen un buen rango dinámico, comprendido entre los motores de imán permanente y los de reluctancia variable.
- Al incorporar imantación, presentan el par de retención residual en ausencia de alimentación.
- Las medidas son contenidas sin llegar a alcanzar al motor VR debido a la ubicación del imán permanente en el estator.
- Produce un par elevado, producido por fuerza de reluctancia como los motores VR. (Kenjo, 1984)

2.3.1.5 Características estáticas

Las características relativas del motor en estado estacionario se denominan características estáticas.

El par de mantenimiento o (Holding torque) se conoce como el máximo par estático que se le puede aplicar al eje de un motor excitado sin causarle rotación continua y es específico para cada motor. Normalmente lo proporciona el fabricante en las características técnicas. Cuando se aplica un par que excede el par de mantenimiento el rotor gira continuamente. El par de mantenimiento normalmente es más alto que el par de trabajo y actúa como freno, manteniendo la carga en posición.

El par estático desarrollado (Detent torque) por un motor está en función de la posición del rotor; de las dimensiones del estator y los dientes del rotor, y el valor de la intensidad que circula por los bobinados. Las curvas de respuesta típica de un motor reluctancia variable nos las muestra la siguiente figura; y las de un motor híbrido son muy parecidas.

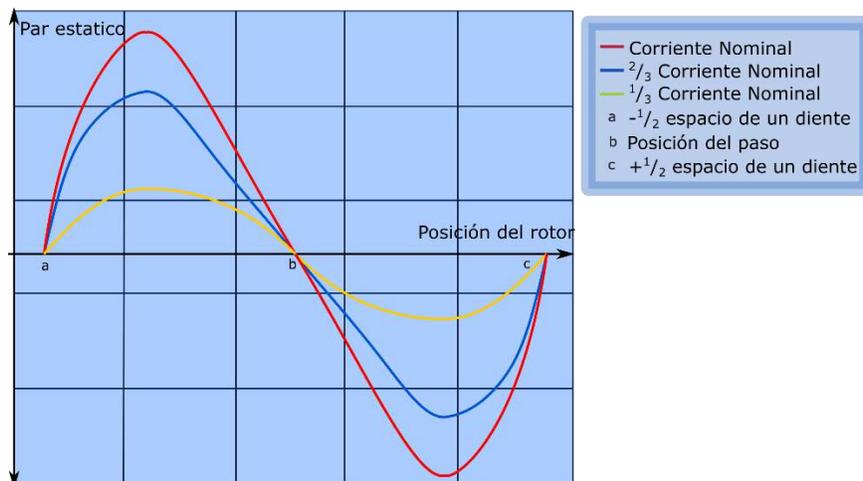


Figura 2-8. Curva par estático- Posición del rotor

En la posición del paso, los dientes del rotor y el estator están perfectamente alineados y no se produce ningún par. Si el rotor es desplazado fuera de la posición de equilibrio se desarrolla una fuerza entre los dientes del rotor y los del estator, formando un par que empuja al rotor para retornarlo a la posición del paso. Cuando la dirección de desplazamiento del rotor es negativa produce un par positivo y cuando es positiva produce un par negativo.

El par que produce el motor es proporcional a la corriente por las fases, para los motores de reluctancia variable y para los híbridos, el par es proporcional a la intensidad con una cierta linealidad. (Kenjo, 1984)

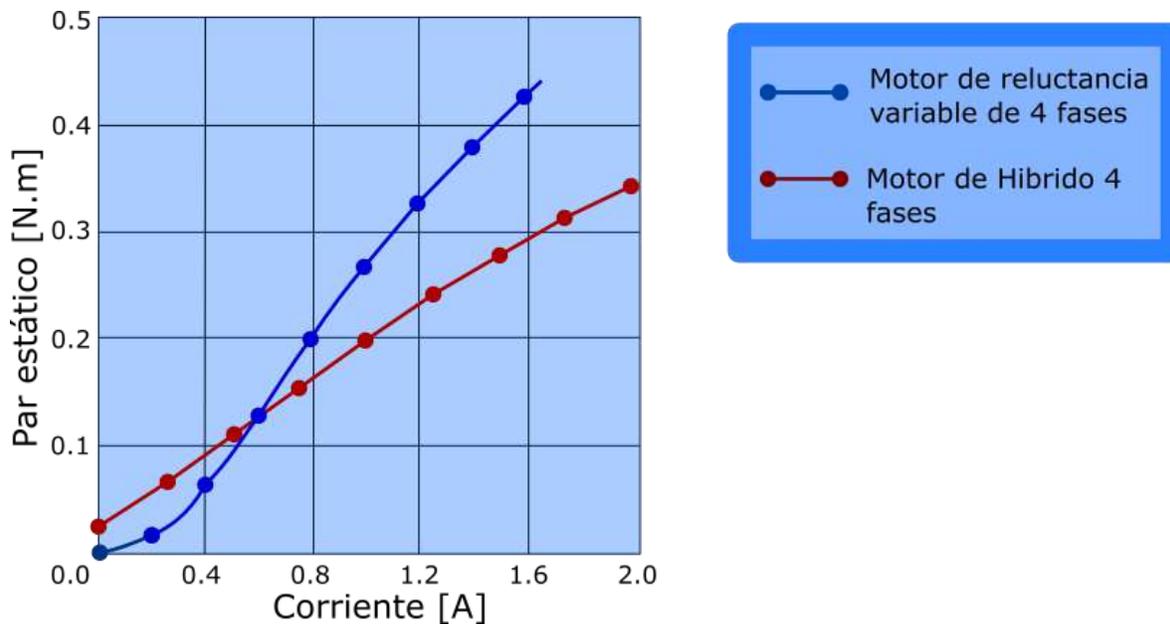


Figura 2-9. Curva característica Par estático-corriente

2.3.1.6 Características dinámicas

Son las características de comportamiento dinámico del motor las que relacionan la velocidad y el par, pudiéndose derivar de éstas el arranque, el paro, y la aceleración.

Las condiciones de trabajo, las necesidades de velocidad y aceleración condicionan la elección del motor que debe cumplir con los requisitos de par/velocidad necesarios. Para llevar a cabo la elección, se deben tener en cuenta las curvas de par/velocidad que proporciona el fabricante. Éstas están formadas por dos curvas características; la primera denominada "pull in" indica el par de arranque o paro sin pérdida de pasos en función de la velocidad de arranque o paro, con el motor en estado de reposo, la segunda "pull out" indica el par máximo de trabajo cuando el motor se encuentra en funcionamiento. Entre la curva de "pull in" y la de "pull out" se obtiene el área de aceleración/desaceleración que se conoce como campo de giro o zona de arrastre. (Kenjo, 1984)

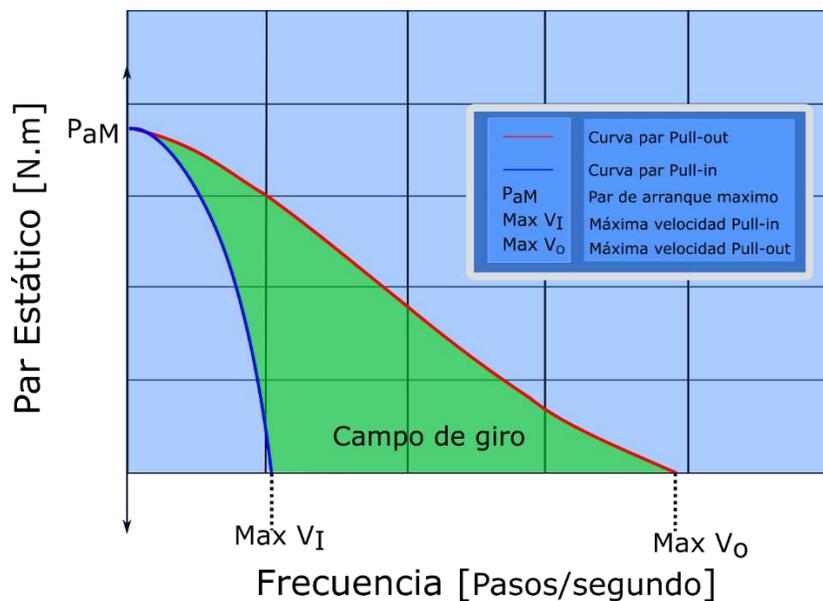


Figura 2-10. Curva Par estático Frecuencia

2.3.1.7 Motores paso a paso bipolares y unipolares

El motor más ampliamente extendido y utilizado en la mayoría de las aplicaciones es el motor híbrido de dos fases. Éste se puede encontrar con diferentes combinaciones en los bobinados de excitación, para diferentes tipos de alimentación.

-Motor bipolar: tiene dos bobinados, correspondiendo cada uno de ellos a una fase. Dispone de cuatro hilos, dos para cada bobinado. El control se realiza forzosamente de forma bipolar, normalmente mediante un puente h.

-Motor unipolar: el bobinado por cada fase es doble, unido en el interior y puesto en serie entrega 6 hilos, agrupados de tres en tres para cada fase (uno de estos es el punto común). Los motores paso a paso unipolares se llaman así porque en cada bobina la corriente siempre circula en la misma dirección, por lo que se utiliza normalmente un control por tensión constante. Al no

necesitar invertir la dirección de corriente, son más baratos de fabricar los drivers; aunque se puede realizar un control bipolar serie dejando el hilo central al aire. (2018)

El par de un motor paso a paso es proporcional a la intensidad del campo magnético generado por los devanados del estator. Solo puede aumentarse si se añaden más espiras en el bobinado o se aumenta la corriente por cada fase. El límite en el aumento de la corriente es el peligro que supone llegar a saturar el núcleo, aunque esto tiene una importancia mínima. Lo que resulta más grave es el aumento de la temperatura del motor debido a las pérdidas en los bobinados. Esto pone al motor unipolar en una clara desventaja sobre el bipolar, ya que este tiene una resistencia el doble que el otro, debido a que la sección del hilo es aproximadamente la mitad por las limitaciones físicas de la cavidad del estator que aloja los bobinados.

En el motor bipolar la corriente por el bobinado puede aumentarse en un factor ($\sqrt{2}$), lo cual tiene un efecto directo sobre el par. Gracias a su menor pérdida de potencia, los motores bipolares proporcionan aproximadamente un 40% más de par que los motores monopoles (Figura 2-11), construidos en una carcasa del mismo tamaño. En igualdad de par un motor bipolar se puede reducir en tamaño. (Kenjo, 1984)

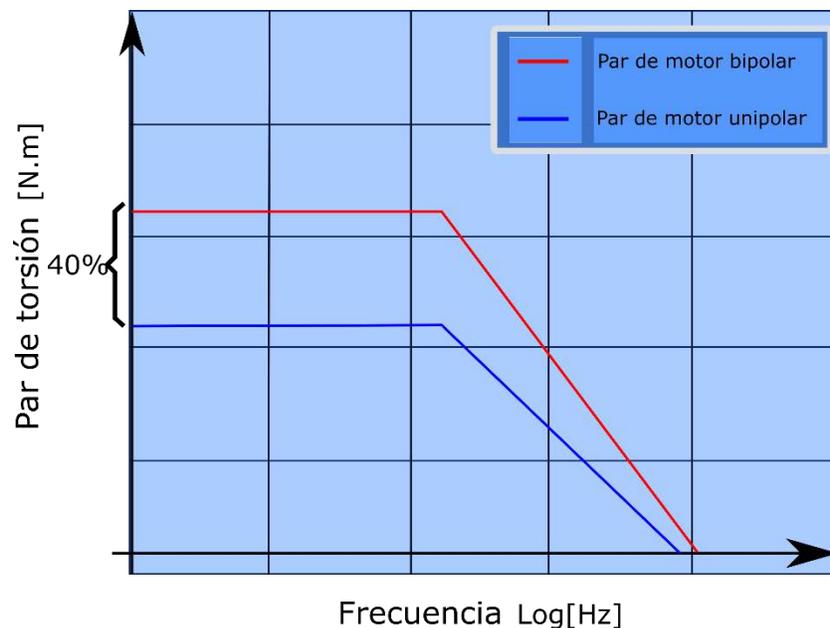


Figura 2-11. Curva Par de torsión- Frecuencia para motor unipolar y bipolar

2.3.1.8 Elección del motor paso a paso

Uno de los requerimientos del proyecto es que tuviera motores paso a paso y que fuera portable. Estos motores se caracterizan por ser más precisos, más pesados, y de menor torque en comparación con un servomotor de un tamaño similar.

Utilizarlos en las articulaciones, supondría aumentar el tamaño del brazo dejando la premisa de portabilidad. Por esta razón se los utilizó como actuadores de cintura y movimiento del plato, donde estos se encuentran estáticos en la base del dispositivo.

Para este proyecto se utilizó un motor paso a paso (MPaP) híbrido unipolar Khm42jm2b140 debido al lugar en la configuración del brazo y la cantidad pasos. Se conectaron sus bobinas en serie como un motor bipolar para así obtener un mayor torque. Para su control se utilizó un puente h, típicamente utilizado en motores bipolares que se detallara en una sección posterior ([Puentes H](#)). Estos motores fueron recuperados del desarme de fotocopiadoras.

Las características de este motor:

Par de mantenimiento= 336 mN.m=3.4KgF.cm.

Par estático= 14.7 mN.m= 0.15KgF.cm.

V= 5.16 V.

I= 1.2 A/Phase.

Resistencia del alambre= 4.6 Ohm /Phase.

Pull-In= 1000 Pps (Max velocidad Pull In).

Pull-out= 10000 Pps (Max velocidad Pull Out).



Figura 2-12. Motor paso a paso KH42JM2 (Japan Servo Co.)

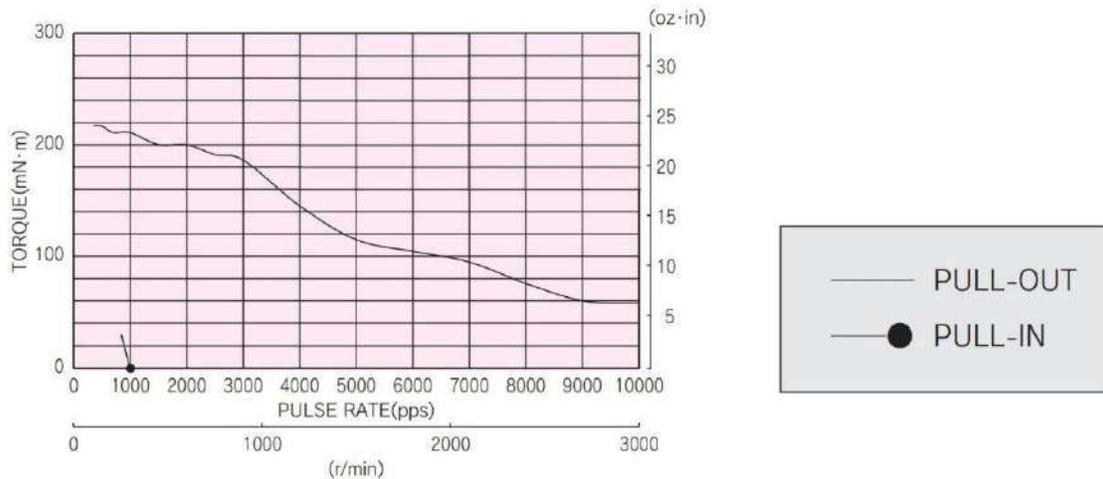


Figura 2-13. Características de torque vs pulso por segundo motor KH42JM2 (Japan Servo Co.)

Teniendo en cuenta el cálculo del par mecánico para esta articulación ([Calculo del par mecánico](#)) cumple con el torque necesario para mover el brazo, si se quisiera aumentar aún más el torque con el mismo motor, se podría utilizar un juego de engranajes reductores.

2.3.2 Servomotores

La NEMA (Asociación Nacional de Manufactureros Eléctricos de EUA) define servomotor como: “Motor electrónico que emplea retroalimentación y tiene el propósito de producir potencia mecánica para realizar el movimiento deseado de un servomecanismo”.

Los servomotores se caracterizan por ser unos motores que nos brindan un eje de rendimiento controlado. Este puede ser llevado a posiciones angulares específicas determinadas por una señal codificada a la entrada de control del servo.

El ángulo de desplazamiento angular controlado suelen estar entre los 0 y 180°.

Existe una gran variedad de servomotores, diferenciados entre sí por su constitución y forma de construcción.

Entre los tipos de servomotores más usados, podemos distinguir entre dos grandes grupos: los servomotores de uso general y los servomotores industriales.

- Servomotores de uso general o de c.c..
- Servomotores industriales o de imanes permanentes (O brushless). (González, s.f.)

2.3.2.1 SERVOMOTORES INDUSTRIALES O DE IMANES PERMANENTES

Un motor *brushless* a imán permanente es una máquina sincrónica con la frecuencia de alimentación, capaz de desarrollar altos pares en forma transitoria para oponerse a todo esfuerzo que trate de sacarla de sincronismo. La denominación *brushless* deviene del hecho de que no posee escobillas y es una forma de diferenciarlo de sus predecesores los servomotores a imán permanente alimentados con corriente continua.



En comparación con motores asíncronos la inercia de un servomotor brushless es sustancialmente menor.

Constructivamente el servomotor *brushless* tiene un estator parecido al de un motor de jaula, con un núcleo laminado y un bobinado trifásico uniformemente distribuido. El rotor está constituido por un grupo de imanes permanentes fijados en el eje de rotación. La forma de los rotores a imanes varía de acuerdo al diseño y puede clasificarse en cilíndricos o de polos salientes.

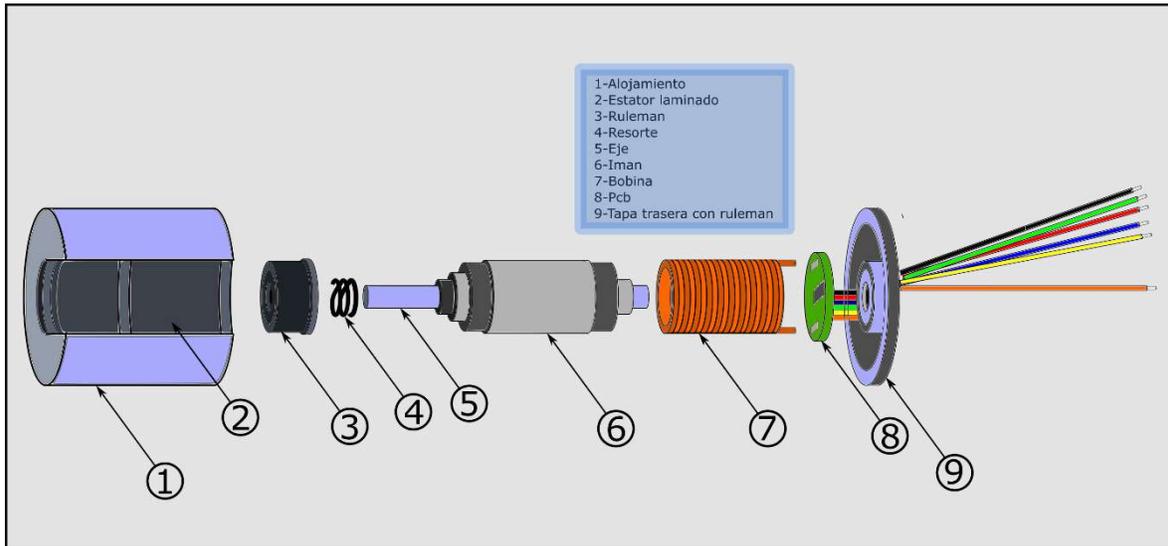


Figura 2-14. Servomotor Brushless

Para compensar la mayor cantidad de hilo en las ranuras y su mayor generación de calor, el espacio libre del bobinado se rellenan con resina conductora de calor. El rotor incorpora una serie de imanes permanentes construidos con Neodimio-Hierro-Boro que proporcionan mayor densidad de flujo, para mejor rendimiento y obtención de mejor par en menor tamaño. La posibilidad de construcción de servomotores de distintas formas (compactos, planos, rotor huevo) permite la adaptación de los mismos a diversas aplicaciones industriales. Los servomotores de estructura compacta, incorporan dentro de la misma un encoder que suministra información del estado del proceso al controlador (servodriver). Los que trabajan en posición vertical, incorporan un freno mecánico el cual bloquea el eje en caso de falta de tensión para así evitar posibles caídas de piezas en caso de avería. (CEBALLOS & MORALES, 2014)

2.3.2.2 SERVOMOTORES DE USO GENERAL O DE CC

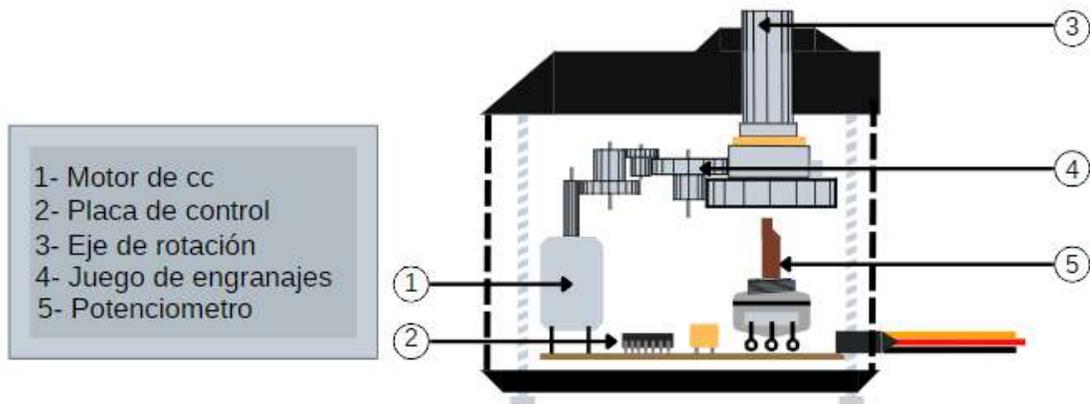


Figura 2-15. Estructura típica servomotor cc

Las partes de las que consta dicho tipo de servomotor son:

- Motor de corriente continua: Es el elemento que le brinda movilidad al servo. Cuando se aplica una tensión a sus dos terminales, este motor gira en un sentido a su velocidad máxima. Si se invierte la tensión también se invierte el sentido de giro.
- Engranajes reductores: Se encargan de convertir gran parte de la velocidad de giro del motor de corriente continua en torque
- Circuito de control: Este circuito es el encargado del control de la posición del motor. Recibe los pulsos de entrada y ubica al motor en su nueva posición dependiendo de los pulsos recibidos.
- Potenciómetro: Esta resistencia variable está conectada al eje central del motor. Permite al circuito de control, supervisar el ángulo actual del servo motor. Si el eje está en el ángulo correcto, entonces el motor está apagado. Si el circuito chequea que el ángulo no es correcto, el motor volverá a la dirección correcta, hasta llegar al ángulo que es correcto. Un servo normal no es mecánicamente capaz de retornar a su lugar, si hay un mayor peso que el sugerido por las especificaciones del fabricante.
- Eje de rotación: Es el elemento que brinda la fuerza mecánica manteniendo la posición determinada por la señal digital.

Los servomotores tienen como mínimo 3 terminales:

- Terminal positivo: Recibe la alimentación del motor (Vcc).
- Terminal negativo: Referencia tierra del motor (Masa).
- Entrada de señal: Recibe la señal de control del motor.

Los colores del cable de cada terminal varían con cada fabricante: el cable del terminal positivo siempre es rojo; el del terminal negativo puede ser marrón o negro; y el del terminal de entrada de señal suele ser de color blanco, naranja o amarillo.

Aparte de la parte física (tamaño), los servos se diferencian también por su velocidad. La velocidad esta medida por el tiempo que toma a un servo en rotar unos grados en un momento determinado. Estos grados se han estandarizado para mayor facilidad en la medición a un valor de 60 grados, valores usuales de estos son $0.12 \text{ s}/60^\circ$ y $0.24 \text{ s}/60^\circ$. (CEBALLOS & MORALES, 2014)

2.3.2.3 Control de los servomotores de uso general o de cc

La modulación por ancho de pulso, PWM (Pulse Width Modulation), consiste en generar una onda cuadrada en la que se varía el tiempo que el pulso está a nivel alto, manteniendo el mismo período. Para la generación de una onda PWM en un microcontrolador, se puede usar un timer y un comparador con interrupciones asociadas, de modo que el microcontrolador quede libre para realizar otras tareas, y la generación de la señal sea automática. El mecanismo consiste en programar el timer con el ancho del pulso y al comparador con el valor de duración del pulso a nivel alto. Cuando se produce una interrupción de overflow del timer, la subrutina de interrupción debe poner la señal PWM a nivel alto y cuando se produzca la interrupción del comparador, ésta debe poner la señal PWM a nivel bajo.

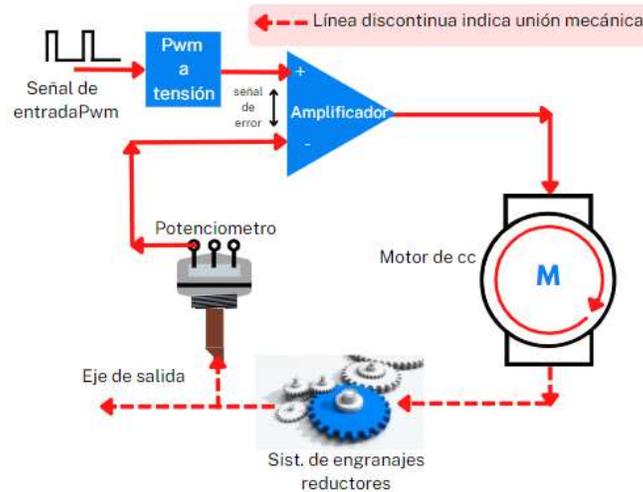


Figura 2-16. Esquema de control de un servomotor de corriente continua

El sistema de control de un servo se limita a indicar en qué posición se debe situar. Esto se lleva a cabo mediante una serie de pulsos tal que la duración del pulso indica el ángulo de giro del motor. Cada servo tiene sus márgenes de operación, que se corresponden con el ancho del pulso máximo y mínimo que el servo interpreta.

Si se sobrepasan los límites de movimiento del servo, éste comenzará a emitir un zumbido, indicando que se debe cambiar la longitud del pulso. El factor limitante es el tope del potenciómetro y los límites mecánicos constructivos. El período entre pulso y pulso (tiempo de OFF) no es crítico, e incluso puede ser distinto entre uno y otro pulso. (CEBALLOS & MORALES, 2014)

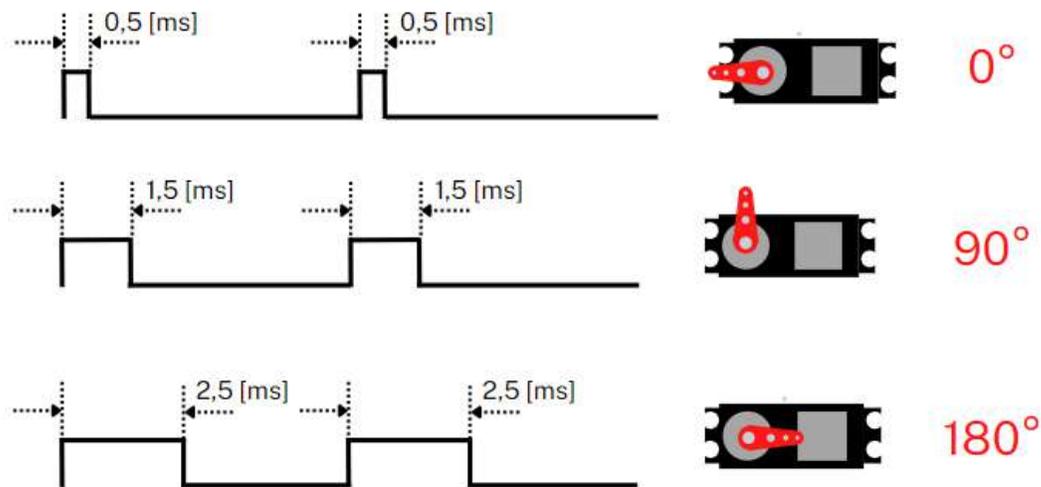


Figura 2-17. Diagrama de tiempo de distintas posiciones angulares a diferentes entradas PWM

2.3.2.4 Ventajas e inconvenientes de los servomotores

La principal ventaja de un servomotor, sobre los motores tradicionales de corriente continua o alterna, es la incorporación en los mismos, de un sistema de realimentación. Esta información puede ser utilizada para detectar un movimiento no deseado, o para garantizar la exactitud del movimiento ordenado.

En lo referente a los servomotores de uso general, contaremos con un amplio abanico de ventajas:

- Tienen un ciclo de vida más prolongado.
- Pueden generar energía en el frenado.
- La eficiencia en aplicaciones donde son exigidos.
- Altos torques.
- Bajas corrientes de arranque.
- Bajo costo de operación y mantenimiento.
- Versatilidad en tamaño y baja inercia.
- Son mucho más económicos que los servomotores tipo *Brushless*.

Como inconvenientes en este tipo de servomotores podemos enumerar los siguientes:

- Necesitan obligatoriamente de un circuito de control por PWM.
- Está limitado por el circuito de control a únicamente variar su ángulo de rotación de 0° a 180° .
- Su construcción puede ser costosa.
- No es posible cambiar las características eléctricas del motor, por tanto no se puede cambiar la velocidad del mismo. (CEBALLOS & MORALES, 2014)

2.3.2.5 Elección de los servomotores

Teniendo en cuenta los pares mecánicos para las articulaciones de muñeca codo y hombro calculados en secciones anteriores (*Calculo del par mecánico*). Se adquirieron tres servomotores FR0115m que poseían un torque de un 50% superior al calculado para el hombro, cuando se utilizó en este punto se observó que costaba realizar la tarea e incluso recalentaba. Por esta razón es que para el servomotor de la articulación hombro se utilizó un servomotor de aun mayor torque, el FR6535M. Esto es atribuido a que las características de los torques que suministran los fabricantes son torques estáticos pico y son menores cuando se encuentran en movimiento.

Finalmente los servomotores elegidos para la articulación del codo y la muñeca fueron los FR0115M cuyas características son:

- Rango de tensión: 4.8V-6 V
- Peso: 59gr
- Velocidad sin carga: 0.18sec/60°-0.16sec/60°
- Torque estático pico= 14Kg.cm-15Kg.cm.
- Rango de ancho de pulso: 500µs-2500µs.
- Angulo de trabajo: 180° ± 5°. (FR0115M , s.f.)



Figura 2-18.Servomotor Fr0115M

Y como anteriormente se mencionó el FR6535M como servomotor del hombro, cuyas características son:

- Rango de tensión: 4.8V-6 V
- Peso: 199gr
- Velocidad sin carga: 0.3sec/60°-0.27sec/60°
- Torque estático pico= 27.5Kg.cm-33Kg.cm.
- Rango de ancho de pulso: 500µs-2500µs.
- Angulo de trabajo: 180° ± 5°. (Large scale 33kg high torque servo, s.f.)



Figura 2-19. Servomotor Fr6535

2.4 Control de potencia de motores paso a paso

Representan el enlace entre las señales lógicas de control y las señales de potencia, controla la corriente que circula por los bobinados de los motores paso a paso. Éstas tienen que responder con rapidez a las excitaciones, así como proporcionar la corriente necesaria a la tensión de trabajo requerida para la alimentación. Representan los interruptores de potencia que conmutan según el control, los tipos de transistores más utilizados son bipolares, MOSFETS, IGBTs. (alciro, 2021)

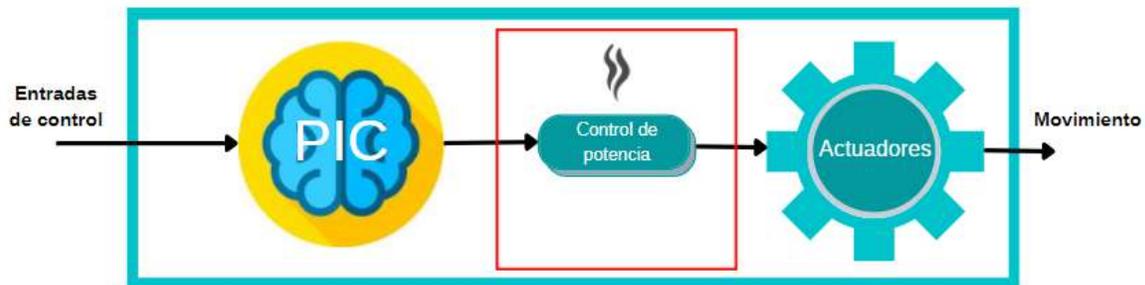


Figura 2-20. Diagrama en bloques del sistema propuesto. Control de potencia

2.4.1 Alimentación por tensión constante

La alimentación por tensión constante consiste en aplicar una tensión directamente al bobinado sobre el cual, la corriente siempre circula en el mismo sentido. El valor de ésta dependerá de la resistencia interna del bobinado para obtener el valor nominal de la intensidad. De tal forma que $V = r_i * I_n$

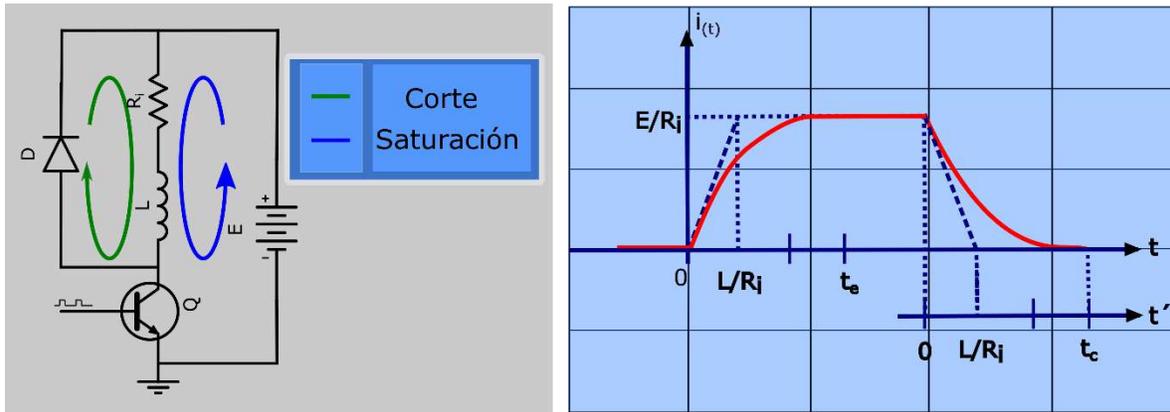


Figura 2-21. . Control de motor PaP unipolar con alimentación por tensión constante

La Figura 2-21 muestra un control unipolar de un devanado de un motor. En éste la corriente de excitación fluye de la fuente de alimentación E por el bobinado, cuando el transistor Q está en conducción. La velocidad con la que la intensidad evoluciona hacia su valor nominal depende de las características internas del bobinado. Éstas vienen establecidas por la constante de tiempo L/R . La respuesta es inversamente proporcional a la resistencia y directamente proporcional a la inductancia. En principio interesaría que la resistencia interna del bobinado del motor sea grande, pero el tener una resistencia interna elevada provoca grandes pérdidas de potencia en ésta, y en consecuencia el correspondiente calentamiento del cuerpo del motor, por lo que interesa que ésta sea lo más pequeña posible. Llegado a este punto, el único factor a determinar es la inductancia, que interesa que sea pequeña para proporcionar una transición de la corriente lo más rápida posible. Cuando el transistor Q se bloquea, el flujo de corriente se corta de la fuente de alimentación E, pero éste, que fluye por el bobinado, se cierra sobre el diodo de supresión. De igual forma que en la conducción, las constantes para el corte de la corriente dependerán de las características del bobinado (L/R_i). Si la corriente nominal por el devanado es E/R_i , y la constante de tiempo es L/R_i , la corriente de conducción por el devanado evoluciona según la expresión.

$$i(t) = \frac{E}{R_i} * (1 - e^{\frac{-t}{(L/R_i)}}$$

Para el corte.

$$i(t') = \frac{E}{R_i} * (e^{\frac{-t'}{(L/R_i)}}$$

El establecimiento o el corte de la corriente por el bobinado viene determinado por los tiempos t_c y t_e respectivamente. Éstos se consideran cuando la corriente ha adquirido el 95% de su valor nominal, de aquí que el tiempo de establecimiento y corte son:

$$t_e = t_c = 3 * \frac{L}{R_i}$$

Desde el punto de vista dinámico, un motor híbrido paso a paso da un paso por cada cambio de la corriente que se produzca en alguno de sus bobinados, de forma que en una secuencia completa, proporciona cuatro pasos. La velocidad con que la corriente cambia de sentido en los bobinados (de forma exponencial) depende de la inductancia, la resistencia del devanado y la tensión de alimentación aplicada.

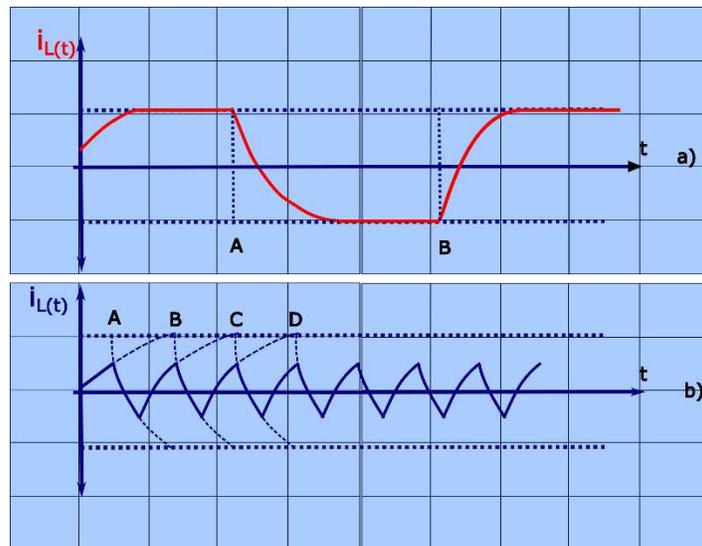


Figura 2-22. Control de un motor paso a paso

La Figura 2-22 (a) muestra que a bajas velocidades de paso, la corriente por el devanado alcanza su valor nominal, antes de que se produzca el cambio de sentido. Sin embargo si la inversión de los hilos del devanado se realiza más rápidamente, a frecuencia de pasos más elevada, la corriente no tiene tiempo de alcanzar su valor nominal, debido a la limitación del tiempo de establecimiento y corte t_e y t_c , Figura 2-22(b). En consecuencia la potencia y el par que entrega el motor disminuyen con el aumento de la razón de pasos. (alciro, 2021)

2.4.2 Control paso a paso por control de corriente constante

La adopción de un generador de corriente constante limita la intensidad por la fase, y sólo se activa en el momento que la corriente por el devanado alcanza su valor nominal. Antes de llegar a

este valor, el generador de corriente está saturado y la tensión de alimentación queda aplicada directamente al devanado.

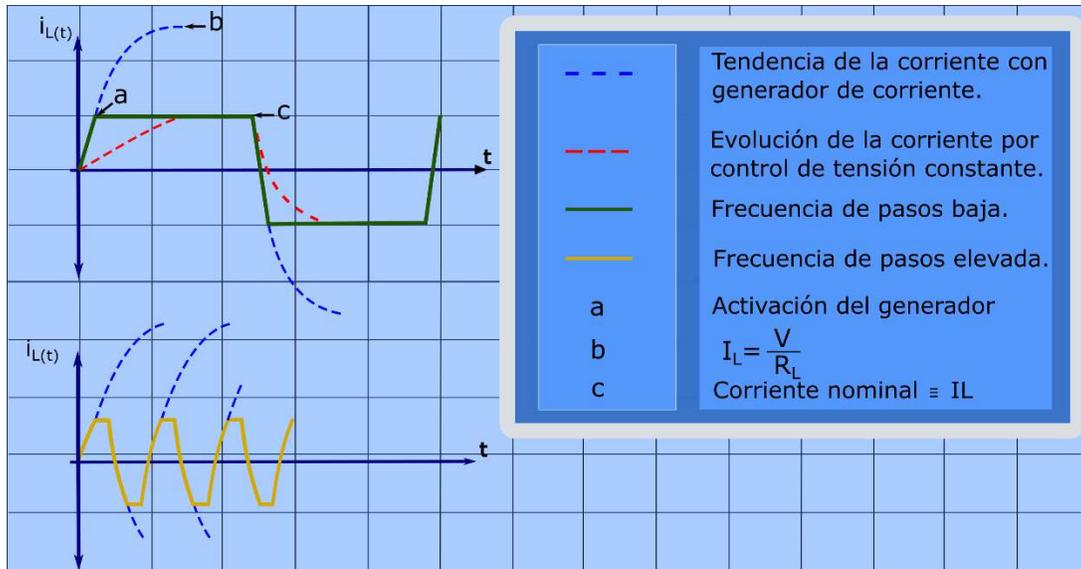


Figura 2-23. Evolución de la corriente por el bobinado

En la Figura 2-23 se puede observar que la corriente por el bobinado tiende a asumir el valor marcado por la tensión de alimentación (V/R_i), pero cuando alcanza el valor nominal I_{nom} se activa el generador de corriente, limitando el incremento en este nivel. De aquí podemos deducir que aumentando la tensión de alimentación la corriente incrementa el valor a que tiende, pero como el corte se realiza siempre al nivel de I_{nom} , el efecto es que el incremento de cero a este valor se realiza más rápidamente. También se puede observar la diferencia existente entre la evolución de la corriente con un control de tensión constante y por generador de corriente. Trabajando a altas relaciones de pasos con este sistema, la corriente logra alcanzar su valor nominal, cosa que no sucedía con el control por tensión.

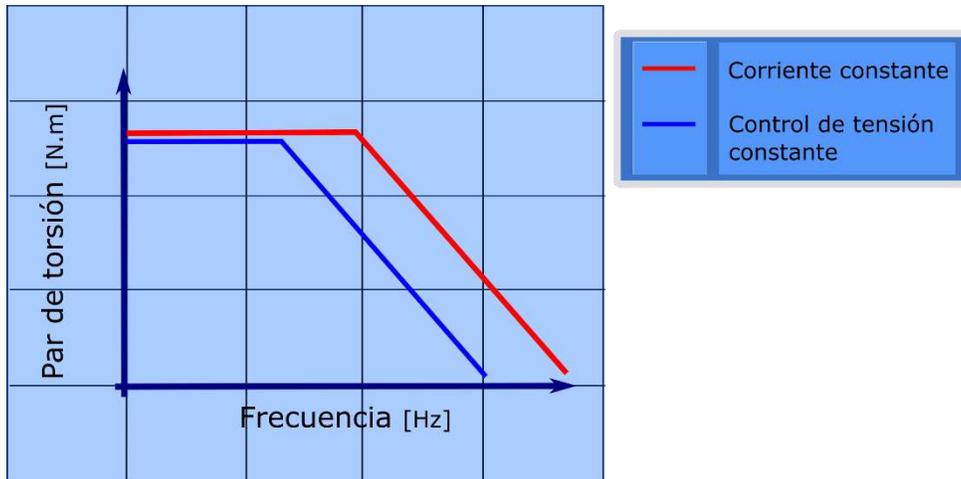


Figura 2-24. Relación entre el par de torsión y la frecuencia para distintos tipos de alimentación.

La mejora en el flujo de la corriente trabajando a altas velocidades proporciona una mayor potencia del motor, y en consecuencia un aumento del par disponible a esta relación de pasos, que es donde normalmente es más necesario. (alciro, 2021)

2.4.3 Puentes H

Internamente un puente-H es una formación de 4 transistores, conectados entre Vcc y GND, con la carga a alimentar entre ellos. Dibujado en esquema el conjunto tiene forma de "H", de la que recibe su nombre su nombre.

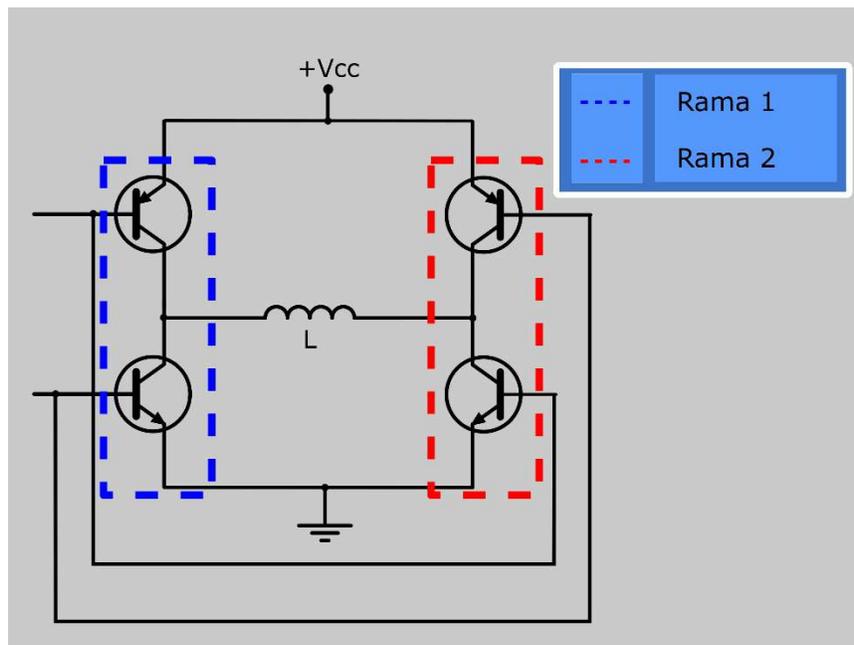


Figura 2-25. Diagrama de un puente h con transistores – Ramas.

Actuando sobre los 4 transistores, activando aquellos que se encuentran opuestos en diagonal de cada rama, de esta forma podemos controlar el sentido en el que la corriente atraviesa la carga. Es importante destacar que este es un controlador de tensión, que permite controlar el sentido de la corriente pero no limita a la misma. Normalmente es utilizado en motores bipolares. (*Motores paso a paso bipolares y unipolares*)

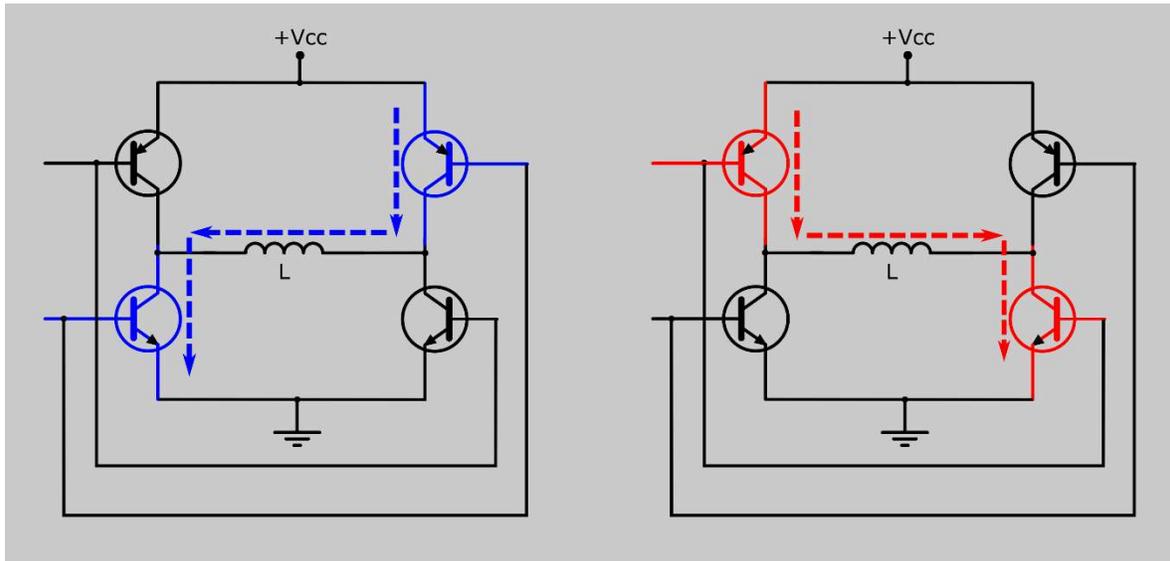


Figura 2-26. Circulación de corrientes en el puente H

Los motores tienen que tener cuatro terminales para operar según el esquema de la Figura 2-27, los motores con un número de hilos diferentes a cuatro, se pueden utilizar si son de dos fases y admiten el control bipolar. En el driver en puente se debe tener especial cuidado en la activación de los transistores de potencia, ya que éstos pueden resultar dañados; esto puede ocurrir si los dos transistores que se encuentran en la misma rama son activados al mismo tiempo. Cuando un transistor es desconectado, se debe dar un margen de tiempo antes de que el otro transistor se active, ya que ambos transistores podrían entrar en cortocircuito. Esto se debe a que normalmente el tiempo de desconexión es mayor que el tiempo de activación, si un transistor se conecta y el otro se desconecta al mismo tiempo, se produce un cortocircuito. Se debe tomar las correspondientes medidas de seguridad para que esto no suceda.

Los diodos conectados en paralelo a los transistores son para suprimir el pico de tensión que se produce cuando el transistor se desactiva. Si Q2 y Q3 están conduciendo, la corriente sigue el camino que muestra la línea continua de la Figura 2-27. Justo después de que los transistores Q2 y Q3 se bloqueen, la corriente por el bobinado se cerrará circulando por D1 y D4 sobre la fuente de alimentación. En términos energéticos, la energía magnética presente en el bobinado es realimentada hacia la fuente de alimentación.

En los motores híbridos, el driver bipolar da unos excelentes resultados por la siguiente razón, todos los bobinados se encuentran siempre excitados, pudiéndose obtener un incremento en el par de un 20 a un 35%, en comparación con el driver unipolar. (alciro, 2021).

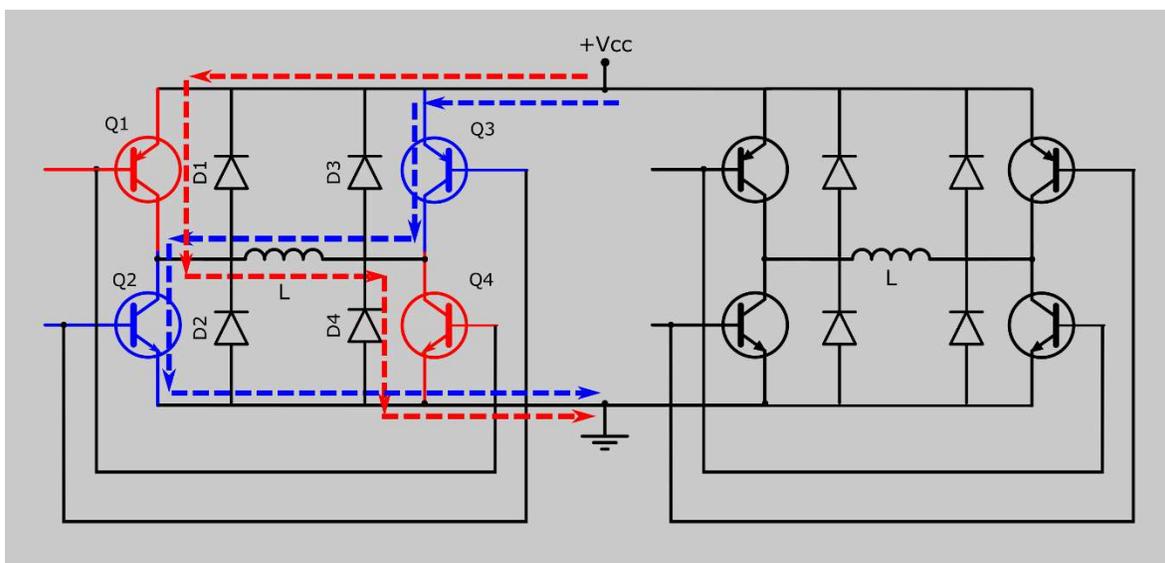


Figura 2-27. Circulación de corrientes por el puente h doble con diodos de protección.

2.4.4 Elección del puente H

Para controlar los motores paso a paso en configuración bipolar se utilizaron puentes h, que aprovecha las ventajas de este arreglo, frente a la configuración unipolar. ([Motores paso a paso bipolares y unipolares](#))

Se construyeron dos puentes H iguales con transistores bipolares de juntura para controlar cada motor.

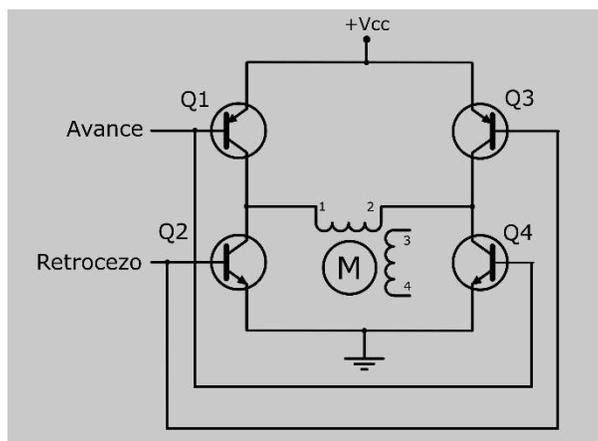


Figura 2-28. Circuito puente h genérico

También se podrían haber utilizado mosfet's de nivel lógico, por recomendación de la cátedra con fines educativos es que se utilizaron los transistores bipolares de juntura.

El puente H acondiciona la circulación de corriente a través de los motores. Se fijó una corriente $I_L=0,85A$, que circula por los motores, y una tensión de trabajo de $6v$, de manera de utilizar solo una fuente de tensión debido a que los servomotores elegidos trabajan con esa tensión máxima.

Como se detalló en la sección anterior, este tipo de controlador mantiene excitado siempre sus bobinados, obteniendo un aumento con respecto al controlador unipolar.

La configuración del puente H básica es a partir de 4 transistores, pudiendo ser estos bipolares o mosfet's típicamente. Debido a que los transistores deben funcionar en corte y saturación y para no sobrecargar directamente la salida del microprocesador se decidió utilizar la configuración propuesta, donde el agregado de dos transistores más ayuda a controlar la I_B de los transistores por los cuales circula I_L a partir de una corriente menor.

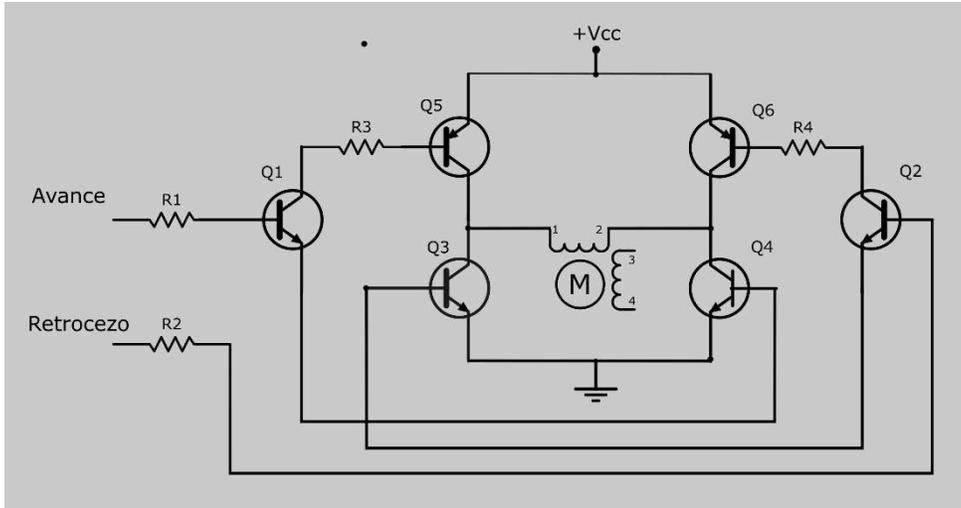


Figura 2-29. Circuito puente H elegido.

Siendo 1,2A la corriente máxima del motor se tomó como precaución fuera como máximo el 70% de la misma para los cálculos de los componentes.

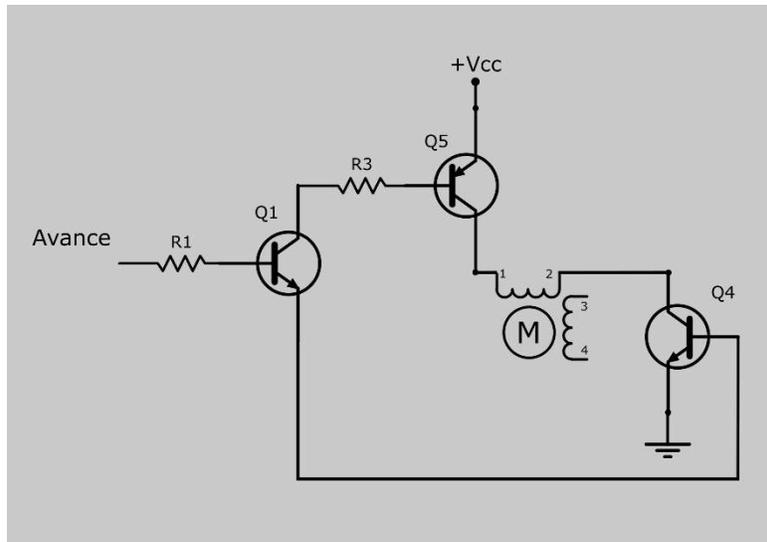


Figura 2-30. Circuito puente H transistores activos en un ciclo

Navigation controls including a vertical scrollbar and a page number indicator.

Se calculó las resistencias teniendo en cuenta que mientras una rama está habilitada la otra no

$$I_{C_5} = I_L = \beta_5 * I_{B_5}$$

Con $\beta_5=100$ e $I_L=0,85A$

$$I_{B_5} = I_L / \beta_5 = 0.85A / 100 = 8.5mA$$

$$V_{CC} - V_{EB_5} - I_{B_5} * R_3 - V_{CE_1} - V_{BE_4} = 0$$

$$R_3 = V_{CC} - V_{EB_5} - V_{CE_1} - V_{BE_4} / I_{B_5}$$

Para la elección de los transistores se tuvo en cuenta la corriente I_L y que soporte los 1,2A. Se eligieron el 2SB892 y su complementario 2SD1207, utilizados en conmutación. Sus características son $I_C=2A$ $V_{ce}=60V$ $V_{be_{SAT}}=0,9V$ $V_{ce_{SAT}}=0,15V$. El otro par de transistores utilizados son el BC337 con $I_C=0,8A$ $V_{ce}=45V$

Como los transistores están trabajando como llaves, desprecio la tensión V_{CE_1}

$$R_3 = V_{CC} - V_{EB_5} - V_{BE_4} / I_{B_5} = 6 - 0,9 - 0,9 / 8,5 [V/A]$$

$$R_3 = 494 \Omega$$

Luego

$$I_{C_1} = \beta_1 * I_{B_1}$$

Con $\beta_1=100$ e $I_L=8,5mA$

$$I_{B_1} = I_{C_1} / \beta_1 = 8,5mA / 100 = 85\mu A$$

$$V_a - I_{B_1} * R_1 - V_{BE_1} - V_{BE_4} = 0$$

$$R_1 = V_a - V_{BE_1} - V_{BE_4} / I_{B_1} = 5 - 1,2 - 0,9 / 85 [V/\mu A]$$

$$R_1 = 34117 \Omega$$

Tanto en las pruebas como en la simulación se ajustaron los valores de las resistencias por valores comerciales y aquellos que aseguraban la $I_L = 0,85A$.

$$R_3 = 820 \Omega$$

$$R_1 = 33K\Omega$$

Al ser las dos ramas del puente H simétricas

$$R_4 = 820 \Omega$$

$$R_2 = 33K\Omega$$

Uno de los métodos para proteger de la sobretensión sobre los transistores, es la utilización de un diodo en paralelo al transistor, entre colector y emisor, con polaridad tal como muestra la Figura 2-31 Circuito puente H con diodos de protección. De esta manera, la circulación de la corriente fluye por el diodo cuando el transistor es desactivado, y la corriente decae en este momento.



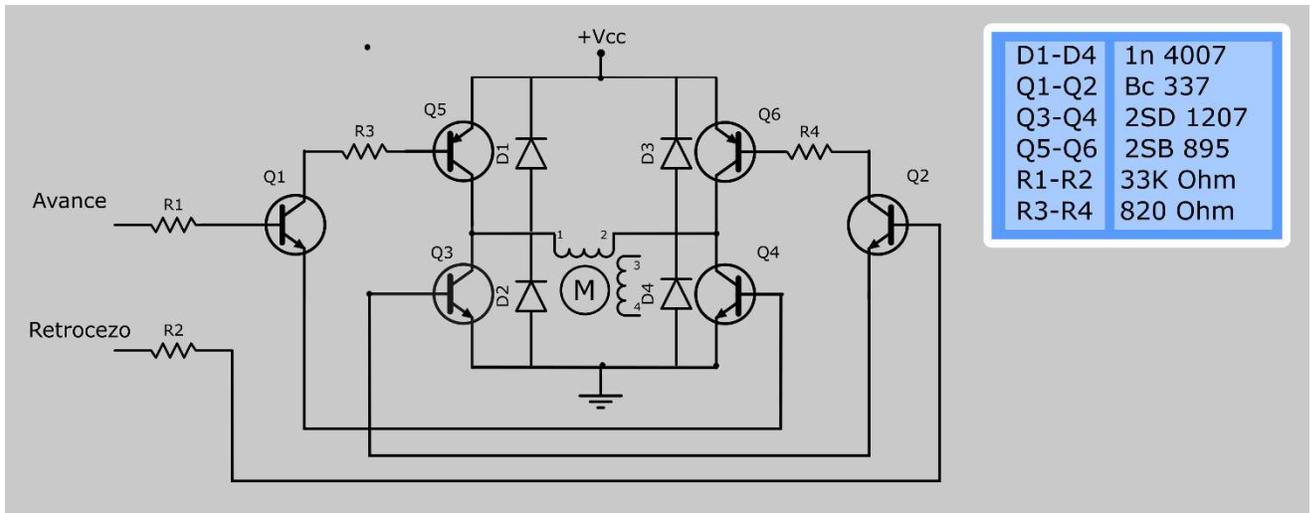


Figura 2-31 Circuito puente H con diodos de protección.

2.5 Adquisición y procesamiento de la señal

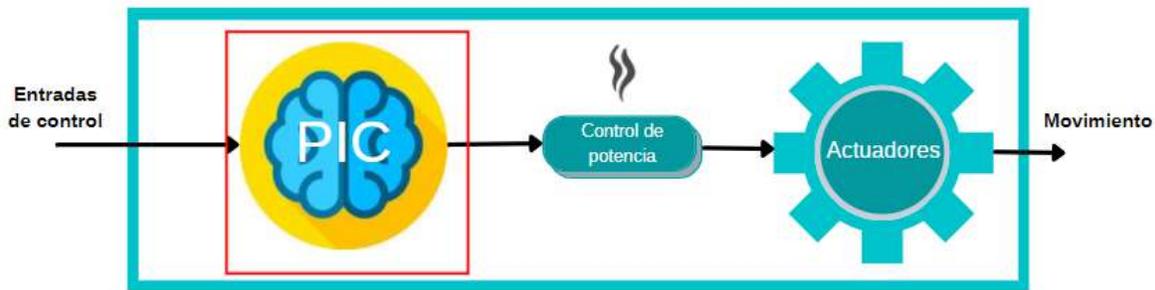


Figura 2-32. Diagrama en bloques del sistema propuesto. Procesamiento

A partir de la interpretación de las variables de entrada, el microcontrolador se encarga de generar las señales de control para cada uno de los actuadores. Como se detalló en apartados anteriores cada actuador tiene un tipo de señal particular para su control. La generación de estas se detallan en las siguientes secciones.

Entre las marcas más conocidas de microcontroladores se encuentra Microchip. Se decidió utilizar esta opción ya que una de las grandes ventajas de sus modelos, se encontró que existe a disposición del desarrollador una gran cantidad de información y herramientas de diseño. Además los microcontroladores Microchip están más impuestos en el mercado y se encuentra mayor disponibilidad de estos, lo que facilita su adquisición.

Esta elección se basa en que cumple con todos los requisitos para esta etapa y además, por ser un PIC muy utilizado en el Laboratorio de Comunicaciones (LAC), se dispone de todas las herramientas necesarias para su programación (software y programador). Además es un microcontrolador que aparece comúnmente como opción en el mercado local.

Para el desarrollo se eligió el Pic18f25550, algunas de las características más importantes de este son:

- Voltaje de alimentación: 4,2V ~ 5,5V.
- Pines: 28.
- Memoria tipo FLASH.
- 32 Kbyte de memoria de programa.
- 2048 Bytes de memoria RAM.
- 256 Bytes de memoria EEPROM.
- Interfaz USB 2.0 de alta velocidad 12Mbit/s.
- Velocidad de CPU de hasta 12MIPS (con cristal externo de 4Mhz).
- Oscilador interno programable de 32KHz a 8MHz.
- Puertos de comunicación UART/USART, SPI, I2C.
- Periféricos de Captura/Comparación/PWM.
- Temporizadores de 16-bits, 1 temporizador de 8-bits.
- 10 canales ADC de 10 bits.
- Comparadores Analógicos.
- Temporizadores.

En la Figura 2-33.Arquitectura interna del PIC18f2550 se muestra la arquitectura interna del microcontrolador PIC18F2550. (Microchip, Technology Incorporated, 2009)

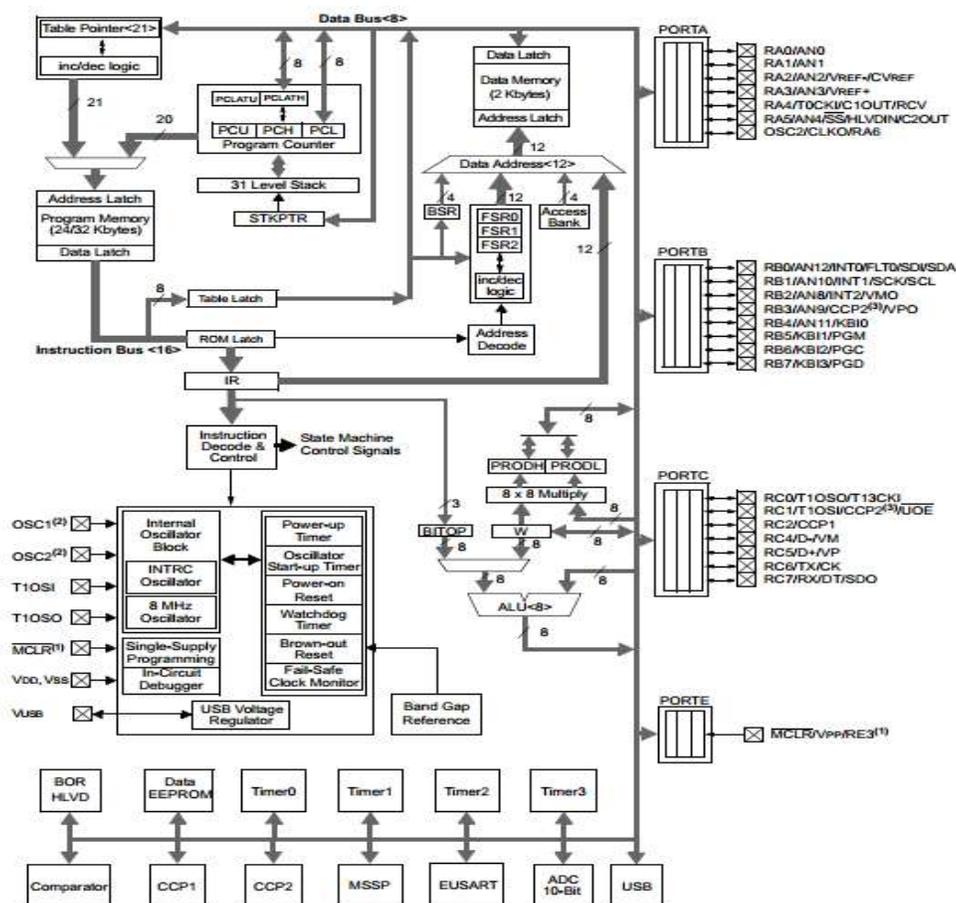


Figura 2-33.Arquitectura interna del PIC18f2550

Para controlar los servomotores y motores paso a paso se generó el código sin la utilización de librerías, con el fin de comprender mejor las etapas de control, debido a que las mismas no se encontraron disponibles.

A continuación se realiza un análisis más detallado de las etapas más importantes del microcontrolador individualmente y la función que realiza cada una de ellas. De esta forma, podemos subdividir las tareas en las siguientes:

- Señal de control de los actuadores
- Entradas de control

2.5.1. Señal de control de los actuadores

Para generar las señales de los actuadores se utilizó interrupciones y el timer interno del microprocesador (TIMER0). De esta manera se puede generar un pulso de PWM (*Pulse Width Modulation*) y que el microcontrolador quede libre mientras tanto para realizar otras acciones, siendo la generación de la señal automática y más efectiva.

A los cinco actuadores (tres servomotores y dos Mpap) se les otorgó un tiempo para que actualicen cada uno sus valores durante estas interrupciones.

Las interrupciones fueron programadas para que se realicen con el menor tiempo posible en modo de 16 bits, con el clock interno y con el pre-escaler en 1, para realizar la actualización de los valores de salida de cada motor.

```
OpenTimer0(TIMER_INT_ON & TO_16BIT & TO_SOURCE_INT & TO_PS_1_1);
```

La cual genera un periodo de interrupción de

$$\begin{aligned} T_{INTERUP} &= 4/f_{osc} \times Prescaler \times 2^{16} \\ &= 1.10^{-6} \times 1 \times 2^{16} \\ &= 0.065536 \text{ s} \end{aligned}$$

Las señales de control de los servomotores varían entre los 500 µseg y los 2100µseg en un periodo de 20mseg, que es entre el 2,5 % y el 10,5% del ciclo de trabajo. Para aprovechar esto es que se divide el tiempo en ranuras. Los 20mseg se dividen por la cantidad de actuadores, que en nuestro caso son cinco, considerando servos y paso a paso, dando a cada uno un tiempo de 4ms.

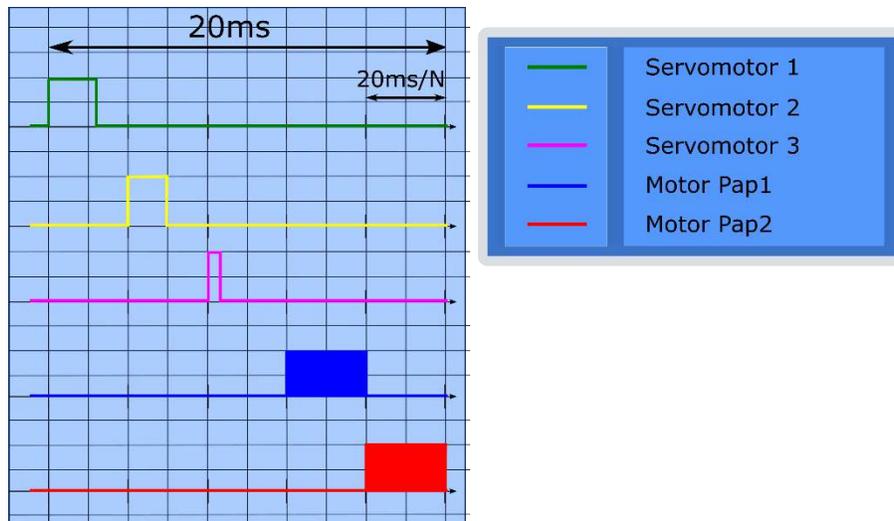


Figura 2-34. Ranuras de los actuadores

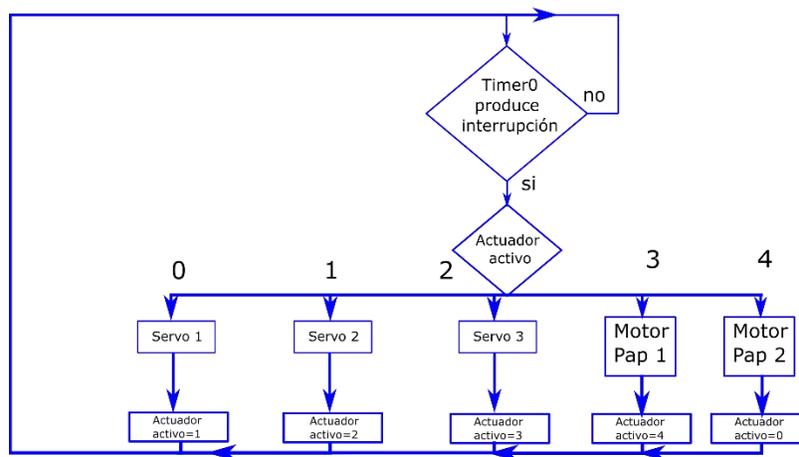


Figura 2-35. Diagrama de flujo de los actuadores

Como se vio en secciones anteriores cada uno de los motores tienen su particularidad en su señal de control, su generación se detalla a continuación.

2.5.1.1 Señal de control de los servomotores

Para la generación de estas el mecanismo consiste en programar el *timer* con el ancho del pulso (el período de la señal) y al comparador con el valor de duración del pulso a nivel alto. Cuando se produce una interrupción de *overflow* del *timer*, la subrutina de interrupción debe poner la señal PWM a nivel alto y cuando se produzca la interrupción del comparador, ésta debe poner la señal PWM a nivel bajo.

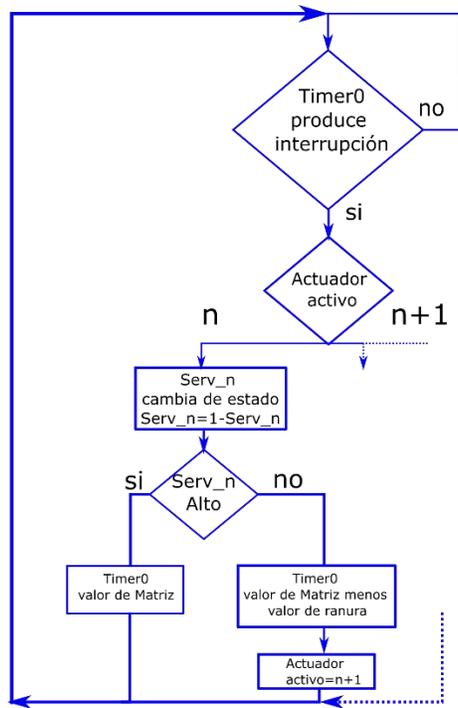


Figura 2-36. Diagrama de flujo de los actuadores servomotores

Para la generación de los valores de posición que debe tener cada servomotor se relevó el rango angular que debían recorrer a lo largo de la secuencia. Priorizando, sobre todo que el antebrazo se encontrara siempre en posición horizontal para no volcar el alimento. Por este motivo no se utilizaron las ecuaciones para el cálculo del recorrido de un punto, desde el modelo cinemático del robot.

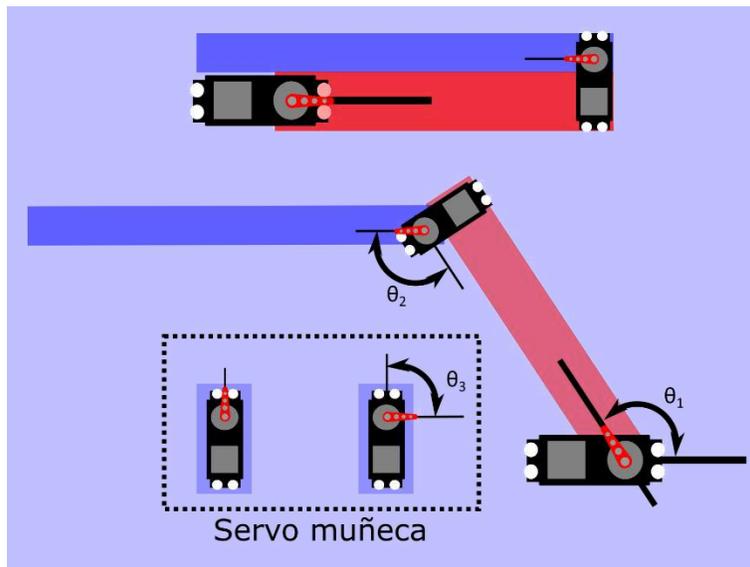


Figura 2-37. Rango de recorrido de los servos

Los valores obtenidos fueron ingresados en una matriz de tres filas. Mientras el timer y las

interrupciones se encargan de actualizar el valor de control de posición de los servomotores. En el programa principal se incrementa el índice de las columnas en la matriz cuando sube y lo disminuye cuando baja.

Debido a que el servo muñeca solo se activa cuando junta el alimento, se rellenó con valores redundantes el resto de la fila, hasta el momento que se comienza a girar.

2.5.1.2 . Señal de control de los Motores Paso a paso

Para estas señales, el mecanismo que se implementó, fue generar un vector de cuatro valores en hexadecimal. Esta palabra en hexadecimal se le asignaba a cuatro salidas en binario, que controlan ambos puentes H, durante un tiempo en estado alto o bajo según corresponda. Luego la secuencia se vuelve a repetir. Para girar en sentido contrario se recorre el vector en sentido inverso.

```

h=0;
while (h<4) {
    LATE=movhor[h];
    Delay1KTCYx(delymot);
    h++;
}

```

Donde

```
const rom unsigned char movhor[8]={0x0A , 0x06 , 0x05 , 0x09};
```

y

$$\text{Delay1KTCYx(delymot)} \equiv 1000 * \left(\frac{4}{f_{osc}}\right) * \text{delymot} = 1000 * \left(\frac{4}{4 \cdot 10^6 \text{Hz}}\right) * \text{delymot}$$

Delymot es el valor del tiempo que se mantiene a la salida. Este varía, dependiendo lo que esté haciendo el brazo, entre los valores de 20 o 400.

Cada uno de los valores de salida del micro determina una secuencia, para generar la circulación de la corriente en el par de bobinas de motor. Siendo la secuencia:

Paso	A	B	C	D	Hexadecimal
1	1	0	1	0	0X0A
2	0	1	1	0	0X06
3	0	1	0	1	0X05
4	1	0	0	1	0X09

Figura 2-38. Secuencia de excitación para los motores paso a paso



Donde los pares AB, son las salidas del micro que se conectaron respectivamente a las pines de adelanto y retroceso del puente h. Cada puente controla una de las bobinas del motor, de igual manera con el conexionado de CD para el otro bobinado del motor.

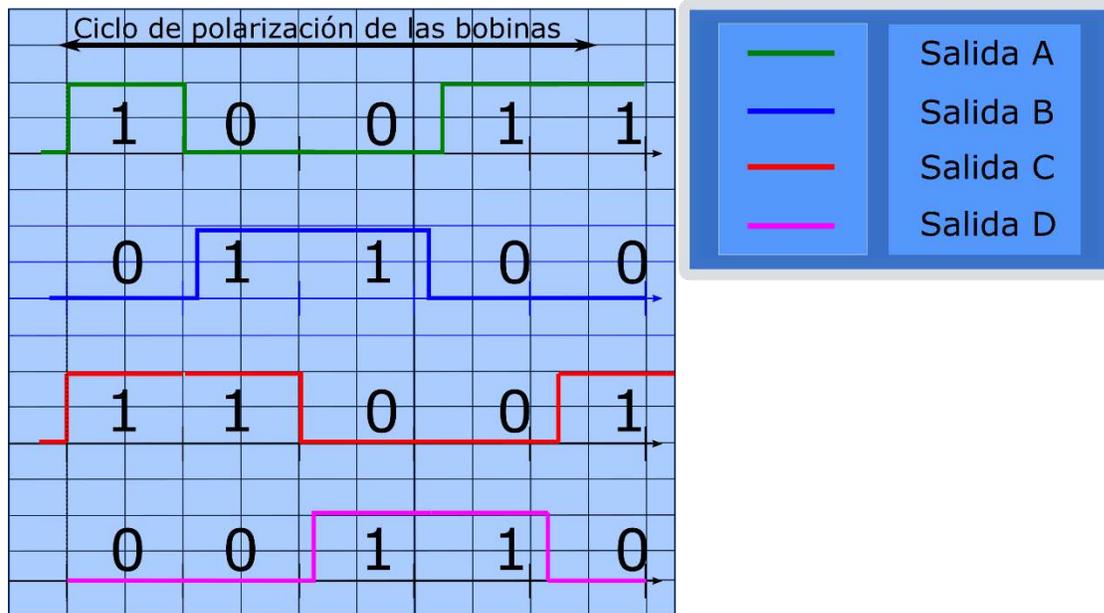


Figura 2-39. Ciclo de polarización de las bobinas

En una primera versión se habían fijado una cantidad de ciclos para que el motor paso a paso juntara el alimento. Al trabajar con alimentos de mayor densidad, el motor podía llegar a saltarse algún paso y no completar la tarea. Por esta razón se agregaron dos finales de carreras magnéticos que determinan hasta qué punto girar, tanto en un sentido como en el otro. Por esto se tuvo que rediseñar la placa principal y la programación, para que tenga en cuenta estos puertos de entrada necesarios.

Los motores paso a paso al no estar excitadas ambas bobinas el rotor queda libre. Esta es una diferencia con los servomotores, que mientras se mantenga la señal pwm, mantienen su posición aunque no tenga tensión a su entrada. Por esto es que se agregó una línea de código en cada una de las ranuras de los servomotores para fijar la posición del motor paso a paso y no gire por la fuerza generada por el movimiento de los servomotores.

Antes de las pruebas en INAREPS, el brazo se movía a una velocidad igual tanto para juntar como retirarse, las terapistas sugirieron aumentar este tiempo para disminuir la latencia de alimentación entre bocado y bocado. Por esto se implementaron dos tiempos distintos uno cuando junta, que se necesita una velocidad menor para trasladar el alimento (y que este no se vuelque), y otro más rápido luego de que el alimento se entregara.

Con respecto al motor que gira el plato se programó que lo haga solo en sentido de las agujas del reloj. De esta manera luego de juntar se evitarán acumulaciones de comida y que exista una mayor resistencia para levantar el alimento, sobre todo cuando este último es de mayor densidad.

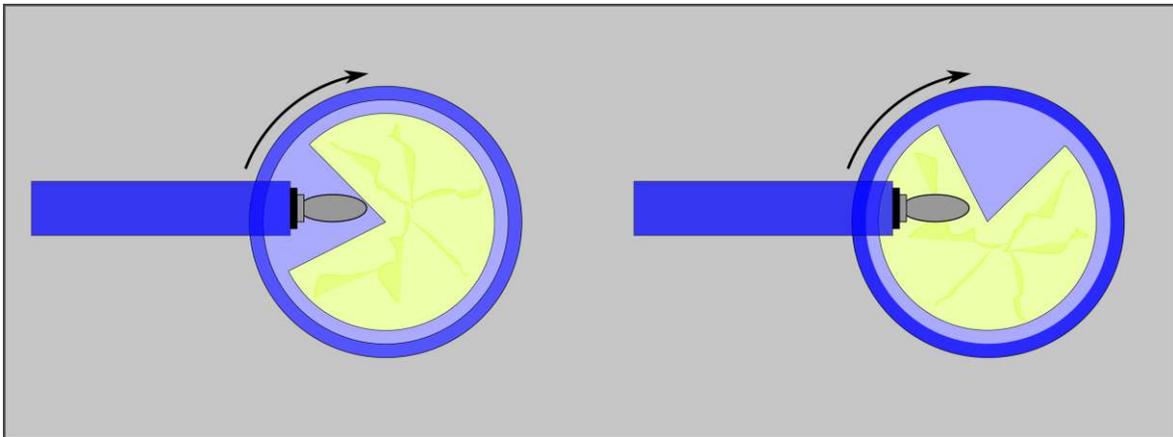


Figura 2-40. Sentido de giro del plato

2.5.2. Entradas de control

El brazo alimentador tiene un ciclo precargado como rutina. Inicia con el pulsador de inicio de secuencia, carga el alimento, se posiciona hasta la altura prefijada con el potenciómetro, entrega el alimento y regresa a su posición de espera para un nuevo ciclo. Tanto el pulsador que inicia la secuencia y el potenciómetro que define la altura final del brazo al momento de llevar la comida a la persona son las entradas de control.

El pulsador se conectó con una resistencia a la alimentación y a la entrada del microcontrolador, definida como entrada. Con un valor cero la secuencia inicia.

El potenciómetro se conecta como un divisor resistivo, dicha tensión del punto medio del potenciómetro se introduce al microcontrolador. Este realiza la conversión analógica digital de la tensión y el valor lo interpreta como una altura. Esta conversión se realiza una vez por ciclo de la rutina.

2.5.2.1 Conversión analógica digital

Un conversor analógico/digital (ADC), es un dispositivo electrónico que convierte una señal analógica en una representación digital de tiempo discreto de la misma. Existen diferentes métodos de conversión pero los más comunes son:

- **Conversión Directa o Flash:** Este tipo de conversores son los más rápidos, alcanzando frecuencias de muestreo del orden del GigaHertz, pero usualmente solo cuentan con una resolución de 8 bits o menor. Esto se debe a que, producto de su arquitectura, la cantidad de comparadores necesarios sigue una ley $2^{(N-1)}$ (con N igual al número de bits del conversor), lo cual por cada bit adicional implica duplicar la estructura previa, derivando en la necesidad de un circuito grande y costoso.
- **Aproximaciones sucesivas:** Su funcionamiento se basa en una búsqueda dicotómica del valor presente en la entrada, con respecto al valor proporcionado por un conversor interno. Es el más comúnmente empleado, debido a su bajo costo respecto a las prestaciones que ofrece. Permite trabajar con una resolución mayor, aunque su principal desventaja es el tiempo relativamente elevado de conversión.

- Rampa: Posee el circuito más simple de todos los conversores A/D. Sin embargo, esto conlleva a desventajas como una velocidad de conversión baja y a su vez variable según el valor a convertir.
- Sigma-Delta: Son capaces de proveer resoluciones muy altas, aunque a velocidades bajas debido al sobremuestreo utilizado en su operación. Otra ventaja de este tipo de conversores es que el requerimiento sobre el filtro antialiasing es muy bajo.

El módulo con el que cuenta el PIC propuesto para este trabajo consiste en un conversor de diez u ocho bits y emplea el método de aproximaciones sucesivas. Este módulo tiene la propiedad de permitir establecer en forma individual la duración de los tiempos de muestreo y de conversión, así como también la forma de control de los mismos entre una variedad de opciones.

El tiempo de muestreo es el que define el período durante el cual el condensador de muestreo se encuentra conectado a la señal de entrada. Este debe ser mayor a un valor mínimo establecido por el fabricante para asegurar un correcto funcionamiento, el cual en este caso es de aproximadamente 800 ns. Al mismo tiempo, debe mantenerse lo más pequeño posible de forma tal de minimizar el efecto de apertura producido por el sistema de muestreo y retención.

Luego de terminado el proceso de muestreo, el condensador de muestreo se desconecta de la entrada y se conecta a la entrada del conversor. Este transforma el nivel de tensión almacenado en el condensador en una palabra digital equivalente. El tiempo para realizar esta tarea es dependiente de la cantidad de bits a convertir y de la frecuencia de operación del ADC (número de bits multiplicado por el período del reloj del ADC).

Teniendo en cuenta que la señal que proviene del potenciómetro es prácticamente una tensión continua constante, por lo sus requerimientos de muestreo no son muy exigentes. El conversor se configuró con la frecuencia de oscilación en modo derivado del oscilador rc ($\text{Max } F_{\text{osc}}=1\text{MHz}$), con un tiempo de adquisición de $2T_{\text{ad}}$ (según la hoja de datos para esta configuración del oscilador el $T_{\text{ad}}=2,5\mu\text{s}$), con una justificación de formato derecha (modo 10 bits), con referencia de V_{dd} y V_{ss} .

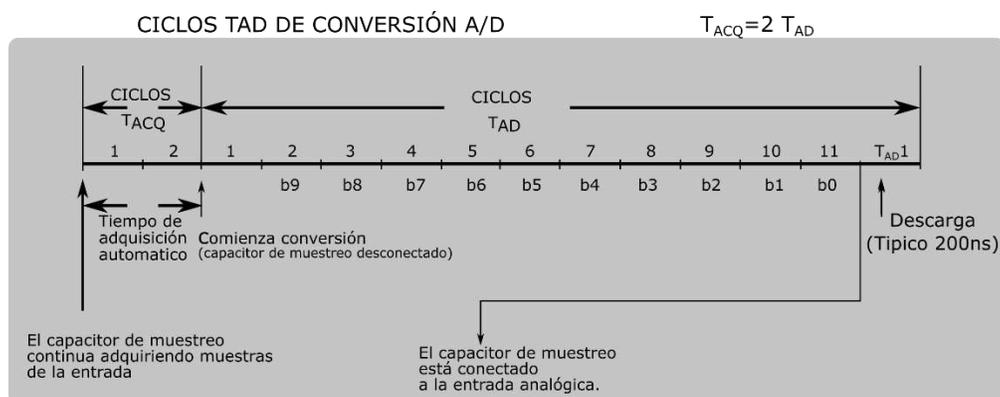


Figura 2-41. Ciclos TAD de conversión analógico-digital.

Capítulo 3

3 Desarrollo y construcción del equipo

En este capítulo se describe el desarrollo y la construcción de las placas necesarias para la realización del prototipo. Los circuitos impresos se diseñaron utilizando un programa de diseño que permite construir circuitos impresos de forma intuitiva y dinámica. Como también la construcción de las piezas del brazo como el ensamblado del dispositivo.

3.1 Adquisición y procesamiento de la señal

Tal como se describió previamente, el encargado de realizar el procesamiento de las señales del dispositivo de medición es el PIC 18F2550, fabricado por la compañía Microchip.

En la Figura 3.1 se muestra la disposición de los pines del circuito integrado utilizado.

28-Pin PDIP, SOIC

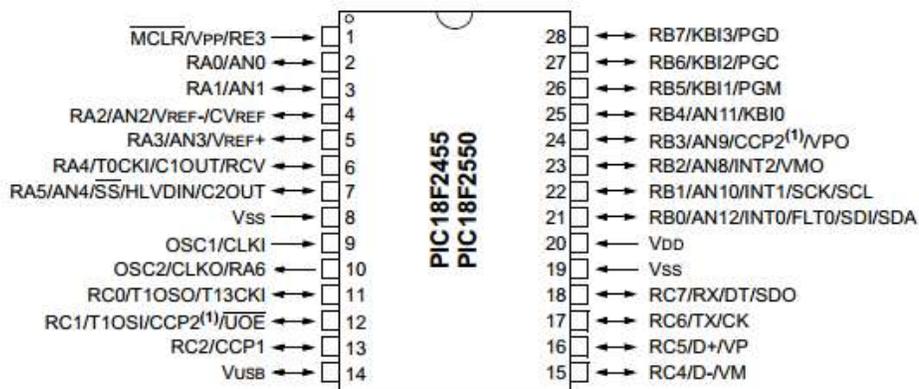


Figura 3-1. Diagrama de pines del PIC18F2550

En este proyecto, cada pin se configuró de manera específica, de modo de establecer una función particular para cada uno de ellos de acuerdo a las necesidades planteadas. La manera en que se definió esa configuración se detalla a continuación en la Tabla 3.1.

Nro de Pin	Configuración	Referencia	Nro de Pin	Configuración	Referencia
1	Master Clear	P8-1	15	Poste	P10-1
2	Poste	P14-1	16	Poste	P10-2
3	Poste	P4-1	17	Poste	P12-1
4	Poste	P5-1	18	Poste	P13-1
5	Poste	P5-2	19	Vss	
6	Poste	P5-3	20	Vdd	
7	Poste	P5-4	21	Poste	P6-1
8	Vss		22	Poste	P6-2
9	Osc1		23	Poste	P6-3
10	Osc2		24	Poste	P6-4
11	Poste	P9-1	25	Poste	P7-1
12	Poste	P11-1	26	Poste	P7-2
13	Poste	P11-2	27	PGC y Poste	P8-4
14	NC		28	PGD y Poste	P8-3

Tabla 3-1. Configuración establecida de pines del PIC18F2550

El pin 1 es el llamado Master Clear. Permite reiniciar el dispositivo, depurar y programar el mismo. Se utilizó en el mismo la configuración propuesta en la hoja de datos del PIC.

Los contactos 8 y 19 fueron soldados al plano de masa, y el 20 a Vcc (5 Volts).

El oscilador usado es de tipo externo (cristal de 4MHz) y se conectó entre los pines 9 y 10. Luego cada uno de estos pines fue conectado a masa a través de condensadores de 22pF para su correcto funcionamiento.

Los pines 27 y 28, junto con el Master Clear, permiten programar y depurar, y fueron soldados a conectores tipo postes en los cuales se puede enchufar el programador del dispositivo.

En el resto de los pines del PIC18F2550 se colocó conectores tipo postes para poder realizar la conexión de los módulos de hardware adicional.

En la Figura 3-2 se muestra un diagrama esquemático de las conexiones realizadas para el PIC18F2550:

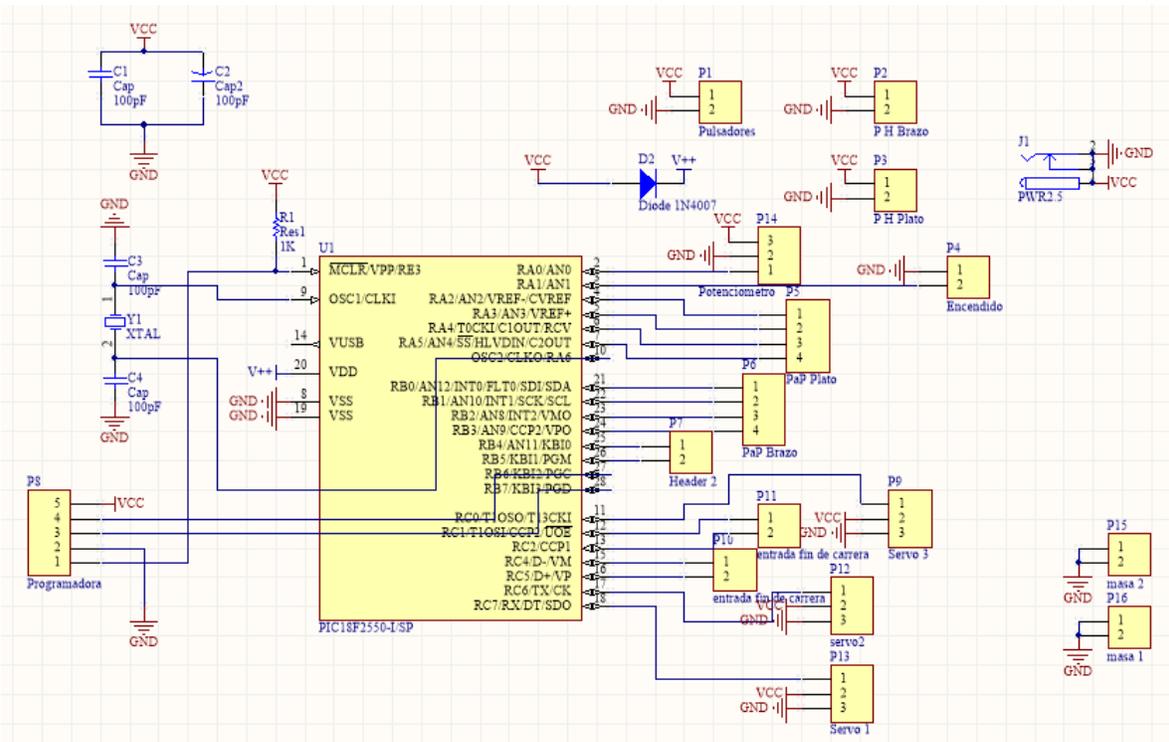


Figura 3-2. Esquemático de la placa principal con el PIC 18f2550

En la segunda versión del alimentador, no se habían tenido en cuenta los finales de carrera magnéticos. Por lo que se tuvo que modificar el brazo, la placa principal y la programación del mismo, incluyendo estos puertos de entrada. Por este motivo se agregaron también postes en la placa para la posible incorporación de algún sensor o variable y evitar tener que rediseñar la placa.

3.2 Sistema completo

En esta sección se presenta la implementación del sistema completo con todos los actuadores que intervienen tanto en el brazo como así también las controladoras de los motores paso a paso.

En la Figura 3-3, se puede observar un diagrama en bloques del sistema total con sus entradas de control, como la comunicación que existen entre ellos. En línea punteada se muestran la relación que existe entre el giro del motor MPaP de la cintura.

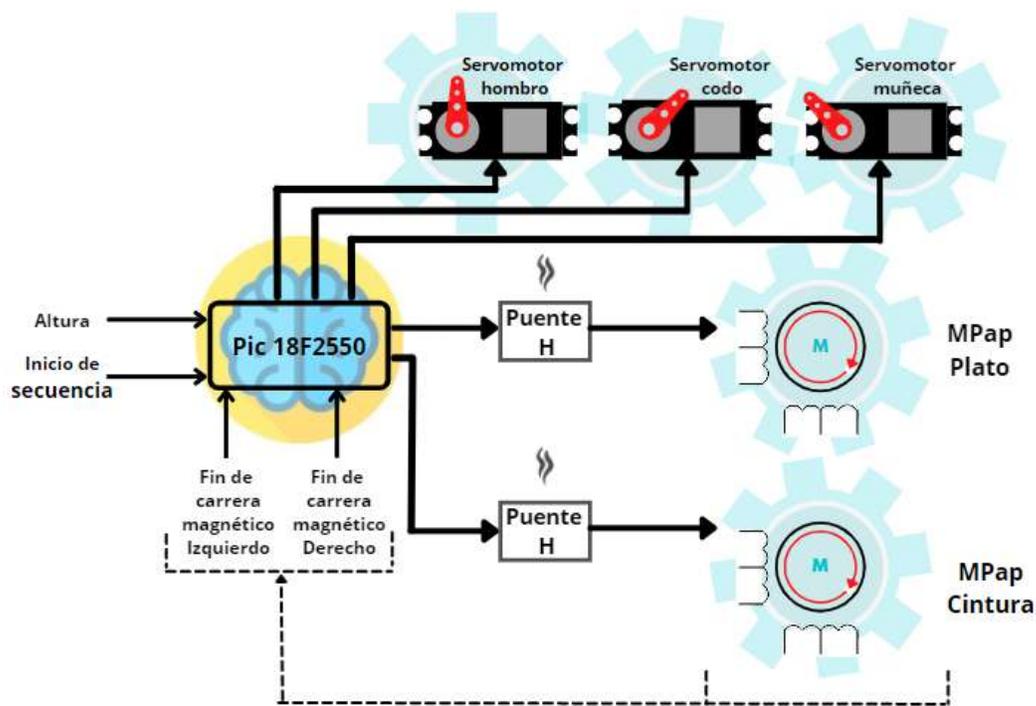


Figura 3-3. Diagrama en bloques del sistema completo

3.3 Construcción del prototipo

3.3.1 Consideraciones de diseño de circuitos impresos

En la etapa de diseño, es necesario definir el diagrama esquemático del circuito y el diagrama de conexiones que formarán las pistas de cobre sobre la placa. Generalmente se hace en dos fases. En primer lugar, partiendo de las especificaciones sobre la funcionalidad del circuito, se deciden los componentes a utilizar y las interconexiones necesarias entre ellos. Luego a través del editor de esquemas del software se realiza el diagrama esquemático.

A continuación se detallan las consideraciones necesarias para el desarrollo de un correcto PCB teniendo en cuenta varios factores.

- Elección adecuada de los componentes. Se deben adquirir todos los componentes y conectores o tener la seguridad de disponer de los encapsulados a utilizar. Antes de hacer la placa verifique cuidadosamente la interconexión y numeración de cada componente y de cada circuito integrado, así como también la correspondencia del tamaño de cada uno de ellos en el PCB.
- Efecto resistivo en las pistas. Diseñar las pistas teniendo en cuenta la longitud, grosor y máxima corriente que deban conducir. En los circuitos de instrumentación y de medición, ubicar los componentes de tal forma que la longitud de las pistas sea lo más pequeña posible, para evitar efectos de carga en la línea de interconexión.

- Error de impresión. Verificar que la impresora no genere discontinuidades y que imprima en la escala correcta.
- Pruebas de funcionamiento. Colocar puntos de prueba a la salida de cada etapa, en ubicaciones de la placa donde se pueda conectar instrumental fácilmente.
- Simplificar el ensamblaje. Diseñar la placa de forma estandarizada y modular, de tal manera que la fabricación y ensamblaje sea práctico.
- Otras consideraciones: No utilizar pistas, ni colocar componentes cerca de los bordes de las placas donde puedan tener contacto con los tornillos de fijación, guías o con la estructura. La separación mínima entre 2 pistas adyacentes debe de ser 0.8 mm, lo que garantiza un buen aislamiento eléctrico. Colocar un plano de masa en las partes de la placa donde no existan otras pistas.

3.3.2 Diseño de los circuitos impresos

En esta sección se muestran los diseños de los circuitos impresos que involucran todas las etapas del equipo desarrollado.

En las Figura 3-4 y Figura 3-5 se puede observar el diseño del PCB que involucra todas las etapas que se muestran en el diagrama en bloques de la Figura 3-3. Como se mencionó en secciones anteriores las plaquetas del puente h son iguales para cada uno de los motores.

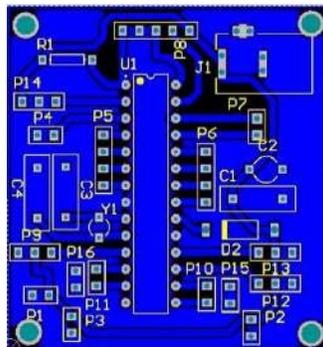


Figura 3-4. Diseño pcb de placa main.

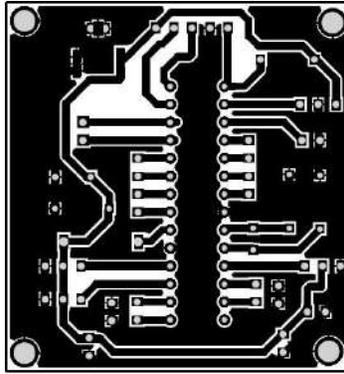


Figura 3-5. Pcb de placa main para el impreso en espejo

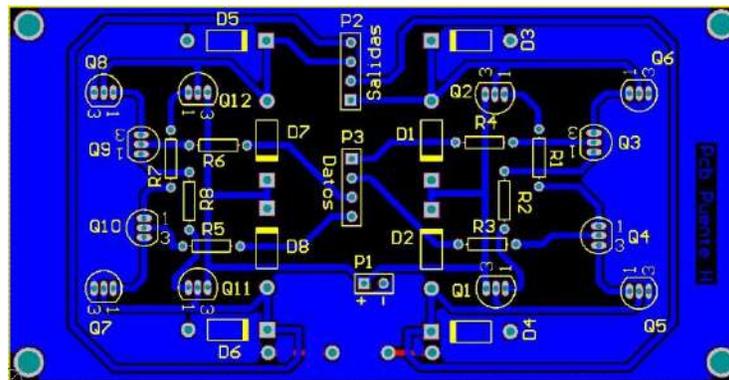


Figura 3-6 Diseño de pcb del Puente H

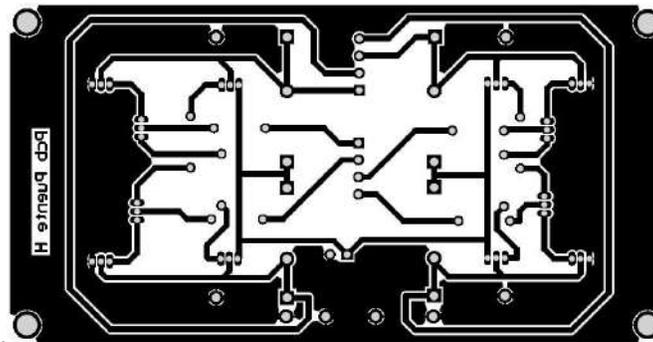


Figura 3-7. Pcb del puente h para el planchado en espejo

3.3.3 Implementación del circuito impreso.

El circuito impreso o PCB (del inglés: PrintedCircuitBoard), es la superficie constituida por caminos, pistas o buses de material conductor laminadas sobre una base no conductora. El circuito impreso se utiliza para conectar eléctricamente a través de las pistas conductoras, y sostener mecánicamente, por medio de la base, un conjunto de componentes electrónicos. Las pistas son generalmente de cobre mientras que la base se fabrica de resinas de fibra de vidrio reforzada, cerámica, plástico, teflón o polímeros como la baquelita.

En la gran mayoría de las placas el proceso de fabricación, a partir de una placa virgen, se realiza retirando el cobre no deseado después de aplicar una máscara temporal, dejando sólo las pistas de cobre deseadas. Para retirar el cobre no deseado en esta ocasión se utilizó percloruro férrico.

Existen diversos métodos para aplicar la máscara temporal, pero el utilizado en este proyecto es el de la impresión en material termo sensible para transferir el diseño a través de calor a la placa de cobre.

Los pasos realizados para la elaboración del PCB utilizando el método de ataque químico fueron los siguientes:

- **Diseño:** debido a la complejidad del circuito se utilizó un software que permite diseñar y simular el esquema electrónico.
- **Cortado de la placa:** una vez conocido el tamaño del circuito impreso, a partir del diseño, se cortó la placa virgen a medida.
- **Limpieza del cobre:** es necesario liberar de toda impureza la superficie de la placa virgen. Para esto se utilizó lana de acero fina.
- **Transferencia del diseño:** por el método de planchado, y utilizando material termo sensible, se transfirió el diseño a la placa.
- **Quitado de papel excedente:** este paso se realizó ablandando el papel excedente en agua y quitándolo con sumo cuidado.
- **Erosión del cobre:** se insertó la placa en percloruro férrico para quitar el cobre no deseado.
- **Lavado:** una vez lista la placa se lavó, se secó y se le aplicó resina líquida para evitar una futura oxidación.

En las Figura 3-8 y Figura 3-9, se observan los circuitos impresos obtenidos.

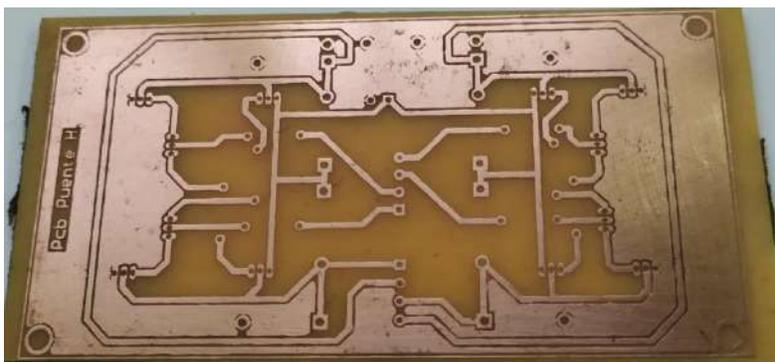


Figura 3-8. Circuito impreso placa Puentes H



Figura 3-9. Circuito impreso de la placa principal

3.3.4 Diseño del modelo con impresión 3d

Aun no contando con una impresora 3D, se realizaron pruebas de los actuadores elegidos. Luego se rediseñó una segunda versión en 3D, cuando el laboratorio adquirió la impresora antes mencionada.

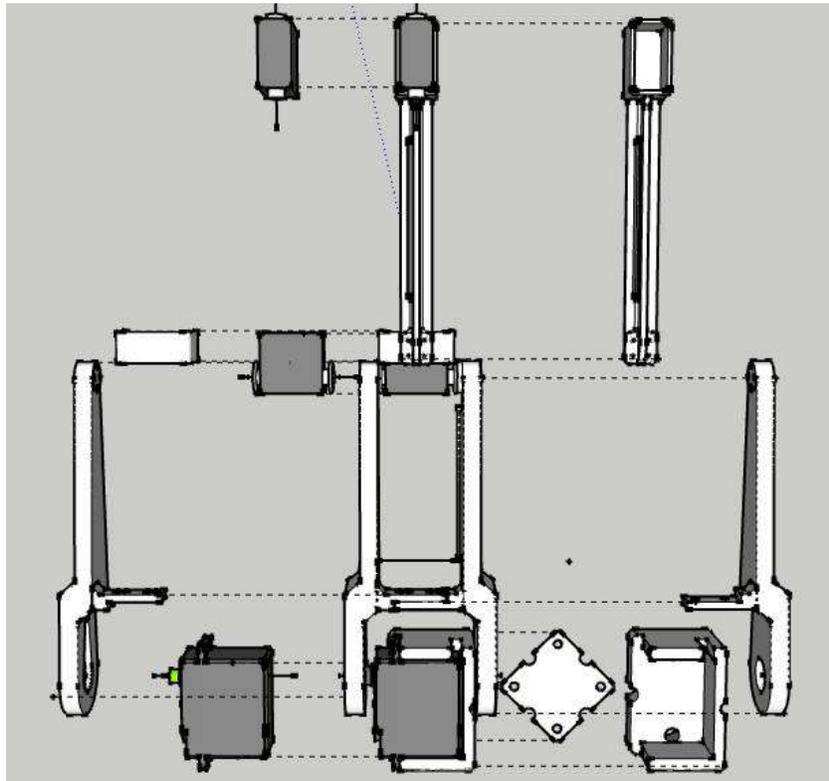


Figura 3-10. Prototipo 1. Vista superior

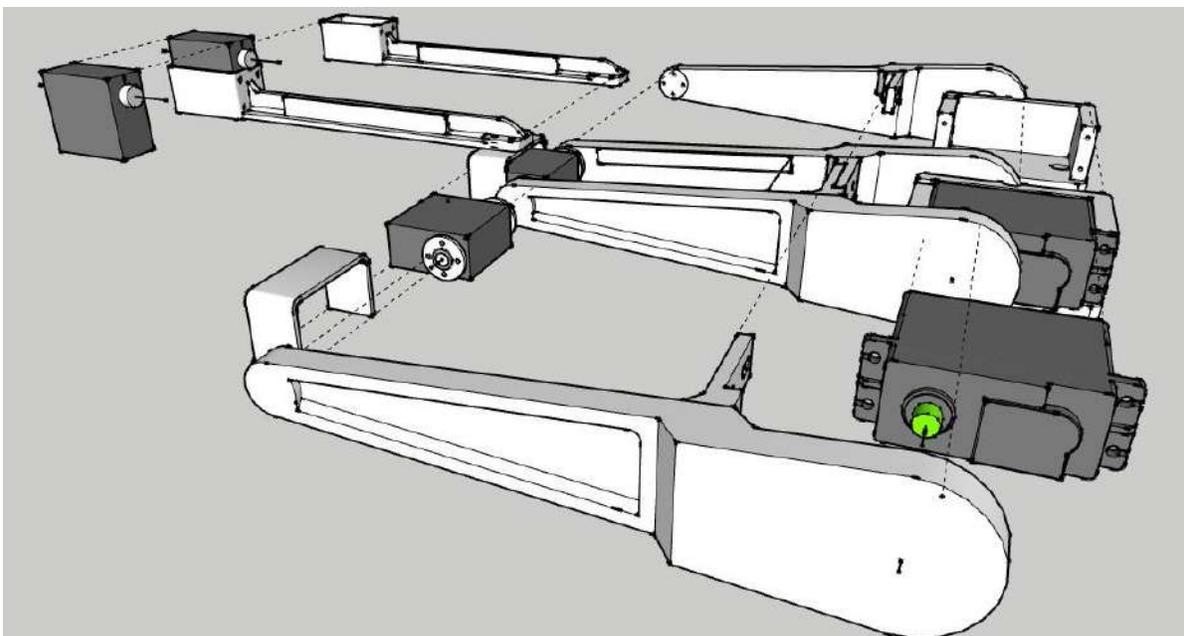


Figura 3-11. Prototipo 1. Vista lateral izquierda

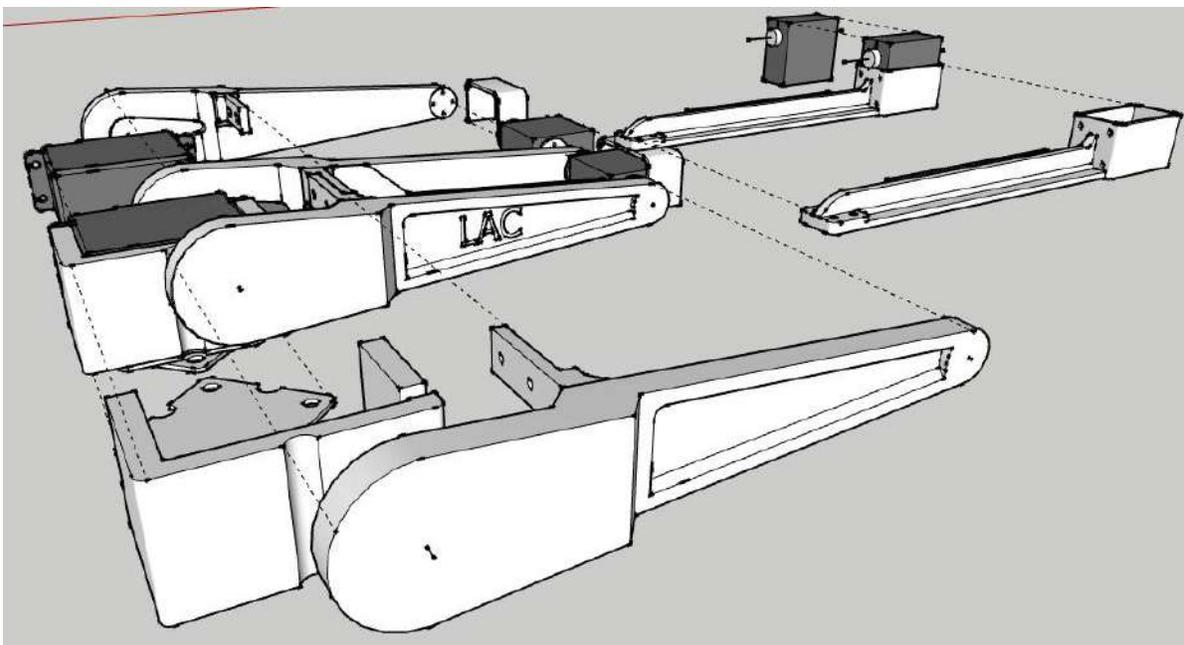


Figura 3-12. Prototipo 1 Vista lateral derecha.

Luego de un encuentro con las terapistas de INAREPS, estas hicieron varios aportes para mejorar el diseño. Gracias a esto se realizó el diseño de la segunda versión. Estas sugirieron un tipo de agarre distinto para la cuchara, similar al que se utilizan para rehabilitación.



Figura 3-13. Herramienta para rehabilitación como ejemplo de agarre de cuchara

En el segundo prototipo se aplicaron estas sugerencias y se realizó el cableado interno en el brazo para que sea de difícil acceso y estén protegidos.

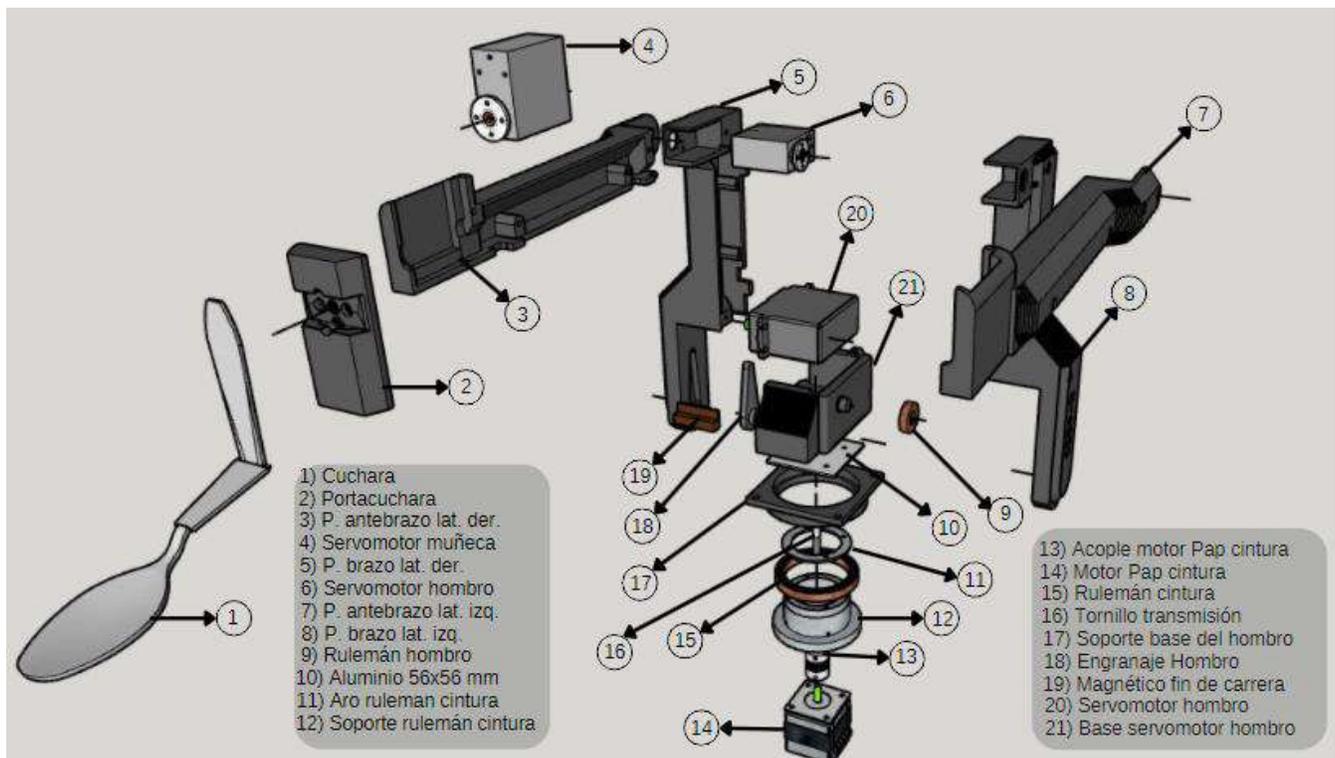


Figura 3-14. Diseño 3d brazo vista explotada

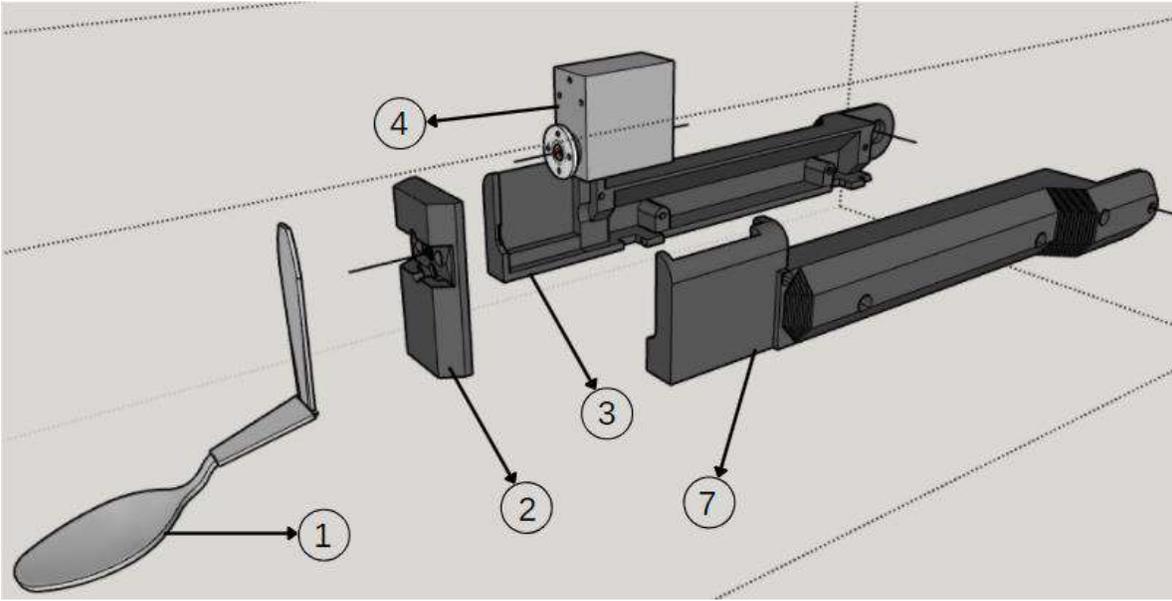


Figura 3-15. Diseño 3d muñeca-antebrazo vista explotada

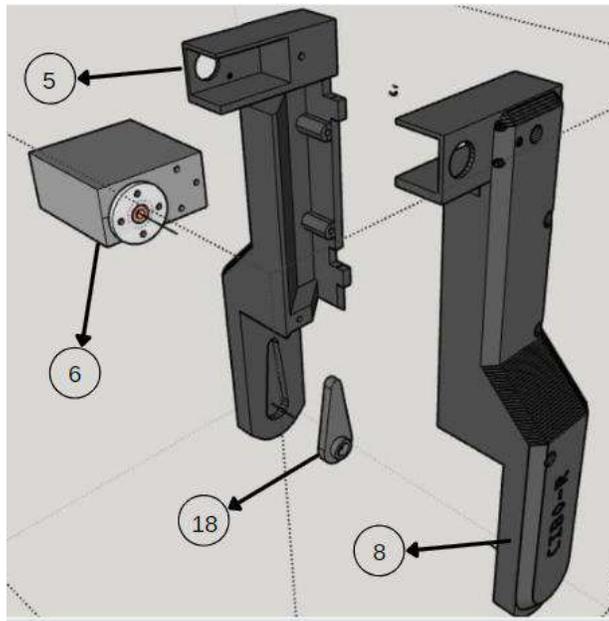


Figura 3-16 Diseño 3d brazo vista explotada

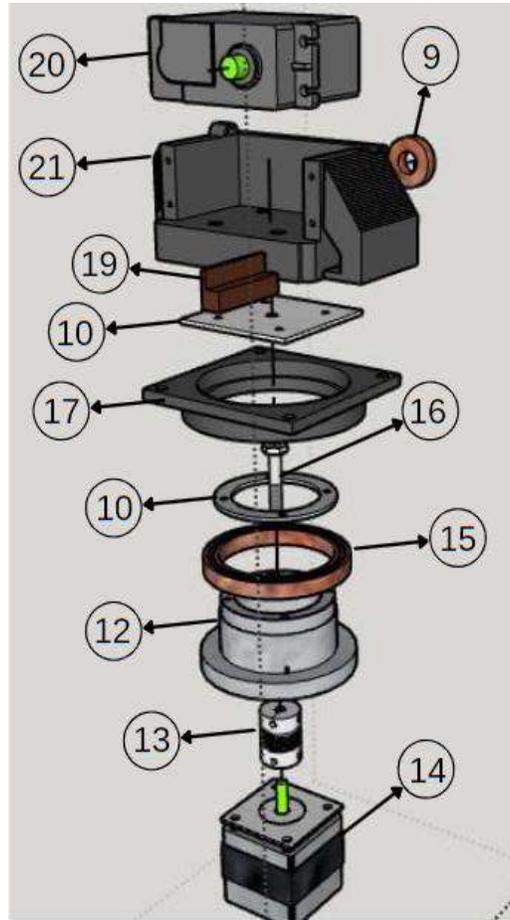


Figura 3-17. Diseño 3d hombro-cintura vista explotada

Las piezas diseñadas en 3d impresas fueron las: 2, 3, 5, 7, 8, 17 y 21. Las restantes numeradas fueron diseñadas en 3d con el fin de verificar que fueran correctas las medidas en relación a las piezas impresas. Las piezas 10, 12 y 15 fueron recuperadas del desarme de una aspiradora.

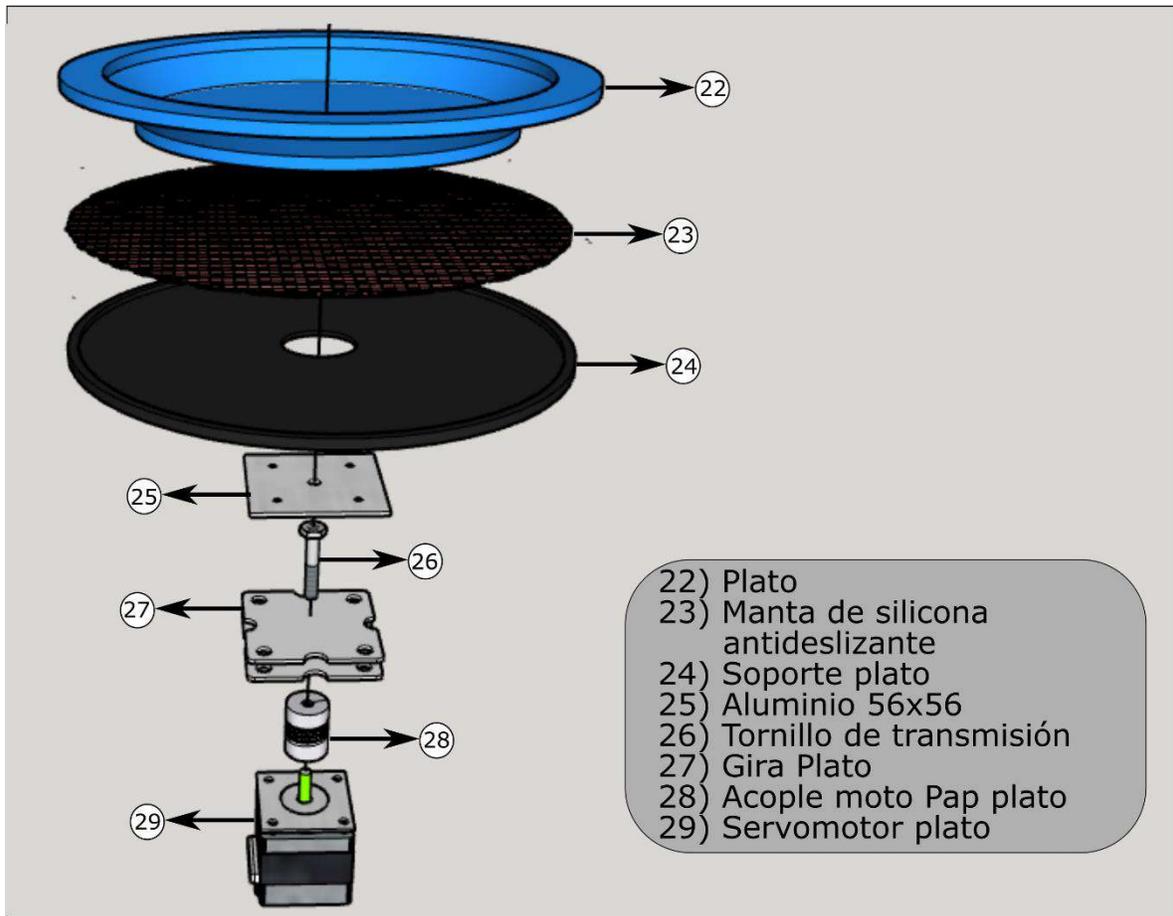


Figura 3-18. Diseño 3d gira plato vista explotada

En la Figura 3-18 se puede observar el sistema gira plato.

3.3.5 Consideraciones de diseño en impresión 3d

A continuación se detallan algunas consideraciones necesarias para el desarrollo de un correcto diseño en 3d teniendo en cuenta varios factores.

- Elección adecuada de los materiales. Existen dos tamaños estándar de filamentos de 3.00 mm y 1.75mm. Estos deben ser verificados sus espesores ya que poseen variaciones (el de 3mm puede oscilar entre 2.85mm y 2.9 mm). Otra característica a tener en cuenta es el tipo de material (PLA, ABS, PET) cada uno tiene una característica de temperatura, fragilidad, resistencia y facilidad de impresión.
- Capacidades de la impresora Las impresoras varían en costo y tamaño de construcción, cama caliente, temperatura de impresión máxima y constante, tipos de filamentos que pueden utilizarse y precisión mecánica de los componentes. Como así también que la impresora no supere el volumen de fabricación.
- Verificar la resolución del archivo STL. Un archivo STL es un archivo de superficie compuesto por numerosos polígonos que se aproximan al área de superficie de una pieza 3D. Cuantos más polígonos haya en el archivo STL, más detallada y precisa será la impresión final. STL también permite al diseñador establecer la resolución, por ejemplo, gruesa, fina, para el archivo. Cuanto más fina es la resolución, más polígonos se requieren, lo que da como resultado mejores modelos impresos.
- Problemas de impresión. Verificar que la impresora no genere problemas tales como la poca adherencia o exceso de la misma, pérdida de pasos, atascos, efecto esponja o nudos en el extrusor.
- Evitar partes de la impresión al aire. Rotar la pieza en el software de laminado hasta encontrar la posición en la que se minimicen al máximo las zonas de la pieza expuestas a la falta de soporte. De ser necesario utilizar material de soporte para la impresión. Este material de soporte es el mismo que el del resto de la pieza, se extruye junto al resto de capas, pero con una densidad menor para que pueda ser eliminado de forma sencilla.
- Tolerancias en orificios. Recordar permitir tolerancias entre sus componentes y las partes donde se unen o ensamblan las piezas.
- Salientes. Son voladizos o inclinaciones, que se imprimen peor cuanto mayor es el ángulo respecto a la vertical, en especial a partir de los 45°.
- Porcentaje de relleno. Utilizar un porcentaje estándar, entre el 30% al 50%.
- Perímetro. Aumentar el recuento o el tamaño del perímetro sólido de ser necesario. Un tamaño de perímetro de 1 mm (o cinco capas con una resolución estándar) debe aumentarse a 2 mm (o 10 capas a una altura de capa de 200 micrones).

3.3.6 Implementación del modelo con impresión 3d

En esta sección se muestran las distintas versiones de alimentador impresas en 3d, a través de fotografías.

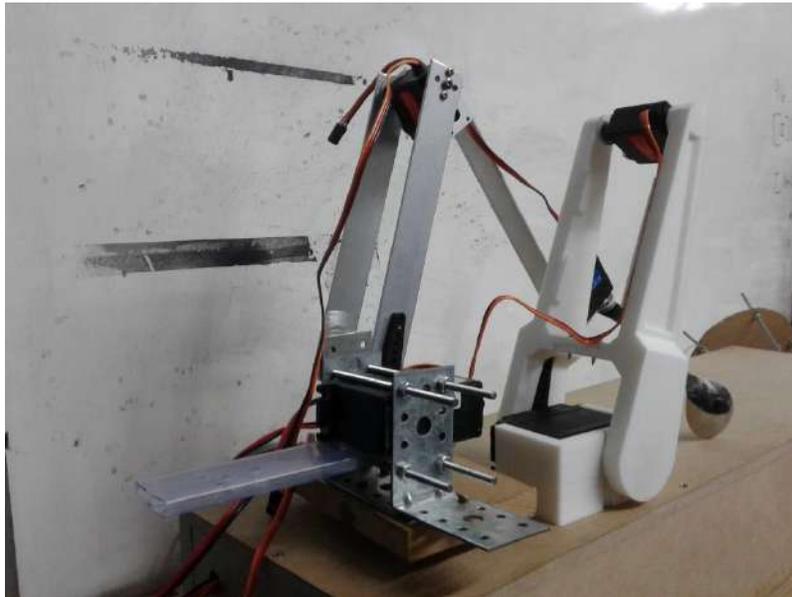


Figura 3-19. Primera y segunda versión del brazo

En la Figura 3-19 se pueden observar el pasaje de modelo de aluminio a la primera versión impresa en 3d.

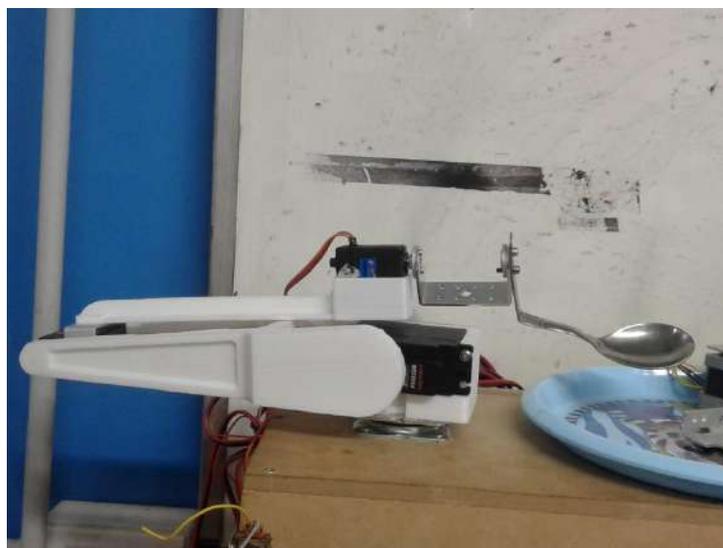


Figura 3-20. Segunda versión del alimentador

Como se observa en la Figura 3-20 la cuchara se encuentra atornillada y los cables de los servomotores son de fácil acceso.



Figura 3-21. Prototipo 3 impreso, sin porta-cuchara

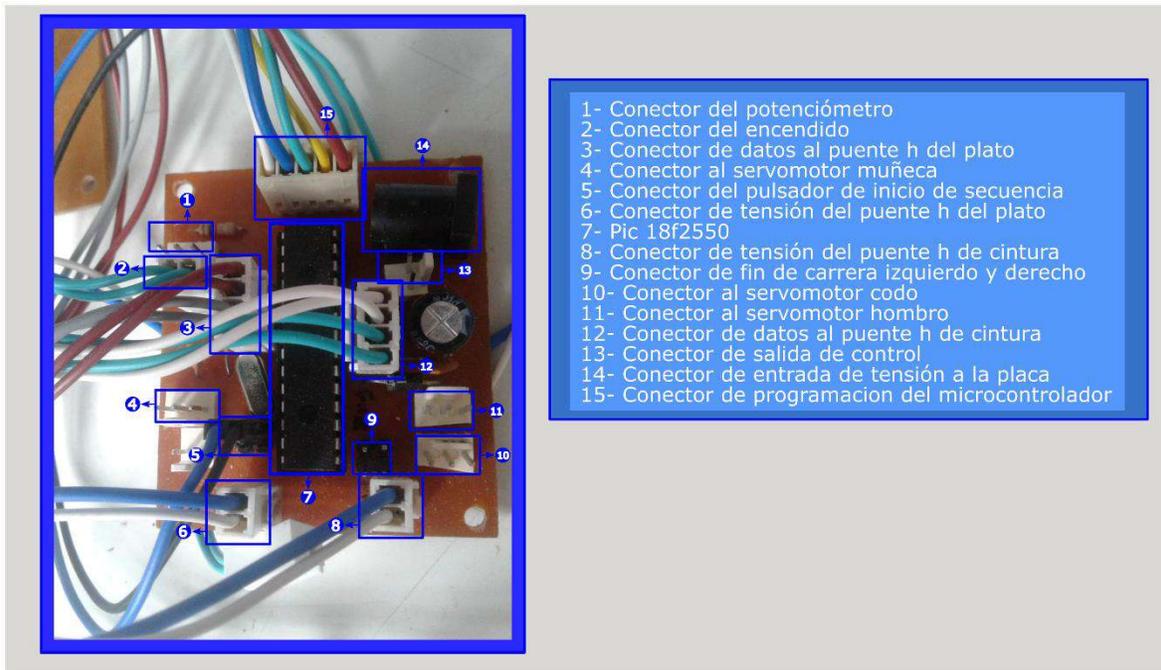
Ambas versiones impresas con la impresora 3d fueron de material PLA, con un porcentaje de relleno al 40% la base del servomotor cintura, las demás partes al 30%.

Durante el proceso de diseño de esta última versión y como actividad del seminario de trabajo final, surgió el nombre para el alimentador: CIBO-R, donde **CIBO** significa “*alimento*” en italiano y **R** de robot, que juntas se asemejan a la palabra ciborg que es una criatura compuesta de elementos orgánicos y dispositivos cibernéticos generalmente con la intención de mejorar las capacidades de la parte orgánica mediante el uso de tecnología (wikipedia, 2022).

3.3.7 Ensamblado del equipo

En esta sección se describe el proceso de construcción del prototipo propuesto a través de fotografías, indicando cada una de sus partes.

En la Figura 3-22 se muestra la distribución de los conectores en la placa principal.



- 1- Conector del potenciómetro
- 2- Conector del encendido
- 3- Conector de datos al puente h del plato
- 4- Conector al servomotor muñeca
- 5- Conector del pulsador de inicio de secuencia
- 6- Conector de tensión del puente h del plato
- 7- Pic 18f2550
- 8- Conector de tensión del puente h de cintura
- 9- Conector de fin de carrera izquierdo y derecho
- 10- Conector al servomotor codo
- 11- Conector al servomotor hombro
- 12- Conector de datos al puente h de cintura
- 13- Conector de salida de control
- 14- Conector de entrada de tensión a la placa
- 15- Conector de programación del microcontrolador

Figura 3-22. Disposición en la placa principal

Para poder alojar todos los módulos del prototipo se eligió fabricar una caja de madera de MDF (Medium Density Fibreboard) y que funcionara además de contrapeso. Sus dimensiones son 10x39x20cm.



Figura 3-23. Fabricación del gabinete en MDF.

En la Figura 3-24 se muestra la disposición de las placas y motores dentro del gabinete.

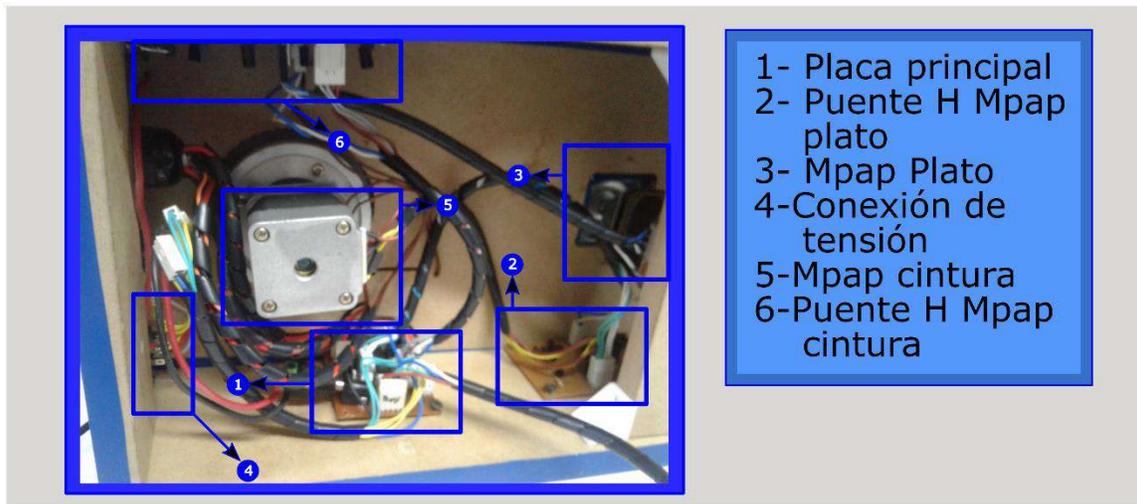


Figura 3-24. Disposición en el gabinete

Las placas se atornillaron sobre los paneles laterales del gabinete, con la finalidad de evitar que estas queden sumergidas en liquido ante la posibilidad de un derrame.

Para el sosten de los motores paso a paso se colocó una tabla calada con la base del motor luego de atornilladas las placas.

Para evitar el acceso a la parte interna se colocó una tapa y unas patas de goma.

Entre el plato y la base del gira plato se colocó una manta antideslizante de silicona.

El plato elegido es un plato que es antivuelco, y al mismo tiempo tiene bordes para poder contener el alimento.

Los cables de los servomotores fueron conectados a un alargue, intentando respetar la similitud de los colores de cada uno. Los alargues fueron con conectores macho y hembra de tres pines, el conector macho, era de impreso, el cual fue soldado y se utilizó termocontraible para aislarlo.



Figura 3-25. Alargues para los cables del servomotor.

Con respecto al conector de los motores paso a paso, no se pudo conseguir la ficha original de conexión del servomotor, por lo cual se soldaron los cable directamente en un extremo y del otro

fue colocado un terminal hembra similar a los de la Figura 3-25 hacia la plaqueta del puente h correspondiente.

Como fuente de energía se optó por una fuente de tensión continua de 6V 3A, comercial, donde la corriente fue obtenida mediante la medición mientras se desarrollaba el proyecto.

Para finalizar el gabinete se colocó un papel vinilico de color azul, para proporcionar una capa de protección y una terminación al gabinete.



Figura 3-26. Equipo ensamblado

3.3.8. Pruebas realizadas

Durante la construcción del equipo se realizaron diferentes pruebas, con las distintas versiones.

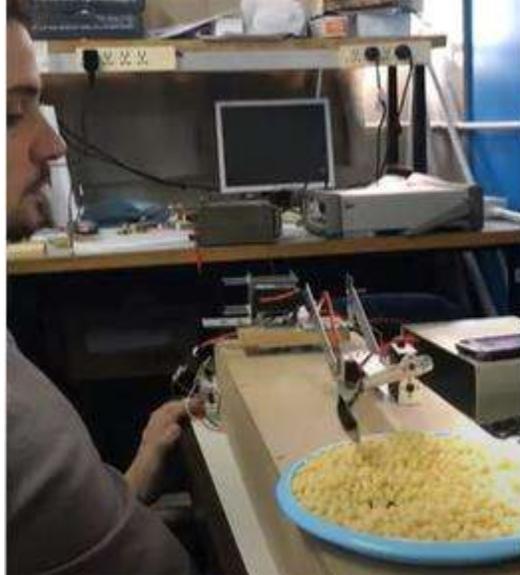


Figura 3-27-Prueba versión 1

Como se puede observar en la Figura 3-27, el alimentador era más largo y no poseía el gira plato aun. En las pruebas se observó que realizaba un recorrido innecesario, por lo cual se dispuso a reducir el recorrido del brazo y por lo tanto el del tamaño del gabinete. Como alimento se utilizó chía inflada, si bien no oponía resistencia, mostro de manera más fácil si un alimento tan liviano se podía mantener en todo el trayecto en la cuchara (<https://bit.ly/3y5hCAN>).



Figura 3-28. Prueba versión 2

Con la versión 2 como se mencionó anteriormente, se realizó una prueba en INAREPS, como se observa en la Figura 3-28, el brazo es el impreso en 3d y como alimento se probó tanto con flan como con puré de papas (<https://bit.ly/3ysmP6Z>).

Con este prototipo se observó que tenía oscilaciones el antebrazo, por lo cual se realizó una consulta con un profesor de mecánica, este recomendó utilizar ruleman en el eje opuesto en el servomotor codo, con esta modificación se vieron disminuidas las oscilaciones, quedando las propias del movimiento del servomotor.

Las pruebas con la versión 3 del alimentador se realizaron en el LAC, con el brazo impreso en 3d, y como alimento se utilizó nuevamente chía inflada (<https://bit.ly/3OQyKAG>).



Figura 3-29. Prueba versión 3

Con esta versión se observó una gran mejoría en los distintos aspectos del alimentador, las vibraciones disminuyeron, y los movimientos fueron más fluidos, los cables no están expuestos a la manipulación del usuario o acompañante. Sin embargo al ser las piezas plásticas del brazo más pesadas, perdió un poco de fuerza con respecto a la versión anterior.

Capítulo 4

4 Conclusiones

En este proyecto se logró diseñar y construir un sistema de alimentación apto para personas con discapacidad en los miembros superiores. El objetivo principal del mismo fue, en primera instancia, lograr un equipo capaz de llevar el alimento de manera automática del plato hacia la boca de la persona que no lo pueda hacer por sí sola, utilizando una menor cantidad de actuadores en el brazo que los equipos comerciales y, con procesadores de bajo costo. Se construyó un prototipo que cumple con el objetivo planteado ya que se pudo establecer mediante pruebas el correcto funcionamiento del equipo.

Ante la posibilidad concreta de que el equipo fuera portable y con un plato giratorio, el equipo fue desarrollado contemplando estas posibilidades y poder así llevar a cabo el segundo objetivo de este proyecto.

El equipo realizado posee grandes características desde el punto de vista del hardware, está preparado para poder variar de manera sencilla la altura final del efector a través de una perilla y además que realice una variación en la velocidad en la secuencia pre-programada, para disminuir la latencia entre bocados. Por otro lado posee una entrada para pulsadores adaptados del tipo plug 3,5 que utilizan múltiples ayudas técnicas.

El sistema completo está compuesto por un PIC y cinco actuadores. El PIC18F2550 es el encargado de la adquisición y procesamiento de la señal. Los actuadores son tres servomotores y dos motores paso a paso, encargados de generar la fuerza mecánica para que se realice el movimiento del alimentador. Cada uno de los cuales maneja distintas cargas de peso.

En cuanto a posibles mejoras se encuentran las de software, como puede ser la incorporación de otras secuencias pre-programadas. Esto permitiría poder recoger el alimento de diferentes densidades, aumentando el surtido de comestibles que podrían utilizarse con el dispositivo. O donde la persona pudiera utilizar algún otro tipo de plato donde se podría elegir dentro de una mayor variedad de alimentos.

Debido a que para algunos alimentos se encontró que se requeriría mayor potencia de los actuadores, se propone aumentar el torque de alguno de los motores usados.

Referencias

- FR0115M . (s.f.). Obtenido de Metal Gear Digital Servo for Arduino DIY Robot FR0115M Product Details Product Details: <https://www.mantech.co.za/Datasheets/Products/FR0115M.pdf>
- (11 de 2018). Obtenido de <https://elchals.wordpress.com/2015/04/12/motores-paso-a-paso-todo-lo-que-deseabas-saber-y-no-te-cotaron-en-barrio-sesamo/>
- alciro. (04 de 05 de 2021). Obtenido de http://www.alciro.org/alciro/Plotter-Router-Fresadora-CNC_1/control-bipolar-motor-paso-a-paso-chopper-puente-H_434.htm
- Baturone, A. O. (2001). *Robótica Manipuladores y robots móviles*. Barcelona: Marcombo S.A.
- Bestic. (s.f.). Obtenido de <https://www.kerrymedical.com/product/bestic/>
- Castromil, J. (6 de enero de 2014). *clipset* . Obtenido de Parrot Jumping Sumo, el robot que corre, salta y captura: <https://clipset.com/parrot-jumping-sumo-el-robot-que-corre-salta-y-captura/>
- CEBALLOS, J. L., & MORALES, M. J. (2014). *MÓDULO DE ENTRENAMIENTO PARA EL CONTROL DE POSICIÓN Y VELOCIDAD DE SERVOMOTORES MEDIANTE PLC CON INTERFAZ SCADA*.
- Contreras, M. (17 de Noviembre de 2017). *clipset*. Obtenido de El robot 'Atlas' de Boston Dynamics ahora hace volteretas y salta más que tú: <https://clipset.com/atlas-boston-dynamics-robot-voltera-saltos/>
- Dekar, J. (s.f.). *Obi*. Obtenido de <https://meetobi.com/>
- Estado da Arte - Feeding Assisted*. (s.f.). Obtenido de <https://feedingassisted.weebly.com/estado-da-arte.html>
- Gómez, A. L. (2007). Dispositivos de tecnología de asistencia para alimentación. *Revista electrónica de terapia ocupacional Galicia*, ISSN-e 1885-527X, Nº. 5.
- González, V. R. (s.f.). Obtenido de Servomotores: composición y funcionamiento: http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/sistema/motores_servo.htm
- INDEC. (2018). *Estudio Nacional sobre el Perfil de las Personas con Discapacidad. Resultados definitivos 2018*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
- Japan Servo Co. (s.f.). *HYBRID STEPPING*. Obtenido de <https://www.strategiautomation.com/wp-content/pdfs/Hybrid%20Stepper%20Motors.pdf>
- Joaquín Roca Dorda, J. (s.f.). DE LAS AYUDAS TÉCNICAS A LA TECNOLOGÍA ASISTIVA.
- Kenjo, T. (1984). *Stepping motors and their microprocessor controls*. Clarendon press oxford.
- Large scale 33kg high torque servo*. (s.f.). Obtenido de OpenHacks | Open Source Hardware | Productos | Large scale 33kg high torque servo: <https://www.openhacks.com/page/productos/id/1531/title/Large-scale-33kg-high-torque-servo-#.YqfJgqjMLIX>

Lor-Van, L. (4 de agosto de 2013). *Tecnoneo Nuevas tecnologías y diseño*. Obtenido de Crabster robot de investigación submarina y rescate de tesoros:

<https://www.tecnoneo.com/2013/08/crabster-robot-de-investigacion.html>

Lydia María Martín Martín, M. S. (2011). La Alimentación Humana La Perspectiva De La Terapia Ocupacional. *Revista electrónica de terapia ocupacional Galicia, TOG Núm. 14 Pág. 3*.

Microchip, Technology Incorporated. (2009). *PIC18F2550*. Obtenido de Microchip:

<https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632e.pdf>

OPENSURG, C. (2013). *ROBÓTICA MÉDICA notas prácticas para el aprendizaje de la robótica en bioingeniería*. CYTED .

silly-bytes. (s.f.). Obtenido de <http://silly-bytes.blogspot.com/2012/09/moviendo-un-motor-paso-paso-con-el.html>

tayfunca technology. (19 de mayo de 2021). Obtenido de

<https://www.tayfuncatechnology.com/robot-teknolojisi-ve-gelecek/>

Valencia, L. A. (2014). BREVE HISTORIA DE LAS PERSONAS CON DISCAPACIDAD.

<https://www.rebellion.org/docs/192745.pdf>.

wikipedia. (05 de 2022). Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%ADborg>