



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**DESARROLLO DE UN BRAZO ROBÓTICO ADAPTABLE A
UNA SILLA DE RUEDAS PARA PERSONAS CON
DISCAPACIDAD**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO MECATRÓNICO**

BRYAN GUSTAVO CEPEDA ESPIN

DIRECTOR: ING. GUILLERMO ALFREDO MOSQUERA CANCHINGRE

Quito, Septiembre 2017

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2017
Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1714955380
APELLIDO Y NOMBRES:	CEPEDA BRYAN GUSTAVO
DIRECCIÓN:	ALPALLANA E6-130 Y WHYMPER
EMAIL:	tavito_c_e@yahoo.es
TELÉFONO FIJO:	023238806
TELÉFONO MOVIL:	0987325626

DATOS DE LA OBRA	
TITULO:	DESARROLLO DE UN BRAZO ROBÓTICO ADAPTABLE A UNA SILLA DE RUEDAS PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD
AUTOR O AUTORES:	BRYAN CEPEDA
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	28 DE SEPTIEMBRE DEL 2017
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	GUILLERMO ALFREDO MOSQUERA CANCHINGRE
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN MECATRÓNICA
RESUMEN:	El presente proyecto se desarrolló con el objetivo de realizar el diseño y construcción de un brazo robótico que funcione de manera autónoma para que alimente a personas con grado de discapacidad entre I y IV. El subsistema de visión artificial permite identificar la boca del usuario para

	<p>que el brazo robótico se posicione y alimente al usuario.</p> <p>Se analizan varios proyectos referentes para obtener ideas y basarse en el estado del arte como guía en el desarrollo del sistema.</p> <p>A lo largo de este documento se presenta el diseño del brazo robótico en su parte mecánica, se realiza la selección del material, tomando en cuenta esto se realizan los cálculos necesarios para determinar el torque que necesitan ejercer sus actuadores, la longitud de cada componente del brazo, a su vez se presenta el diseño de la base adaptable a una silla de ruedas estándar. También se muestra el diagrama de control del sistema donde se representa la programación del microcontrolador y el funcionamiento de la visión artificial. Finalmente se presenta el funcionamiento del sistema.</p> <p>Los resultados obtenidos, mediante las pruebas realizadas, arrojan que el sistema funciona de manera óptima dando las posiciones requeridas, alimentando al usuario y realizando el reconocimiento facial.</p>
<p>PALABRAS CLAVES:</p>	<p>Brazo robótico, visión artificial, discapacidad física, silla de ruedas estándar,</p>
<p>ABSTRACT:</p>	<p>The following project was developed with the objective of designing and building a robotic arm that works autonomously and feeds people that have a disability degree between I and IV. The artificial vision subsystem allows it to identify the user's mouth</p>

	<p>so that the robotic arm reaches a position and feeds the user.</p> <p>Several projects are analyzed in order to obtain ideas and develop the state of the art as a guide in the development of the system.</p> <p>Throughout this document, the mechanic details of the robotic arm are presented, the material selection is carried out to do the necessary calculations to determine the torque that it needs to apply in the actuators. This document also shows the design of the base that is attached to a standard wheelchair, and the equipment selection that has been done. The system control diagram which shows the programming of the microcontroller and the operation of the artificial vision is also displayed. Finally, the performance of the system is presented.</p> <p>The results gotten through the performed tests show that the system works optimally, it gives the required positions, it performs the facial recognition, and it feeds the user.</p>
KEYWORDS	<p>Robotic Arm, artificial vision, physical disability, standard wheelchair</p>

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f:  _____

CEPEDA ESPIN BRYA GUSTAVO

1714955380

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **CEPEDA ESPIN BRYAN GUSTAVO**, CI 1714955380 autor/a del proyecto titulado: **“Desarrollo de un brazo robótico adaptable a una silla de ruedas para personas con discapacidad”** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN MECATRÓNICA** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, Julio 2017

f:  _____

CEPEDA ESPIN BRYAN GUSTAVO

1714955380

DECLARACIÓN

Yo **CEPEDA ESPIN BRYAN GUSTAVO**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



BRYAN GUSTAVO CEPEDA ESPIN

C.I. 1714955380

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Desarrollo de un brazo robótico adaptable a una silla de ruedas para personas con discapacidad**”, que, para aspirar al título de **INGENIERO EN MECATRÓNICA** fue desarrollado por **CEPEDA ESPIN BRYAN GUSTAVO**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.



GUILLERMO ALFREDO MOSQUERA CANCHINGRE

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 0802613059

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme protección, fuerzas y valor para superar todos los obstáculos y dificultades presentes en este largo camino.

A mi madre Martha Espin, por su apoyo y consejos día tras día, que sin importar las dificultades que se nos presentaron estuvo allí para levantarme.

A mi novia Nichole Villalba, quien estuvo conmigo en cada momento, apoyándome y dándome ánimo para llegar hasta el final.

A mis hermanos, por siempre estar allí cuando los necesité.

A mi padre Gustavo Cepeda, por todo su apoyo y ánimo.

Al Ingeniero Guillermo Mosquera, por su guía, tiempo y paciencia para dirigir esta tesis.

A la Universidad Tecnológica Equinoccial, por permitirme ser parte de su grupo de estudiantes y por brindarme todos los conocimientos.

Finalmente, gracias a mis amigos y familiares que siempre estuvieron allí dándome ánimo y apoyo para la realización de este proyecto.

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme siempre de sus bendiciones y fortaleza para alcanzar todas mis metas, en especial esta que es culminar mi carrera universitaria. A mi madre, quien, con amor y comprensión, siempre supo ayudarme en cada dificultad, brindándome su apoyo para llegar hasta el final y hacer las cosas con excelencia. A mi novia, puesto que siempre supo levantarme cuando sentía que todo estaba perdido y que supo reanimarme en los momentos más difíciles. Y finalmente a mis hermanos que siempre estuvieron ahí con sus consejos y experiencias, brindándome apoyo para ser una mejor persona.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Análisis de proyectos referentes.....	4
2.2 Estadísticas de discapacidad en Ecuador.....	6
2.3 Grados de discapacidad según la Ley Orgánica de Discapacidades.....	7
3. METODOLOGÍA Y DISEÑO.....	9
3.1 Establecimiento y análisis del problema.....	10
3.2 Requerimientos y especificaciones.....	10
3.3 Diseño conceptual del sistema.....	11
3.4 DISEÑO MECÁNICO.....	13
3.4.1 Selección de Material.....	13
3.4.2 Longitudes y masas de los elementos del brazo robótico.....	14
3.4.3 Selección de los servomotores.....	15
3.5 DISEÑO ELECTRÓNICO.....	15
3.5.1 Potencia máxima de servomotores.....	15
3.5.2 Potencia Total.....	15
3.5.3 Amperaje necesario.....	16
3.5.4 Selección de Controlador.....	16
3.6 DISEÑO DE CONTROL.....	16
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
4.1 POSICIONES DEL BRAZO ROBÓTICO.....	19
4.2 RECONOCIMIENTO DE LA BOCA MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL.....	20
4.3 TIEMPO PARA REALIZAR UN CICLO.....	21
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	22
5.1 CONCLUSIONES.....	22
5.2 RECOMENDACIONES.....	23
BIBLIOGRAFÍA.....	24
ANEXOS.....	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de plásticos	13
Tabla 2. Longitudes de los eslabones del brazo robótico	14
Tabla 3. Masas de los elementos del brazo robótico	14
Tabla 4. Torques de los servomotores.....	15
Tabla 5. Torque y potencia de servomotores elegidos	15
Tabla 6. Características de placas de control	16
Tabla 7. Datos XYZ de pruebas realizadas	19
Tabla 8. Pesos de las porciones de comida	21

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Personas con discapacidad registradas, por tipo de discapacidad.	6
Figura 2. Personas con discapacidad registradas, por grado de discapacidad	6
Figura 3. Personas con discapacidad registradas, discapacidad física	7
Figura 4. Personas con discapacidad registradas, discapacidad grave.....	7
Figura 5. Requerimientos del Sistema	11
Figura 6. Estructura del sistema	11
Figura 7. Estructura general del brazo robótico	12
Figura 8. Estructura general de los soportes del brazo robótico y la visión artificial	12
Figura 9. Interacción del usuario del sistema.....	13
Figura 10. Modelo de desarrollo en Simulink.....	17
Figura 11. Diagrama de flujo del funcionamiento sistema	18
Figura 12. Trayectoria de la herramienta del brazo robótico.....	18
Figura 13. Reconocimiento facial.....	20

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Dimensiones de una silla de ruedas estándar	22
Anexo 2. Partes del brazo robótico	27
Anexo 3. Sistema Físico	29

RESUMEN

El presente proyecto se desarrolló con el objetivo de realizar el diseño y construcción de un brazo robótico que funcione de manera autónoma para que alimente a personas con grado de discapacidad entre I y IV. El subsistema de visión artificial permite identificar la boca del usuario para que el brazo robótico se posicione y alimente al usuario.

Se analizan varios proyectos referentes para obtener ideas y basarse en el estado del arte como guía en el desarrollo del sistema.

A lo largo de este documento se presenta el diseño del brazo robótico en su parte mecánica, se realiza la selección del material, tomando en cuenta esto se realizan los cálculos necesarios para determinar el torque que necesitan ejercer sus actuadores, la longitud de cada componente del brazo, a su vez se presenta el diseño de la base adaptable a una silla de ruedas estándar. También se muestra el diagrama de control del sistema donde se representa la programación del microcontrolador y el funcionamiento de la visión artificial. Finalmente se presenta el funcionamiento del sistema.

Los resultados obtenidos, mediante las pruebas realizadas, arrojan que el sistema funciona de manera óptima dando las posiciones requeridas, alimentando al usuario y realizando el reconocimiento facial.

ABSTRACT

The following project was developed with the objective of designing and building a robotic arm that works autonomously and feeds people that have a disability degree between I and IV. The artificial vision subsystem allows it to identify the user's mouth so that the robotic arm reaches a position and feeds the user.

Several projects are analyzed in order to obtain ideas and develop the state of the art as a guide in the development of the system.

Throughout this document, the mechanic details of the robotic arm are presented, the material selection is carried out to do the necessary calculations to determine the torque that it needs to apply in the actuators. This document also shows the design of the base that is attached to a standard wheelchair, and the equipment selection that has been done. The system control diagram which shows the programming of the microcontroller and the operation of the artificial vision is also displayed. Finally, the performance of the system is presented.

The results gotten through the performed tests show that the system works optimally, it gives the required positions, it performs the facial recognition, and it feeds the user.

1. INTRODUCCIÓN

Las personas con discapacidades físicas, específicamente las que poseen discapacidad de movimiento, suelen necesitar de otra persona que les ayude a realizar ciertas actividades como coger cosas, alimentarse o trasladarse de un lugar a otro, en especial las personas con discapacidades en sus extremidades. Este proyecto se realiza con el fin de ayudar a estas personas, solucionando el problema de necesitar de otra persona para alimentarlas; de esta forma estas personas podrán realizar esta actividad sin ayuda de alguien más.

Este dispositivo tiene la finalidad de alimentar a personas que necesitan de una silla de ruedas para movilizarse y además poseen problemas en sus extremidades superiores. De esta manera se provee más autonomía al usuario.

El objetivo general es: Desarrollar un brazo robótico adaptable a una silla de ruedas para personas que no pueden alimentarse solas.

Para cumplir con dicho objetivo se lo ha dividido en los siguientes objetivos específicos:

- Implementar un sistema de visión artificial para posicionamiento del robot.
- Integrar el brazo en una silla de ruedas.
- Diseñar la interfaz para poner en marcha el sistema.
- Validar el funcionamiento del sistema.

El alcance del proyecto consiste en el diseño e implementación de un brazo robótico con cuatro grados de libertad, que tendrá la capacidad de alimentar a la persona que está sentada en una silla de ruedas, para lo cual se utilizará un sistema de visión artificial que le permita dar un posicionamiento al robot para alimentar a una persona de manera automática. Además, poseerá un sistema de acoplamiento a una silla de ruedas estándar. El sistema funcionará únicamente con comida sólida que esté debidamente cortada en pedazos pequeños.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Análisis de proyectos referentes

Existen también otros proyectos vinculados a la medicina, con los cuales se tiene mucha ayuda para operaciones. Varios autores han desarrollado proyectos como el “Brazo robótico para sujetar y posicionar laparoscopios”, que consiste en un brazo robótico de cinco grados de libertad. Este proyecto cuenta con un servo-motor DC en cada articulación lo que le da un peso total, del sistema integrado, de aproximadamente 20 kg. También se tiene un “Sistema de visión artificial para el control de movimiento de un asistente robótico médico” que es un brazo robótico que realiza sus movimientos en tiempo real, mediante la ayuda de visión artificial. Lo que hace el brazo es seguir a un laparoscopio y los movimientos realizados por el cirujano, para iluminarlo. Existen varios puntos importantes que se deben tomar en cuenta para utilizar la visión artificial de manera óptima. Lo primero es la iluminación, es importante que exista bastante luz para resaltar los rasgos del objeto de interés, esto da paso a la segunda cosa importante que es el sistema de captura de imagen que es la cámara con la que se capta el objeto. Tercero se tiene la interfaz entre el sensor y el computador, una vez que se obtiene la imagen se la debe introducir al programa para poder procesarla. De esta manera se podrá dar los valores de las coordenadas para que el brazo se posicione en determinada localización. (Mosso-Minor-Lara-Moya,2001) (Prieto-Febres-Cerrolaza-Miquelarena,2010)

Estos proyectos pueden ser muy útiles puesto que poseen un nivel de precisión muy alto para su funcionamiento. Además, se puede tomar cierto tipo de articulaciones que no funcionan de manera radial, sino que, si mueven en un solo eje, esto puede servir para hacer desplazamientos largos. También se puede tomar el sistema de visión artificial utilizado para controlar el sistema a tiempo real, puesto que, se necesita realizar el reconocimiento de la boca del usuario en tiempo real, para poder acercar el brazo robótico y alimentarlo.

El control de un brazo robótico puede ser de diferentes maneras, con diferentes métodos y a través de diferentes placas de control, según el propósito con el cual se utiliza el brazo robótico; la Universidad San Francisco de Quito presentó un proyecto denominado “Diseño, construcción y control de un brazo robótico” que consiste en un brazo robótico con cuatro grados de libertad, que tiene como fin la manipulación de diferentes objetos. Este proyecto fue elaborado por los estudiantes para ayudar a sus compañeros a aprender sobre robótica.

Para accionar el brazo robótico existen varias formas, esto puede darse a través de botones, a través de sensores o a través de dispositivos inalámbricos. Un ejemplo de esto es el siguiente proyecto “Diseño del

controlador y tele-operación del brazo robótico “Robotic Arm Edge” por medio de un dispositivo Android y PC” este proyecto presenta un sistema para controlar el brazo robótico “Robotic Arm Edge” por medio de un dispositivo Android y una computadora con sistema operativo Windows. Este brazo robótico posee cinco grados de libertad, alcance de 35cm en vertical y 30cm en horizontal, eleva hasta 100g y su pinza de agarre se abre de 0 a 4,5cm. Se lo controla mediante el microcontrolador MiniCore RCM5600W, que posee la opción de funcionar de manera inalámbrica a través de Wi-Fi 802.11 g/b y se conecta con la computadora y a su vez con el dispositivo Android. (Alonzo.Bravo, 2014) (ESPE,2014)

Se han presentado varios proyectos con el uso de visión artificial, con diferentes objetivos, uno de ellos es el “Manipulador robótico con visión artificial” este proyecto consiste en la organización de piezas por formas y colores, que son reconocidos por un sistema de visión artificial y colocados en un lugar asignado, por medio de un selector que se desplaza con cuerdas conectadas a motores. Para esto se creó un espacio en el cual trabajará tanto la cámara como el brazo, se buscó la mejor iluminación que permita la mejor visión de la cámara, se colocó los motores que moverán al selector de objetos y los soportes para cada una de las piezas. Todos los elementos se conectan a una computadora por medio de un microcontrolador que obtiene datos de los sensores y manda datos a los actuadores. Además, se creó una interfaz para control manual o automático del sistema. Algo interesante de este proyecto es el uso de dos cámaras que facilitan el reconocimiento de los objetos y permite tener una mejor visión de la zona donde se encuentran los objetos. También se tiene un “Sistema de visión artificial para conteo de objetos en movimiento” que consiste en reconocer objetos y procesar las imágenes para el desarrollo de un sistema de conteo de objetos en movimiento, que en este caso se centrará en contar personas que ingresen en una habitación. El proceso se desarrolla de la siguiente manera: una vez capturada y enviada la imagen se toman en un plano XY, se detectan los bordes, las regiones y se describe la imagen, es decir se toman propiedades o atributos de la imagen que permiten facilitar el reconocimiento de un objeto.

Sin embargo, la visión artificial no siempre se utiliza para realizar movimientos paralelos, sino también como sensor para realizar otras actividades. Un proyecto en el cual se puede ver esto es el “Diseño y construcción de una plataforma automática y utilización de visión artificial en buses urbanos, para facilitar el acceso a personas que utilicen silla de ruedas” el cual nace con la idea de ayudar a las personas que necesitan una silla de ruedas para movilizarse y no poseen un auto propio, por lo que utilizan buses de transporte público. Para solucionar este problema se diseñó una plataforma para la puerta posterior de los buses en la cual se

colocan las personas con silla de ruedas y esta los sube hasta una altura en la que puedan ingresar sin dificultad. Una vez que la parte física está completa, se procede a realiza la parte del control. Mediante una cámara se detectará la presencia o no de una persona; es decir, se tomará una figura patrón para saber si hay presencia de alguna persona en su silla de ruedas sobre la plataforma y que la persona se encuentra en una posición correcta para realizar el movimiento de la plataforma; de esta manera se evitarán accidentes. (López,2014) (Loaiza-Manzano-Múnera,2012) (Bustamante-Guamán,2015)

2.2 Estadísticas de discapacidad en Ecuador

El Ecuador presenta un total de 418001 personas registradas en el CONADIS, distribuidas de la siguiente manera según su tipo de discapacidad y grado de discapacidad, como se observa en la figura 1 y de la figura 2.

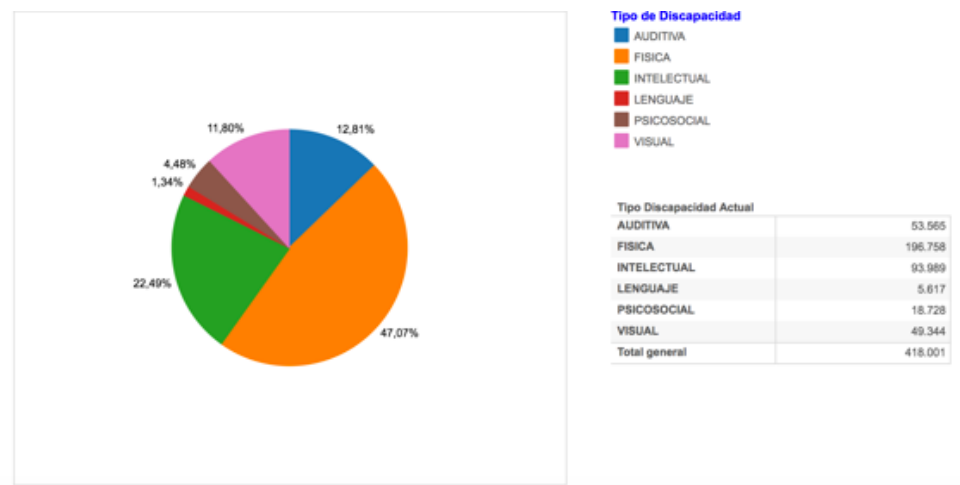


Figura 1. Personas con discapacidad registradas, por tipo de discapacidad (CONADIS,2017)

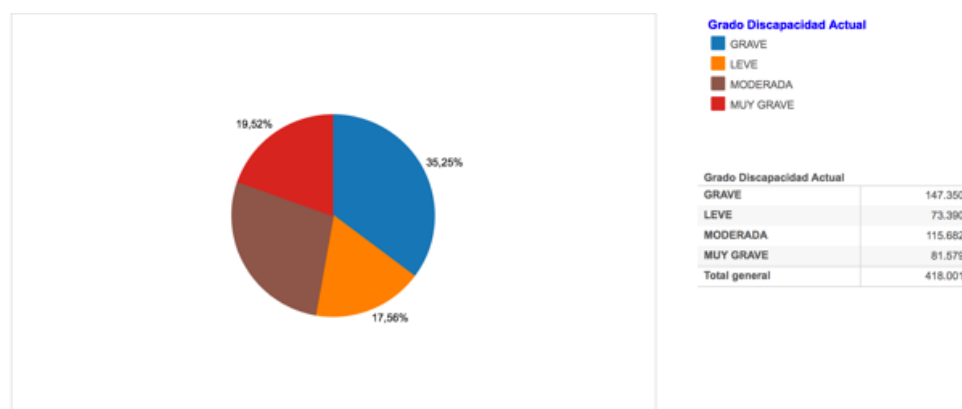


Figura 2. Personas con discapacidad registradas, por grado de discapacidad (CONADIS,2017)

De las personas registradas en el CONADIS se analiza un porcentaje de cada grupo; según el tipo de discapacidad, se analiza a las personas con “discapacidad física”. Y en cuanto al grado de discapacidad se analiza a las personas consideradas en el grupo “grave”. Como se puede observar en la figura 3 y la figura 4, se tiene el detalle del número de personas pertenecientes a estos grupos.

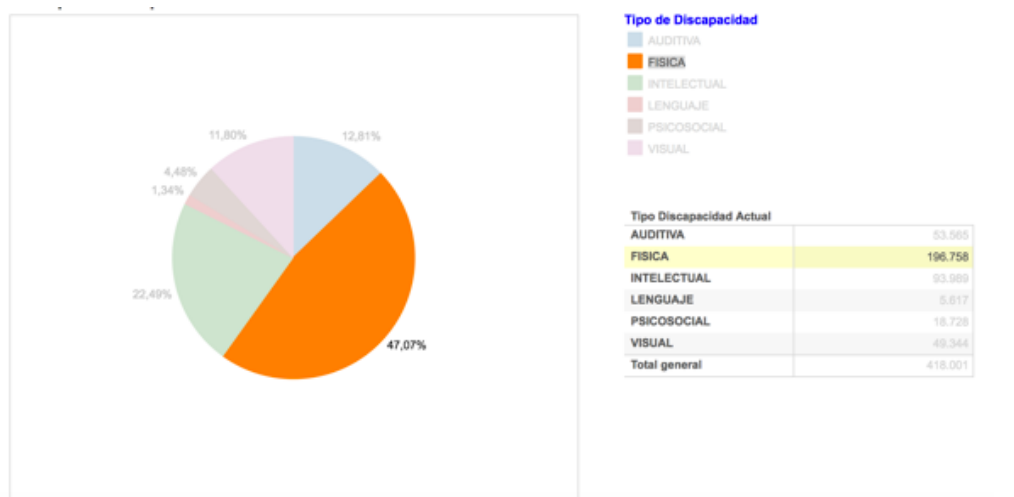


Figura 3. Personas con discapacidad registradas, discapacidad física (CONADIS,2017)

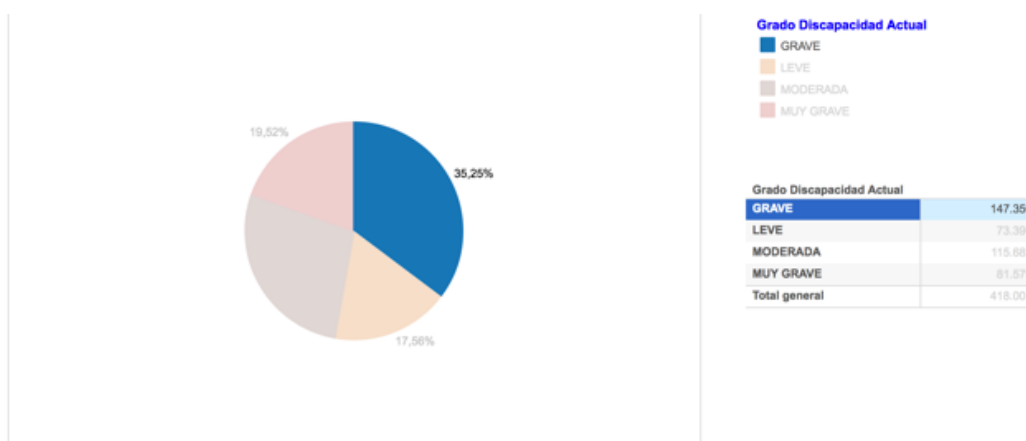


Figura 4. Personas con discapacidad registradas, discapacidad grave (CONADIS,2017)

Al analizar las figuras antes expuestas se destaca que este proyecto está enfocado a los mayores porcentajes de personas con discapacidad.

2.3 Grados de discapacidad según la Ley Orgánica de Discapacidades

Grado I: 0% de discapacidad, clase 1

Grado II: o discapacidad leve, 1% a 24% de discapacidad, clase 2, las secuelas determinan alguna dificultad para realizar las actividades de vida diaria

Grado III: o discapacidad moderada, 25% a 49% de discapacidad, clase 3, las secuelas imposibilitan realizar actividades de vida diaria

Grado IV: o discapacidad grave con 50% a 70% de discapacidad, clase 4, secuelas imposibilitan la mayoría de actividades de vida diaria incluyendo algunas de autocuidado, la persona es dependiente en varias cosas

Grado V: o discapacidad muy grave, con 75% o más de discapacidad, clase 5, las secuelas imposibilitan efectuar la vida diaria y autocuidado, la persona es totalmente dependiente

Clase 1: síntomas aislados, es decir pocos o sin síntomas

Clase 2: leves

- a. Capacidad para tener vida autónoma
- b. Actividad laboral normalizada, excepto en periodos de descompensación

Clase 3: discapacidad moderada

- a. Restricción moderada de las actividades de vida cotidiana y de actividades de trabajo
- b. Dificultades y síntomas se agravan en periodos de crisis

Clase 4: discapacidad grave

- a. Grave restricción de las actividades de vida diaria con supervisión
- b. Grave disminución de capacidad laboral

Clase 5: discapacidad muy grave

- a. Incapacidad para cuidar de sí mismo, supervisión total
- b. No actividad laboral ni con supervisión

(Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2012)

El brazo robótico tendrá la capacidad de alimentar a personas que estén valoradas entre los grados I y IV de discapacidad, puesto que se necesita que tengan movilidad y control de su cabeza y boca para poder tomar la comida que el brazo le provea.

De todo lo antes expuesto se concluye que existen varios sistemas que utilizan brazos robóticos o visión artificial para su funcionamiento, muchos de estos tienen finalidades médicas o brindan algún tipo de ayuda al desarrollo de los seres humanos.

3. METODOLOGÍA Y DISEÑO

El sistema a desarrollarse, a diferencia de otros sistemas similares, contará con visión artificial para un posicionamiento preciso del brazo robótico cerca de la boca del usuario.

A continuación, se describirán los pasos a seguir para realizar el presente proyecto:

El proyecto técnico será realizado mediante el uso del modelo en V de la metodología de diseño mecatrónico.

1. Establecimiento o reconocimiento del problema.
2. Análisis del problema. Se analizará el problema y las posibles soluciones.
3. Establecimiento de requerimientos y especificaciones: Se definirán los requerimientos de acuerdo a fuente de alimentación, material de construcción, dimensiones, costo, comunicación, controlador, sensores, eslabones y funcionamiento.
4. Diseño
 - i. Diseño Conceptual

Prototipo virtual: Se diseñará el sistema en una herramienta CAD, su simulación de circuitos y sistema de control, con la finalidad de definir la estructura del robot, actuadores, controlador y sensores a utilizar. Adicionalmente, se definirá el comportamiento del brazo robótico.

- ii. Diseño específico

Diseño Mecánico

Utilizando una herramienta CAD, se modelará cada parte del brazo robótico, la estructura de acoplamiento y la base del sistema. Se seleccionarán materiales para la estructura, acoplamientos y servomotores. Se calcularán los torques necesarios para mover el brazo.

Diseño Electrónico

Se seleccionará un controlador que permita integrar todos los elementos electrónicos como sensores, dimensionará la batería e indicadores. La alimentación del sistema estará dada de acuerdo al voltaje requerido por los motores y por el controlador.

Diseño del Sistema de Control

Se desarrollará un programa que controle el sistema, este permitirá el accionamiento de los motores del brazo robótico y la obtención de datos de los sensores, el cual será cargado en el controlador. Se realizará la programación del sistema de visión artificial, que será

entrelazada al funcionamiento del brazo robótico. Se desarrollará una interfaz para controlar el comienzo y finalización del movimiento del sistema.

Prototipo Físico: se construirá equipos a escala para verificar la idoneidad de los algoritmos de control, cinemática y dinámica del sistema, previos a la construcción del equipo que utilizará el usuario.

5. Construcción del equipo y pruebas. Se construirá el robot con el material definido, el acople para la silla, se armará el sistema de visión artificial y se realizarán las pruebas adecuadas que determinen que el funcionamiento es correcto.

Validación: esto se establecerá mediante las siguientes evaluaciones

- Reconocimiento de la boca del usuario
- Exactitud y precisión en las posiciones del brazo robótico, en función de las posiciones proporcionadas por el sistema de visión artificial
- Tiempo que le toma realizar un ciclo (tomar una porción de comida, moverse hasta la boca del usuario y regresar al plato)

3.1 Establecimiento y análisis del problema

Como se menciona en Capítulo I. Introducción, el problema se da en personas con discapacidad en extremidades superiores e inferiores, para lo cual se plantea el uso de un brazo robótico que las ayude a alimentarse.

3.2 Requerimientos y especificaciones

Mediante los siguientes diagramas se mencionan los requerimientos necesarios para el funcionamiento del brazo robótico. El anexo 1 presenta las medidas de posición de una persona promedio en una silla estándar, además de las medidas de una silla de ruedas estándar.

A continuación se presenta la figura 5, en la cual se muestran los requerimientos del sistema, necesarios para que el robot realice sus funciones.

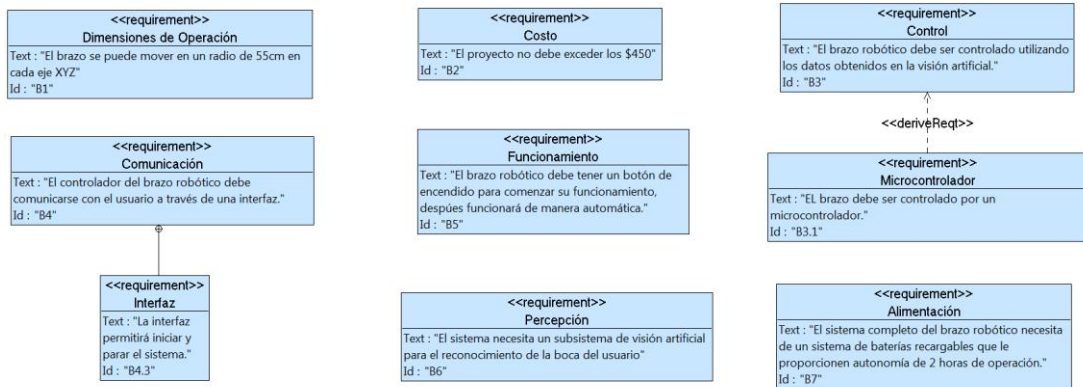


Figura 5. Requerimientos del Sistema

Las dimensiones de operación corresponden al brazo estirado completamente hasta alcanzar los 55cm de forma semi-esférica.

Respecto a la interfaz se necesita un botón que permita al usuario iniciar y parar el sistema.

Para el funcionamiento del sistema el usuario presiona el botón de inicio hasta que termina el proceso o hasta que se presiona el botón de fin.

Para el control del sistema, se obtiene como entrada la ubicación de la boca del usuario a través de visión artificial, dato que se procesa para enviar los ángulos a los servomotores.

3.3 Diseño conceptual del sistema

En esta sección se presenta la conceptualización del sistema que servirá para el diseño específico de la estructura y comportamiento del sistema. La figura 6 representa las partes que componen el sistema.

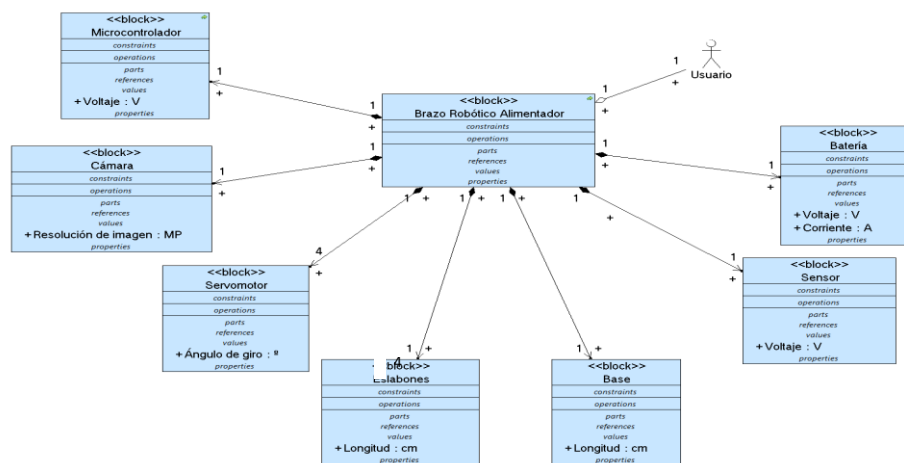


Figura 6. Estructura del sistema

Esta figura muestra los componentes del sistema que en conjunto con la programación darán como resultado el llevar la comida hasta la boca del usuario.

La figura 7 representa de forma virtual la estructura del sistema.

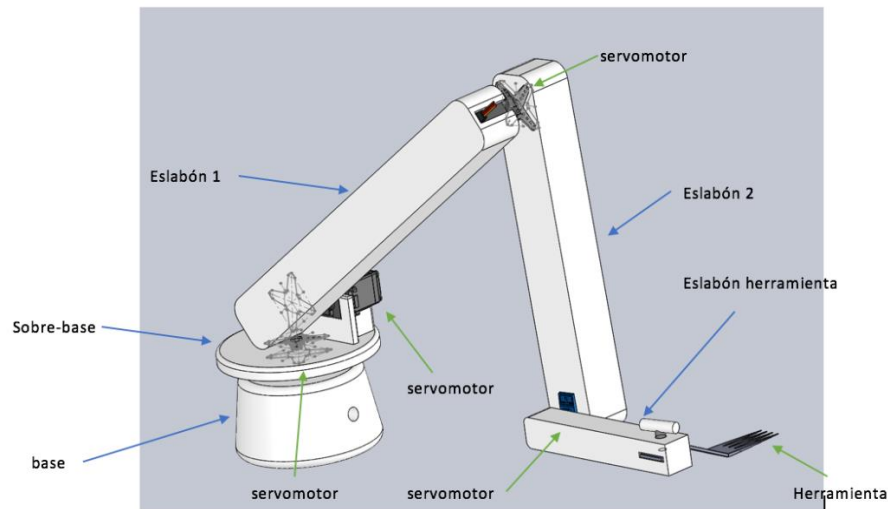


Figura 7. Estructura general del brazo robótico

Esta figura muestra el lugar donde se colocarán los servomotores y eslabones del brazo robótico, de manera superficial. En el anexo 2 se presenta cada una de las partes de manera separada.

La figura 8 representa la ubicación del brazo robótico, los soportes, la mesa y el sistema de visión artificial en la silla de ruedas.

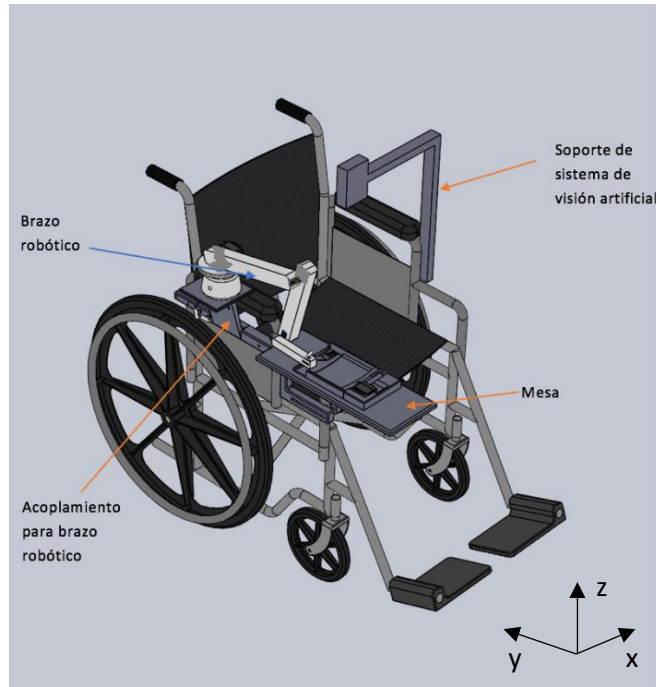


Figura 8. Estructura general de los soportes del brazo robótico y la visión artificial

En esta figura se observa como está acoplado el sistema a la silla de ruedas.

La figura 9 representa la interacción de los usuarios con el sistema.

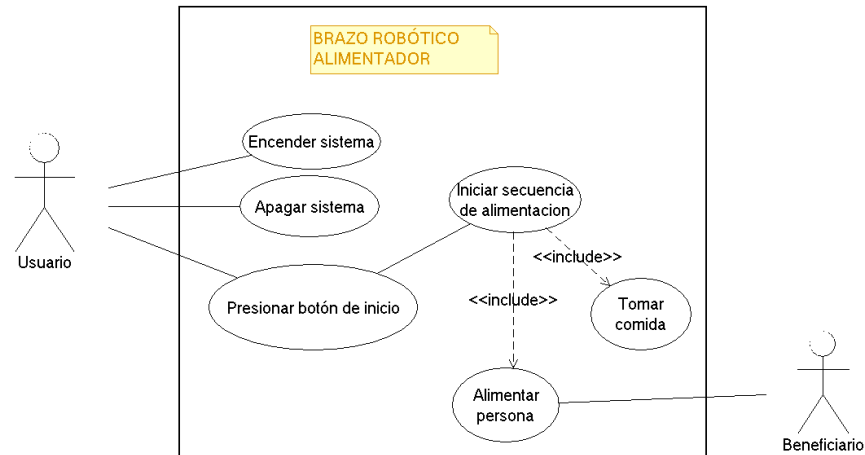


Figura 9. Interacción del usuario del sistema

La figura muestra que se tiene un usuario que presiona un botón para encender y apagar el sistema, con lo que el beneficiario será alimentado.

3.4 DISEÑO MECÁNICO

3.4.1 Selección de Material

Para la selección del material se han tomado en cuenta 3 tipos de plásticos que son ABS, PLA y Acrílico. A continuación, en la tabla 1, se analizarán ciertas propiedades para elegir el material.

Tabla 1. Características de plásticos

MATERIAL	Precio por Kg (\$)	Densidad (g/cm^3)	Resistencia a la tracción (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)	Resistencia al impacto (kJ/m^2)	Temperatura máxima de uso continuo ($^{\circ}C$)
ABS 1.75mm	18	1.05	41	86.18	9.03 a 35.7	60-75
PLA 1.75mm	22	1.25	50	70.15	3.36 a 6.3	45-50
ACRÍLICO 3mm	7	1.19	72	100,027	20	80-85

Se decidió utilizar como material para la construcción el plástico ABS debido a que su densidad es menor, lo cual disminuye el peso de cada eslabón y permite utilizar servo-motores de menor torque. Además, esto reduce su coste de fabricación.

3.4.2 Longitudes y masas de los elementos del brazo robótico

La tabla 2 presenta las longitudes de los eslabones del brazo robótico:

Tabla 2. Longitudes de los eslabones del brazo robótico

Nombre	Valor de longitud (m) 10^{-2}
Eslabón 1	25
Eslabón 2	20
Eslabón de herramienta	10

Estas longitudes permiten que el brazo robótico alcance todos los puntos necesarios en la trayectoria.

A continuación, en la tabla 3, se detallan las masas de cada uno de los elementos del brazo.

Tabla 3. Masas de los elementos del brazo robótico

Nombre	Valor de masa (kg)
Eslabón 1	0.27987
Eslabón 2	0.23891
Eslabón de herramienta	0.04687
Servomotor mediano	0.05500
Servomotor pequeño	0.01100
Sobre base	0.08441
Cruz de servo mediano	0.00103
Cruz de servo pequeño	0.00023
Cuchara	0.01000
Porción máxima de comida	0.03000

Estos datos fueron extraídos de los diseños realizados en el programa CAD. Con estas masas se obtendrán los cálculos de torques para la selección de los servomotores, así como los cálculos de potencia para la selección de la batería adecuada.

3.4.3 Selección de los servomotores

En base a las masas antes mencionadas se obtiene el torque necesario para seleccionar los servomotores, valores que se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Torques de los servomotores

Nombre	Valor de torque (Nm)	Torque máximo de servomotor elegido (Nm)
Servomotor para eslabón de herramienta	9.673972×10^{-3}	0.2157462
Servomotor para eslabón 2	0.103498	0.3138128
Servomotor para eslabón 1	0.371801	0.92182
Servomotor para base	0.448874496	0.92182

Además, se muestra el valor de torque del servomotor a utilizar, de acuerdo a los productos que se encuentran a la venta en el mercado.

3.5 DISEÑO ELECTRÓNICO

3.5.1 Potencia máxima de servomotores

Para el funcionamiento de los servomotores se necesita de una batería, por lo cual es necesario calcular el valor de la potencia máxima utilizada por cada uno de estos, así como la potencia total del sistema. En la tabla 5 se detallan los torques y potencias de los servomotores elegidos.

Tabla 5. Torque y potencia de servomotores elegidos

Nombre	Torque máximo (Nm)	Potencia necesaria (W)
Micro servomotor	0.2157462	2.82411
Servomotor normal	0.3138128	1.72956
Servomotor fuerte	0.9218200	7.42559

Estos datos fueron extraídos del datasheet de cada servomotor; servomotores disponibles para la compra en el mercado.

3.5.2 Potencia Total

La potencia total que el sistema necesita para mover los servomotores es de 19.40485 W.

3.5.3 Amperaje necesario

Con los datos antes obtenidos, se puede calcular que se necesita una batería de al menos 3234.1467 mA; por lo cual se selecciona la batería disponible en el mercado de 4.0 A.

3.5.4 Selección de Controlador

Para la selección del microcontrolador se han tomado en cuenta 2 placas de prototipo rápido que son Raspberry y BeagleBone. A continuación, en la tabla 6, se analizarán ciertas propiedades para elegir la placa.

Tabla 6. Características de placas de control

Microcontrolador	Precio	Velocidad de Procesamiento	Pines de trabajo disponibles	Disponibilidad de uso de cámara	Memoria RAM	Voltaje de entrada	Memoria
Raspberry Pi 3	\$35	1.2GHz	26	Si	1 GB	5V	Tarjeta SD de 2 GB a 32GB
BeagleBone Black	\$50	1GHz	92	Si	512 MB	5V	2GB y tarjeta SD

La placa seleccionada fue la Raspberry Pi 3, debido a la capacidad del almacenamiento que posee, velocidad de procesamiento, capacidad en memoria RAM y por el número de pines disponibles para trabajar, puesto que para esta aplicación no se necesita una gran cantidad de pines. Además, de que posee varios aditamentos integrados como wifi, bluetooth, capacidad de procesamiento de imágenes, por un precio menor al de las otras tarjetas de desarrollo.

3.6 DISEÑO DE CONTROL

Para controlar el sistema se utilizó el software “MATLAB”, específicamente su herramienta “Simulink”. Esto permitió realizar un programa mediante el cual se pueda mover el brazo robótico a las posiciones requeridas, utilizar los datos obtenidos por la visión artificial para tener una posición más exacta y ejecutar todo el proceso de alimentación del usuario. La figura 10 y la figura 11 muestran el modelo y el diagrama de flujo de funcionamiento del sistema.

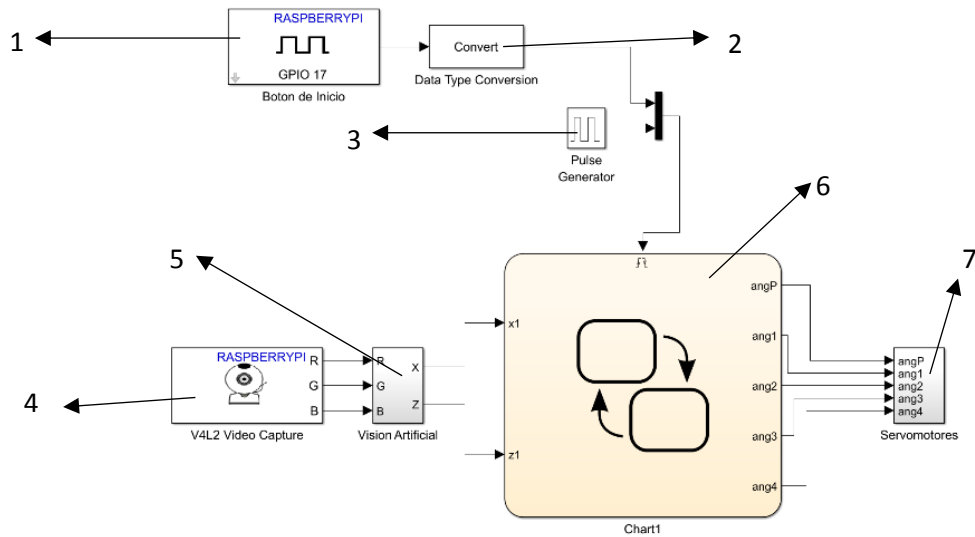


Figura 10. Modelo de desarrollo en Simulink

1. Bloque de lectura para el botón de inicio
2. Bloque conversor del dato leído
3. Bloque generador de pulsos
4. Bloque de captura de video
5. Bloque de procesamiento de imagen
6. Bloque de programación de los movimientos del brazo robótico
7. Bloque de escritura de datos para los servomotores

El bloque 1 es con el cual se obtiene los datos del botón de inicio del sistema, dato que es convertido, por el bloque 2, para ingresar al bloque 6 que es donde se programan los movimientos del brazo robótico. Aquí también se encuentra el bloque 3 que es el generador de pulsos, necesario para controlar la velocidad de trabajo del bloque 6.

El bloque 4 es la captura de la imagen que se envía al bloque 5 en el cual se procesa la imagen, tomando las coordenadas en las que se encuentra la boca del usuario. Estos datos ingresan al bloque 6, en el cual se encuentran las máquinas de estado que toman los datos de coordenadas para enviar los ángulos al bloque 7 que pertenece a el envío de datos hacia los servomotores.

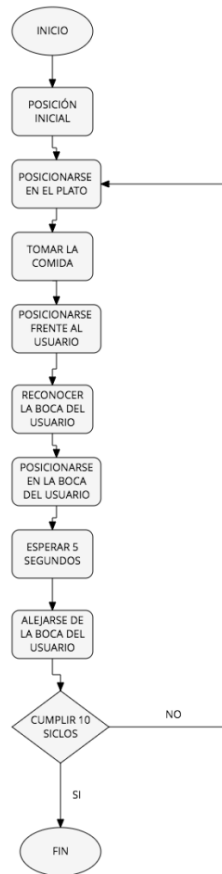


Figura 11. Diagrama de flujo del funcionamiento sistema

Este diagrama de flujo muestra los pasos que sigue el sistema para alimentar al usuario; adopta las posiciones necesarias para tomar la comida, dirigirse a la boca del usuario y permitir que el mismo se alimente. Este diagrama está implícito en las máquinas de estado de la figura 10.

En la figura 12 se muestra la trayectoria que recorre la herramienta del brazo robótico.

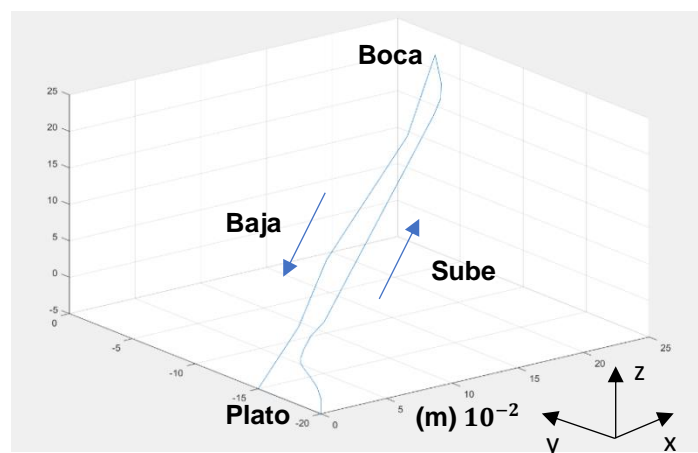


Figura 12. Trayectoria de la herramienta del brazo robótico

Esta es la trayectoria que recorre el punto donde se encuentra la herramienta del brazo robótico entre el plato y la boca del usuario.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 POSICIONES DEL BRAZO ROBÓTICO

El brazo robótico debe adoptar varias posiciones, las cuales le permiten cumplir con su objetivo que es asistir al usuario con el proceso de alimentación.

Para estas pruebas se dio varias posiciones al brazo y se verificó que dichas posiciones sean las correctas, mediante la medición de los puntos finales.

En el anexo 3 se encuentran las evidencias del sistema obtenido.

A continuación, en la tabla 7, se detallan los datos de las pruebas realizadas:

Tabla 7. Datos XYZ de pruebas realizadas

PRUEBA	Datos XYZ esperados (m)10 ⁻²	Datos XYZ reales (m) 10 ⁻²	Porcentaje de error (%)
1	X=30	30.5	1.7
	Y=1	10	0
	Z=28	27	3.6
2	15	15.5	3.3
	15	16	6.7
	20	19.5	2.5
3	25	25.5	2
	10	10.5	5
	25	24	4
4	18	17	5.5
	14	14	0
	30	29.5	1.7
5	26	25	3.8
	17	17.5	2.9
	14	14	0

Como se puede observar, los datos reales, obtenidos en los tres ejes XYZ, son muy cercanos a los datos esperados; es decir, que los datos reales tomados son similares a los datos enviados al brazo robótico. Basado en estos datos se tiene que el porcentaje de error promedio por eje es de X=3.26%, Y=2.92% y Z=2.36%.

4.2 RECONOCIMIENTO DE LA CARA MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL

El sistema de visión artificial debe ser capaz de encontrar la boca del usuario, esto lo realiza mediante la detección de la cara y con este dato se calcula la posición de la boca.

Mediante esta prueba se analizará el nivel de eficiencia al reconocer la cara del usuario.

A continuación, en la figura 13, se presentan las pruebas realizadas:



Figura 13. Reconocimiento facial

Se realizaron pruebas a 5 personas obteniendo resultados similares. A cada persona se le realizaron 5 pruebas con promedio del 84,7% de detección de la boca del usuario.

Como se puede observar, el sistema de visión artificial reconoce las caras de los diferentes usuarios en los que se realizó las pruebas. Sin embargo, el sistema no tuvo un reconocimiento continuo de la cara de todos los casos; puesto que, en uno de los usuarios, las pruebas detectaban la cara por lapsos, mientras que en los otros 4 hubo una detección en todo momento. El sistema presenta un promedio de 293 detecciones de la boca por 3 minutos de funcionamiento.

4.3 TIEMPO PARA REALIZAR UN CICLO

Un ciclo del sistema consiste en:

- a. Tomar la comida
- b. Dirigirse a una posición cercana a la boca
- c. Encontrar la boca mediante la visión artificial
- d. Dirigirse lo más cerca de la boca
- e. Permitir que el usuario tome la comida
- f. Regresar al plato

Las pruebas realizadas al sistema dieron como resultado que el brazo robótico toma las posiciones requeridas, así como la visión artificial reconoce el rostro del usuario. De esta manera el sistema cumple con el ciclo establecido. El sistema tarda 2 minutos 26 segundos en completar un ciclo.

La tabla 8 presenta los ciclos de prueba en los cuales se analizó la cantidad de comida, en gramos, que se toma el brazo robótico en cada ciclo, así como la cantidad de comida, en gramos, que llega al usuario.

Tabla 8. Pesos de las porciones de comida

Ciclo	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)
1	18	15
2	18.5	14.5
3	16	14
4	17.5	16
5	18	10
6	17	12
7	17	14
8	16.5	13
9	15	7
10	17	14

Todos los ciclos presentaron caída de comida, teniendo un promedio de 24.305% de caída de la comida en los 10 ciclos de prueba realizados.

La caída de comida se dio debido a que el servomotor ubicado en la parte final del brazo, es decir, el que mueve a la herramienta del sistema, presenta vibraciones en algunos tramos de movimiento, debido a la inestabilidad del servo.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se desarrolló un brazo robótico adaptable a una silla de ruedas estándar para personas que se encuentran entre los niveles I al IV de discapacidad.
- Se implementó un sistema de visión artificial que reconoce la posición de la boca del usuario a ser alimentado para que el robot posicione su efector cerca de esta posición.
- Se diseñó una interfaz para poner en marcha el sistema, la cual permite el inicio y paro del sistema en cualquier momento.
- Se validó el funcionamiento del sistema mediante diversas pruebas, que dieron como resultado el reconocimiento de la boca de los usuarios. Además, se comprobó que el brazo robótico lleva la comida hasta la posición deseada.
- La integración de los servo-motores con la visión artificial producen que el sistema trabaje de manera lenta.
- La velocidad de procesamiento de video influye en la velocidad de funcionamiento del sistema, por lo cual se eligió la resolución de cámara de 160x120.
- El sistema necesita 6V en los servomotores para alcanzar los torques necesarios en el punto crítico de funcionamiento. El punto crítico del sistema se da al momento de levantar la comida del plato. Es importante independizar la fuente de la placa de control Raspberry pi 3 y la fuente de los servomotores del brazo robótico.
- El reconocimiento de la boca se produce en la mayor parte del tiempo de funcionamiento del sistema, con un promedio de 310 detecciones por cada 3 minutos, sin embargo, lo óptimo es que reconozca todo el tiempo.
- Las posiciones que toma el robot son similares a las enviadas desde el programa, sin embargo, presenta un error del 2.8%.
- Aunque el sistema presenta caída de comida se tiene un promedio de 75.695% de comida que llega al usuario, lo que significa que el sistema cumple con su función.

RECOMENDACIONES

- Utilizar el sistema en un entorno donde no este oscuro ni que exista exceso de luz o controlar la intensidad de la luz en el entorno.
- Se recomienda hacer una arquitectura distribuida; utilizar un mejor microcontrolador, que tenga una capacidad de respuesta mayor, y servomotores de mejor precisión, con retroalimentación para que los resultados sean más exactos y que el funcionamiento del sistema sea en menor tiempo.
- Implementar una placa de arduino para leer los datos de posición emitidos por el raspberry pi y mandarlos a los servomotores; esto es con el objetivo de que el raspberry pi no realice todo el trabajo y el movimiento sea rápido.

BIBLIOGRAFÍA

- ALONZO Villegas, Freddy, BRAVO Valencia, Miguel,(2014). "Diseño, construcción y control de un brazo robótico". Título de 3er nivel. Universidad San Francisco de Quito.
- Asamblea Nacional de la República del Ecuador.(2012)."Ley Orgánica de Discapacidades". Registro Oficial.Quito-Ecuador
- Aviles, O.F., Niño, P.A., Bogota, C., Cárdenas, L.,"Silla de ruedas multifuncional". Grupo de investigación DAVINCI.
- Bustamante, D.F., Guamán, T.S.,(2015)."Diseño y construcción de una plataforma automática y utilización de visión artificial en buses urbanos, para facilitar el acceso a personas que utilicen silla de ruedas". Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- CONADIS, (2017)."Información Estadística de Personas con Discapacidad".Quito-Ecuador: Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades. Recuperado de <http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadistica/index.html>. Recuperado el 28 de Abril, 2017
- Escuela Politécnica del Ejército, (2014)."Diseño del controlador y teleoperación del brazo robótico "Robotic Arm Edge" por medio de un dispositivo Android y PC".Maskay Electrónica.
- González, A., Martínez, F., Pernía, A., Alba, F., Castejón, C., Ordieres, J., Vergara, E., (2006), "Técnicas y algoritmos básicos de visión artificial", Logroño, España: Universidad de La Rioja, servicio de publicaciones.
- Lasluisa, D., Cruz, M., Singaña, M., (2014)." Diseño y construcción de una silla de ruedas autónoma accionada mediante ondas cerebrales". Repositorio ESPE.
- Loaiza, J.F., Manzano, D.A., Múnera, L.E.(2012)."Sistema de visión artificial para conteo de objetos en movimiento". El Hombre y la Máquina.40.87-101.
- LÓPEZ Germán, Alberto,(2014)."Manipulador robótico con visión artificial". Título de 3er nivel. Universidad de Vic Escuela Politécnica Superior.
- Mosso, J.L., Minor, A., Lara, V., Maya, E.,(2001)."Brazo robótico para sujetar y posicionar laparoscopios. Primer diseño y construcción en México". Cirugía y Cirujanos.69(6).295-299.
- Prieto, C.E., Febres, J.E., Cerrolaza, M., Miquelarena, R., (2010)."Sistema de visión artificial para el control de movimiento de un asistente robótico médico".Mecánica Computacional.29(1).6619-6629.
- SEDUVI, (2007)."Persona en silla de ruedas, posición estática". Manual de Accesibilidad. Ciudad de México, México. SEDUVI.1(1)21.
- Verswyvel, S.(2008)."Medidas Básicas".Manual con las Medidas Básicas para la Construcción Accesible.Una ciudad para todos.1(1)1.

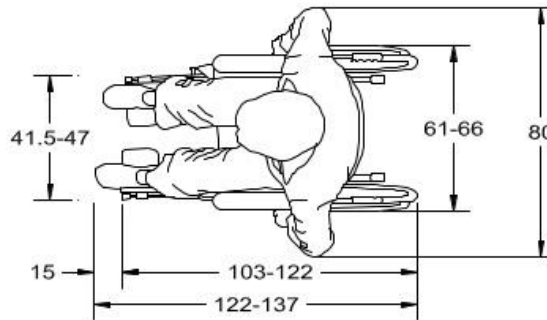
ANEXOS

Anexo 1

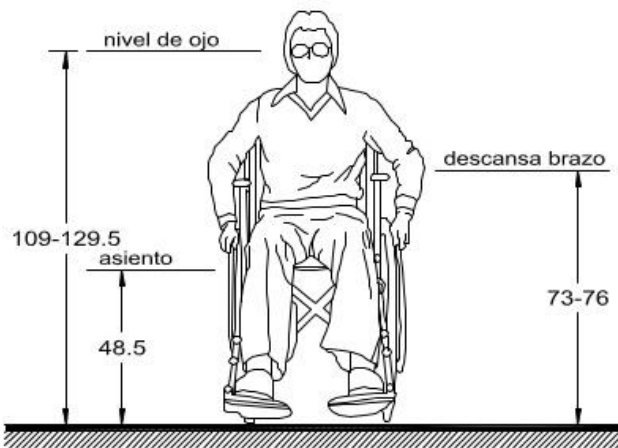
Dimensiones de una silla de ruedas estándar



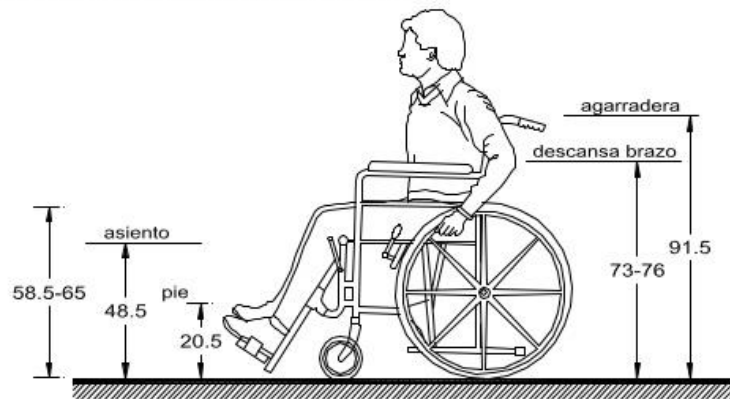
PERSONA EN SILLA DE RUEDAS POSICIÓN ESTÁTICA



Vista transversal superior (Planta)

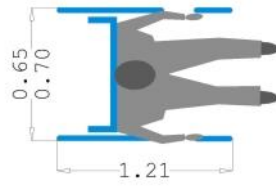


Vista coronal o ventral (Alzado frontal)



Vista sagital izquierda (Alzado lateral)



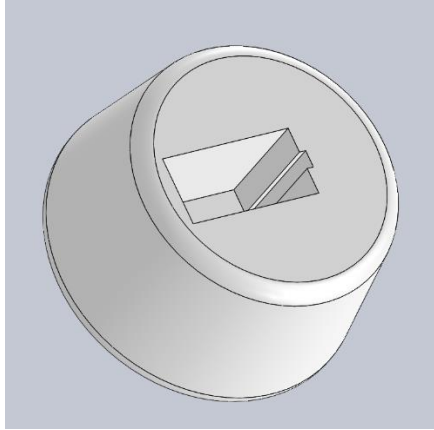


(Verswyvel, 2008)

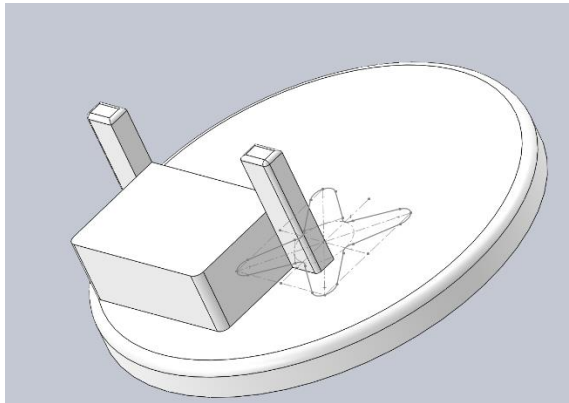
Anexo 2

Partes del brazo robótico

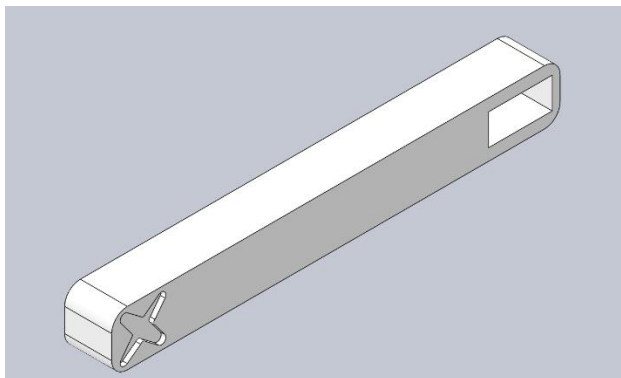
BASE



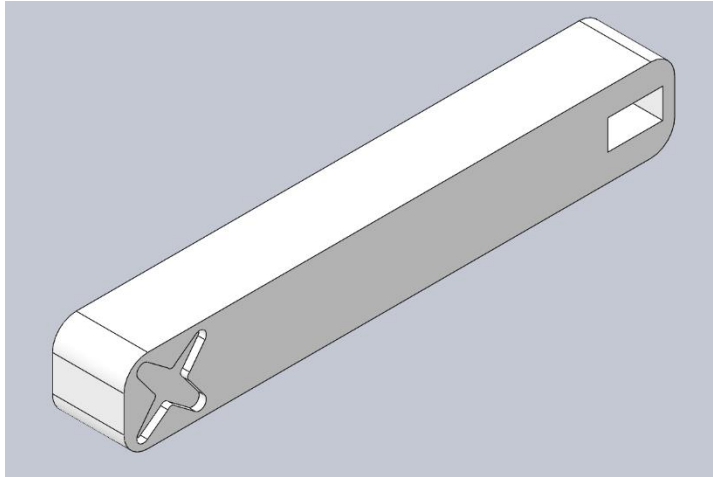
SOBRE_BASE



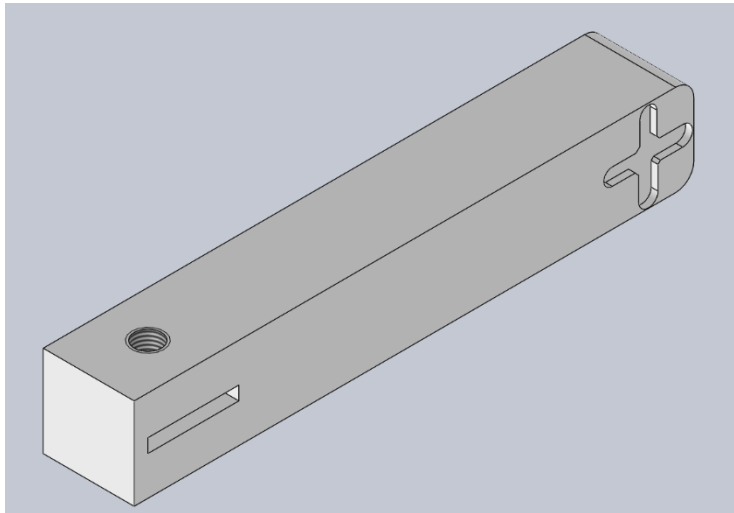
ESLABÓN 1



ESLABÓN 2



ESLABÓN HERRAMIENTA



Anexo 3 Sistema Físico



Vista lateral del sistema



Vista frontal del sistema